
Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Untersuchung von Vorkenntnissen und Präkonzepten in der Kosmologie

Sarah Aretz

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
"doctor rerum naturalium"
(Dr. rer. nat.)
in der Wissenschaftsdisziplin "Didaktik der Physik"

eingereicht an der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
Institut für Physik und Astronomie
der Universität Potsdam

August 2018



This work is licensed under a Creative Commons License:
Attribution – NonCommercial – NoDerivatives 4.0 International.
This does not apply to quoted content from other authors.
To view a copy of this license visit
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
<https://doi.org/10.25932/publishup-42542>
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-425421>

Ich versichere, daß ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie die Zitate kenntlich gemacht habe.

1. Gutachter: Prof. Dr. Andreas Borowski
2. Gutachter: Dr. habil. Christoph Kulgemeyer
3. Gutachter: Prof. Dr. Helmut Prechtel

Datum der Disputation: 01.02.2019

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Zusammenfassung

Kosmologie beschreibt die Entwicklung des Universums als Ganzes. Kosmologische Entdeckungen in Theorie und Praxis haben daher unser modernes wissenschaftliches Weltbild entscheidend geprägt. Die Vermittlung eines modernen Weltbildes durch Unterricht ist ein häufiger Wunsch in der naturwissenschaftlichen Bildungsdiskussion. Dennoch existieren weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarfe. Kosmologische Themen finden sich häufig in den Medien und sind gleichzeitig weiter vom Alltag entfernt, so dass sich hier besonders leicht wissenschaftlich inkorrekte Vorstellungen entwickeln können, die zu Problemen im Unterricht führen können.

Das Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit ist es, zu diesem Forschungsgebiet beizutragen und die Voraussetzungen hinsichtlich vorhandener Vorkenntnisse und Präkonzepte in Kosmologie, mit denen Schülerinnen und Schüler in den Unterricht kommen, zu untersuchen und anschließend mit denen anderer Länder zu vergleichen. Dies erfolgt anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse eines offenen Fragebogens. Auf dieser Grundlage wird schließlich ein Multiple-Choice Fragebogen entwickelt, angewendet und evaluiert.

Die Ergebnisse zeigen große Wissenslücken im Bereich der Kosmologie auf und geben erste Hinweise auf vorhandene Unterschiede zwischen den Ländern. Es existieren ebenfalls einige teils weit verbreitete wissenschaftlich inkorrekte Vorstellungen wie beispielsweise die Assoziation des Urknalls mit einer Explosion, der Urknall verursacht durch eine Kollision von Teilchen oder größeren Objekten, oder die Vorstellung der Ausdehnung des Universums als neue Entdeckungen und/oder Wissen. Des Weiteren gab nur etwa jeder Fünfte das korrekte Alter des Universums oder die Ausdehnung des Universums als einen der drei Belege der Urknalltheorie an, während fast 40% keinen einzigen Beleg nennen konnten. Für den geschlossenen Fragebogen konnten gute Hinweise für verschiedene Validitätsaspekte herausgearbeitet werden und es existieren erste Hinweise darauf, dass der Fragebogen Wissenszuwachs messen kann und damit wahrscheinlich zur Untersuchung der Wirksamkeit von Lerneinheiten eingesetzt werden kann. Auch ein entsprechendes Modell zur Verständnisentwicklung der Ausdehnung des Universums zeigte sich vielversprechend.

Diese Arbeit liefert insgesamt einen Forschungsbeitrag zum Schülervorwissen und Vorstellungen in der Kosmologie und deren Large Scale Assessment. Dies eröffnet die Möglichkeit zukünftiger Forschungen im Bereich von Gruppenvergleichen insbesondere hinsichtlich objektiver Ländervergleiche sowie der Untersuchungen der Wirksamkeit von einzelnen Lerneinheiten als auch Vergleiche verschiedener Lerneinheiten untereinander.

Abstract

Cosmology deals with the development of the universe as a whole. Cosmological discoveries in theory and observation have therefore formed our modern scientific worldview. Transferring a modern worldview through science teaching is a frequent request in science literacy discussion. Nevertheless, there is still a need for research and education development. Cosmological topics often appear in the media and, at the same time, are further away from everyday life. Thus, scientifically incorrect conceptions can develop particularly easy and can lead to problems in class.

The objective of this scientific work is to contribute to this area of research and to investigate the preconditions regarding present knowledge and conceptions in cosmology, which students bring into the classroom, and to compare these with those from other countries. This is done by a qualitative analysis of an open-ended questionnaire. On this basis a multiple-choice questionnaire is developed, applied and evaluated.

The results show large gaps in knowledge in the area of cosmology and provide first indications of differences between countries. There also exist some partially widespread scientifically incorrect conceptions such as the association of the Big Bang with an explosion, the Big Bang being caused by a collision of particles or bigger objects, or the idea of the expansion of the universe meaning new discoveries and/or knowledge. Furthermore, only every fifth student mentioned the correct age of the universe or the expansion of the universe as one of the three pillars of the Big Bang theory, whereas almost 40% could not name a single evidence. For the closed questionnaire good evidence could be established for different aspects of validity. In addition, there exist first indications, that the questionnaire can measure knowledge gain and therefore can likely be used to investigate the effectiveness of learning units. Moreover, a corresponding model of the development of understanding of the expansion of the universe looked promising.

This study provides research contributions to students' prior knowledge and preconceptions in cosmology and their large-scale assessment. This opens up the possibility of future research in the area of group comparisons in particular concerning objective country comparisons and investigations of the effectiveness of single learning units as well as comparisons of different learning units among each other.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Kosmologie	5
2.1.1 Inhaltliche Herangehensweise	5
2.1.2 Rolle in der naturwissenschaftlichen Bildung	7
2.1.3 Vorkommen in Lehrplänen	9
2.2 Vorwissen und Präkonzepte	11
2.2.1 Die Bedeutung von Präkonzepten und Ländervergleiche	11
2.2.2 Bisherige Forschung von Präkonzepten in der Kosmologie . . .	16
2.2.3 Assessment in Kosmologie	19
2.2.4 Validität von Assessments	20
2.3 Verständnisentwicklungsmodelle und Ordered Multiple-Choice Auf- gaben	21
2.3.1 Verständnisentwicklungsmodell zur Expansion des Universums	22
3 Forschungsfragen und Design	25
3.1 Forschungsfragen	25
3.2 Forschungsfrage 1: Ländervergleich von Vorwissen und Präkonzepten in der Kosmologie	26
3.2.1 Entwicklung des offenen Fragebogens	27
3.2.2 Datenverarbeitung des offenen Fragebogens	29
3.2.3 Stichprobe	31
3.3 Forschungsfrage 2: Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerin- nen und Schüler in der Kosmologie	32

3.3.1	Entwicklung des geschlossenen Testinstruments	32
3.3.2	Datenverarbeitung des geschlossenen Testinstruments	35
3.3.3	Erste Stichprobe	35
3.3.4	Zweite Stichprobe	37
4	Ergebnisse	41
4.1	Forschungsfrage 1: Ländervergleich von Vorwissen und Präkonzepten in der Kosmologie	41
4.1.1	Ergebnisse deutscher Schülerinnen und Schüler	42
4.1.2	Ländervergleich des Vorwissens und der Präkonzepte	45
4.2	Forschungsfrage 2: Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerin- nen und Schüler in der Kosmologie	51
4.2.1	Modellpassung der Multiple-Choice Aufgaben	52
4.2.2	Validitätsaspekte	55
4.2.3	Vorwissen und Präkonzepte	59
4.2.4	Vergleich beider Stichproben	62
4.2.5	Verständnisentwicklungsmodell zur Expansion des Universums	66
4.2.6	Ordered Multiple-Choice Aufgaben zur Expansion des Univer- sums	69
5	Diskussion	73
5.1	Forschungsfrage 1: Ländervergleich von Vorwissen und Präkonzepten in der Kosmologie	73
5.2	Forschungsfrage 2: Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerin- nen und Schüler in der Kosmologie	76
5.2.1	Betrachtung der Validitätsaspekte des geschlossenen Testin- struments	76
5.2.2	Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler	78
5.2.3	Verständnisentwicklungsmodell und Ordered Multiple-Choice Aufgaben zur Expansion des Universums	79
5.3	Forschungsbeitrag und Ausblick	81
	Literaturverzeichnis	85
A	Anhang	95
A.1	Testinstrument	95
A.2	Artikel und Tagungsbandbeiträge	101
A.2.1	Artikel	101

A.2.2	Tagungsbandbeiträge	123
	Danksagung	135

Tabellenverzeichnis

2.1	Wallaces Verständnisentwicklungsmodell für die Expansion des Universums und den Urknall	23
3.1	Cohens Kappa Werte der verschiedenen Kategorien des offenen Fragebogens	30
3.2	Stichprobe ohne Unterricht: Physiknoten der Schülerinnen und Schüler auf ihrem letzten Zeugnis	36
3.3	Stichprobe ohne Unterricht: Interesse in Physik und Astronomie . . .	36
3.4	Stichprobe ohne Unterricht: Informelle Lerngelegenheiten	37
3.5	Stichprobe nach Unterricht: Physiknoten der Schülerinnen und Schüler auf ihrem letzten Zeugnis	38
3.6	Stichprobe nach Unterricht: Interesse in Physik und Astronomie . . .	38
3.7	Stichprobe nach Unterricht: Informelle Lerngelegenheiten	39
4.1	Offener Fragebogen: Assoziationen mit der Urknalltheorie	42
4.2	Offener Fragebogen: Belege für die Urknalltheorie	43
4.3	Offener Fragebogen: Vor dem Urknall	43
4.4	Offener Fragebogen: Veränderungen des Universums	44
4.5	Offener Fragebogen: Bedeutung der Aussage „das Universum expandiert“	44
4.6	Offener Fragebogen: Alter des Universums	44
4.7	Offener Fragebogen: Struktur des Universums	45
4.8	Offener Fragebogen Ländervergleich: Assoziationen mit der Urknalltheorie	46
4.9	Offener Fragebogen Ländervergleich: Belege für die Urknalltheorie . .	48
4.10	Offener Fragebogen Ländervergleich: Vor dem Urknall	49
4.11	Offener Fragebogen Ländervergleich: Veränderungen des Universums .	50
4.12	Offener Fragebogen Ländervergleich: Bedeutung der Aussage „das Universum expandiert“	50
4.13	Offener Fragebogen Ländervergleich: Alter des Universums	51

4.14 Geschlossenes Testinstrument: Verteilung der Anzahl richtig gegebener Antworten	54
4.15 Geschlossenes Testinstrument: Aufgabenschwierigkeiten bei beiden separat geschätzten Stichproben vor und nach Unterricht	64
4.16 Geschlossenes Testinstrument: DIF Effektgrößen der einzelnen Aufgaben	64
4.17 Verständnisentwicklungsmodell zur Expansion des Universums	67
4.18 Zuordnung der offenen Schülerantworten zu den Levels des Verständnisentwicklungsmodells	69

Abbildungsverzeichnis

1.1	Darstellung der Entwicklungsgeschichte des Universums	1
3.1	Überblick der für die Testinstrumente gewählten Themenbereiche innerhalb der Kosmologie	28
3.2	Entwicklungsprozess der Aufgaben des geschlossenen Testinstruments	33
4.1	Eigenwerte der Residuen der Korrelationsmatrix für die zwölf verbliebenen MC Aufgaben	53
4.2	Wright Map der zwölf verbliebenen Aufgaben für die Stichprobe ohne Unterricht	54
4.3	Geschlossenes Testinstrument: Verteilung der Antworten zur Frage, was vor dem Urknall existierte	59
4.4	Geschlossenes Testinstrument: Verteilung der Antworten zur Frage, welche Kombination von Beobachtungen die Urknalltheorie am besten unterstützt	60
4.5	Geschlossenes Testinstrument: Verteilung der Antworten bezüglich der Veränderung des Universums	61
4.6	Geschlossenes Testinstrument: Verteilung der Antworten zur Schätzung des Alters des Universums	61
4.7	Geschlossenes Testinstrument: Verteilung der Antworten bezüglich Assoziationen mit dunkler Materie	62
4.8	Geschlossenes Testinstrument: Verteilung der Antworten bezüglich Assoziationen mit dunkler Energie	62
4.9	Wright Map der zwölf verbliebenen Aufgaben für die Stichprobe nach Unterricht	63
4.10	Wright Map der zwölf verbliebenen Aufgaben für beide Stichproben zusammen und unterschiedlichen Schätzungen für Aufgaben mit DIF	65
4.11	OMC Aufgabe 4: Charakteristische Aufgabenkurven der verschiedenen Level der Antwortoptionen	70
4.12	OMC Aufgabe 9: Charakteristische Aufgabenkurven der verschiedenen Level der Antwortoptionen	71

4.13 OMC Aufgabe 11: Charakteristische Aufgabenkurven der verschiedenen Level der Antwortoptionen	71
4.14 OMC Aufgabe 15: Charakteristische Aufgabenkurven der verschiedenen Level der Antwortoptionen	72

1. Einleitung

Kosmologie beschreibt die Entwicklung des Universums als Ganzes, vom Anfang, dem so genannten Urknall, bis heute, knapp 14 Milliarden Jahre später (siehe Abbildung 1.1). Kosmologische Entdeckungen in Theorie und Praxis haben daher unser modernes wissenschaftliches Weltbild entscheidend geprägt. Die Vermittlung eines modernen Weltbildes durch naturwissenschaftlichen Unterricht ist ein häufiger Wunsch in der naturwissenschaftlichen Bildungsdiskussion (z.B. American Association for the Advancement of Science 1993; Schecker et al. 2004a). Dies wird ebenfalls durch folgendes Zitat von Schecker et al. (2004b, S. 195) hervorgehoben:

„Die Bereiche „Relativität“ und „Astrophysik“ gehören zum Kern der physikalischen Bildung, weil die Frage nach dem Aufbau der Welt im Großen und der Stellung des Menschen im Kosmos für die Menschheit bis heute eine der großen und faszinierenden Fragen ist.“

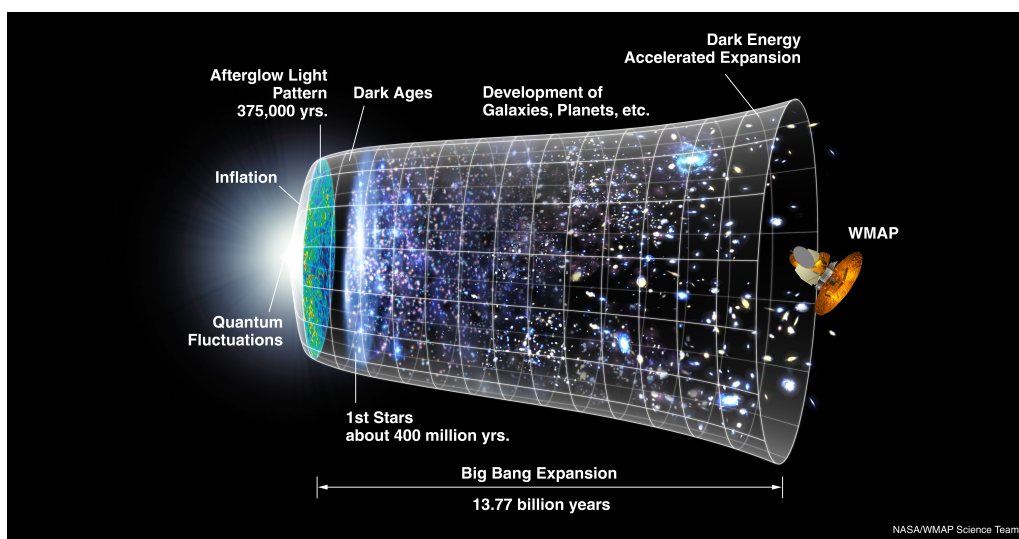


Abbildung 1.1: Darstellung der Entwicklungsgeschichte des Universums

Darüber hinaus ist das Interesse von Schülerinnen und Schülern in den Bereichen Astrophysik und Kosmologie überdurchschnittlich hoch, wie die Relevance of Science Education (ROSE) Studie (Schreiner und Sjøberg 2004) belegt. Ein Ergebnis dieser Studie ist das auffallend hohe Interesse Jugendlicher in Astrophysik und dem Universum, unabhängig vom Land oder dem Geschlecht. Dies ist sehr unterschiedlich im Vergleich zu anderen Themengebieten und auch der Physik im Allgemeinen. Schecker et al. (2004b) hebt hervor, dass unzählige detaillierte Studien eine kontinuierliche Abnahme des Interesses in der Sekundarstufe I in allen Fächern aufzeigen und insbesondere die Physik bei einem bereits sehr niedrigen Level des Interesses beginnt. Trotz des hohen vorhandenen Interesses in Astrophysik und Kosmologie existieren weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarfe in der Bildung bezüglich der Lehrpläne, insbesondere unter anderem hinsichtlich bestimmter Gebiete der modernen Physik wie der Kosmologie (Schecker et al. 2004a). Dies wurde bei der Erstellung von Empfehlungen für die Gestaltung des Physikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe geschlussfolgert, welche im Auftrag der Kultusministerkonferenz von Physikdidaktikern erstellt wurde. Diese Empfehlungen beinhalten die Entwicklung eines tieferen Verständnisses des modernen Weltbildes inklusive Astrophysik und Kosmologie als Kerninhalt der physikalischen Bildung in der Sekundarstufe II. Darüber hinaus können weitere wichtige naturwissenschaftliche Inhalte wie beispielsweise das Unterrichten von wissenschaftlichen Methoden und Vorgehensweisen, Modelle in der Physik, die Konzepte von Nature of Science (NOS) oder die veränderliche und vorläufige Natur von wissenschaftlichen Weltbildern im Unterricht gut anhand des Bereichs der Kosmologie illustriert werden.

Gleichzeitig hat sich die Kosmologie in den letzten Jahrzehnten sehr schnell durch Fortschritte in der Technologie weiterentwickelt. Aufgrund der dadurch folgenden regelmäßigen neuen Entdeckungen ist dies ein Themengebiet, welches häufig in den Medien auftaucht. Dies verstärkt die Möglichkeit für Schülerinnen und Schüler, wissenschaftlich inkorrekte Vorstellungen in diesem Bereich zu entwickeln, vielleicht noch weitaus mehr als in anderen Bereichen der Physik. Des Weiteren werden kosmologische Themen normalerweise nicht vor der Oberstufe – wenn überhaupt – unterrichtet, was den Schülerinnen und Schülern viele Gelegenheiten gibt, bereits vor dem Unterricht entsprechende Vorkenntnisse und Präkonzepte durch informelle Lerngelegenheiten zu entwickeln. Darüber hinaus ist Kosmologie ein Thema, welches vergleichsweise weit entfernt vom alltäglichen Leben der Schülerinnen und Schüler ist, so dass zu erwarten ist, dass diese meistens nicht unbedingt in der Lage sind, neue Informationen auf bereits vorhandenen Ideen und Vorstellungen aufzubauen, die sie in anderen Bereichen gesammelt haben. Dies kann anschließend Probleme im Unterricht verursachen, da weit verbreitet angenommen wird, dass es erfolgreicher ist, auf bereits existierenden Präkonzepten aufzubauen, da der Verstand nicht ein-

fach ein leeres Blatt Papier ist, auf welches neue Informationen und Konzepte einfach geschrieben werden können (z.B. Bransford, J. D., Brown, A. L. und Cocking, R. R. 2000). Indem auf den bereits vorhandenen Kenntnissen und Vorstellungen aufgebaut wird, können die Schülerinnen und Schüler bei effektivem Lernen unterstützt werden. In den USA beispielsweise wird versucht, dies entsprechend umzusetzen: „The National Science Teachers Association in the United States regularly publishes teacher materials designed to help [...] science teachers assess their students’ existing conceptions and incorporate knowledge of them into planning lessons” (Larkin 2012, S. 928).

Die kognitiven Voraussetzungen, mit denen Schülerinnen und Schüler den Klassenraum betreten, müssen im Unterricht ernst genommen werden und sollten als Grundlage für die Entwicklung von Lerneinheiten dienen, um ein besseres Verständnis des aktuellen Stands der Wissenschaft zu erreichen. Aus diesem Grund ist eine häufige Herangehensweise die vorherige Untersuchung der vorhandenen Vorkenntnisse und Präkonzepte (Ausubel 1968; Anderson 2007). Ohne vorherigen Unterricht besteht der einzige Kontakt der Schülerinnen und Schüler mit dem Thema durch informelle Lerngelegenheiten, hauptsächlich bestehend aus Medien wie beispielsweise Dokumentationen im Fernsehen oder Artikeln und Videos im Internet. In Kombination mit der Tatsache, dass Kosmologie wenig mit dem Alltag zu tun hat, ist ein breites Spektrum an Ideen und Präkonzepten zu erwarten. Zugleich existiert ein Mangel an Forschung in diesem Bereich, obwohl die moderne Kosmologie und ihre philosophischen Aspekte eine bedeutende Rolle in der wissenschaftlichen Bildung haben sollten (Kragh 2011). Des Weiteren existieren noch keine vergleichbaren Erhebungen von Präkonzepten von Schülerinnen und Schülern in der Kosmologie: „[Y]et no comparable survey of students’ conceptual cosmology knowledge exists, no doubt due to the lack of prior research on this subject” (Wallace 2011, S. 42-43). Es fehlt insbesondere ein Testinstrument mit geschlossenen Fragen, welches jedoch für objektive Large Scale Studien und entsprechende Implikationen vonnöten wäre. Diese Tatsache ist ebenfalls einer der Gründe, warum es bis heute nicht geklärt ist, ob Unterschiede in den Vorkenntnissen und Präkonzepten von Schülerinnen und Schülern zwischen Ländern aufgrund verschiedener sozialer und kultureller Hintergründe vorhanden sind.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, zu diesem Forschungsgebiet beizutragen, indem zunächst in einer ersten qualitativen Studie die Vorkenntnisse und Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler untersucht und anschließend mit denen anderer Länder verglichen werden. Im Anschluss wird auf dieser Grundlage ein erstes geschlossenes Testinstrument entwickelt, angewendet und evaluiert. Dabei werden die Vorkenntnisse und Präkonzepte bezüglich eines gewissen Grundwissens in Kosmologie sowie das Verständnis der Expansion des Universums untersucht, welche ein

fundamentaler Aspekt in der Kosmologie und einer der drei Grundpfeiler der Urknalltheorie darstellt. Dies soll zum einen die Basis für ein Verstehen der Verständnisenwicklung von Schülerinnen und Schülern des Konzepts der Raumausdehnung darstellen. Darüber hinaus soll eine Grundlage für objektive und vergleichbare Large Scale Assessments gebildet werden, die Gruppenvergleiche und die Untersuchung der Wirksamkeit von Lerneinheiten in der Kosmologie möglich macht.

2. Theoretische Grundlagen

Im Folgenden wird zunächst ein kurzer inhaltlicher Überblick gegeben über Kosmologie, ihre Rolle in der naturwissenschaftlichen Bildung und ihr Vorkommen in Lehrplänen. Obwohl viele Fakten für die Bedeutung und Nützlichkeit für das Unterrichten und die Allgemeinbildung sprechen, ist eine Lücke bei der Umsetzung in der Lehre sichtbar. Des Weiteren gibt das Kapitel einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand im Bereich von Vorkenntnissen und Präkonzepten in der Kosmologie sowie deren Assessment. Zusätzlich wird das Konzept eines Verständnisenwicklungsmodells und Ordered Multiple-Choice Aufgaben vorgestellt, um auf dieser Grundlage das Verhaltensmuster von Schülerinnen und Schülern beim Verstehen der Expansion des Universums zu untersuchen. Alle diese Aspekte ebnen den Weg für die Motivation dieser Arbeit aufgrund der momentan wenigen vorhandenen Untersuchungen und Ergebnisse in diesem Bereich sowie einem fehlenden Testinstrument mit geschlossenen Fragen für objektive Large Scale Studien, die Untersuchung der Wirksamkeit von Interventionen sowie einen länderübergreifenden Vergleich.

2.1 Kosmologie

2.1.1 Inhaltliche Herangehensweise

„'Das Universum ist einfach da. Und damit hat es sich.' Dieser triviale Lösungsansatz, der angeblich so oder zumindest so ähnlich aus dem Mund des britischen Philosophen und Mathematikers Bertrand Russell (1872 - 1970) stammen soll, ist für uns Kosmologen nicht akzeptabel. Wir interessieren uns für das große Ganze und wollen wissen, wie das Weltall entstanden ist und wie es sich – mit allen Himmelskörpern darin – seither entwickelt hat.“ (Springel 2017, S. 33)

Die moderne Kosmologie startete im Wesentlichen mit Einstein und seiner allgemeinen Relativitätstheorie im frühen 20. Jahrhundert. Präzisionskosmologie ist noch jünger und begann mit den ersten Satelliten, die das Universum außerhalb der Erdatmosphäre untersuchten und daher wesentlich präzisere und dadurch wertvollere und nützlichere Daten sammeln konnten. Kosmologie ist ein spezielles Gebiet innerhalb der Physik. Sie beschäftigt sich mit der Entwicklung des Universums als Ganzem. Deswegen umfasst die Kosmologie eine Zeitspanne von fast 14 Milliarden Jahren sowie ebenfalls viele verschiedene Fachrichtungen der Physik. Als ein Beispiel kann die Expansion des Universums herangezogen werden, die zusätzlich einer der drei Grundpfeiler der Urknalltheorie darstellt, das vorherrschende kosmologische Modell zur Beschreibung des Universums. Die Untersuchung der Expansion des Universums benötigt die Messung von Entfernungen, die Analyse elektromagnetischer Spektren und die daraus resultierenden Berechnungen der Geschwindigkeiten der Galaxien, mit denen sie sich scheinbar von uns wegbewegen als direkte Folge der Expansion des Raums selbst. Um diese Form der Forschung durchführen zu können, wird eine Kombination von Optik, Atomphysik, relativistischen Elementen und Astrophysik für Sternentwicklung benötigt. Betrachtet man die Kosmologie als Ganzes, umfasst sie viele verschiedene naturwissenschaftliche Gebiete: „Physics, Astrophysics, Particle Physics, Theoretical Physics, Astronomy, Earth Science, Math, Engineering, and Technology” (Smoot 2011, S. 628). Die Astronomie im weiteren Sinne eröffnet „die wundervolle Gelegenheit, das über vier Jahrhunderte sehr dicht gewebte Netz von Erkenntnissen über die Natur als Ganzes so zusammenzustellen, dass die verschiedenen Naturwissenschaften nicht mehr isoliert dastehen, sondern ihr innerer Zusammenhang deutlich wird” (Steinmetz et al. 2017, S. 37).

Im Gegensatz zu anderen Bereichen in der Physik können keine direkten Experimente in der Kosmologie durchgeführt werden. Allerdings wurden viele Entdeckungen durch das erfolgreiche Zusammenspiel von unterschiedlichen Gebieten der Physik gemacht. Dies veranschaulicht den Nutzen und die Notwendigkeit der Kombination mehrerer Fachgebiete besser als die meisten anderen Bereiche der Naturwissenschaft.

Des Weiteren verbindet die Kosmologie das ganz Kleine – insbesondere wenn es um den Beginn des Universums, den Urknall, geht – mit dem ganz Großen – dem Universum selbst, seine großräumigen Strukturen, die Entwicklung von Sternen und Galaxien und die noch offenen Fragen bezüglich der Natur der dunklen Materie und Energie beispielsweise. Somit kann die Kosmologie auch als eine Art Verbindung zwischen Elementarteilchenphysik und Astrophysik gesehen werden. Da die Kosmologie so viele verschiedene Aspekte beinhaltet, ist sie ein sehr spezielles und interessantes Fachgebiet in der Physik, welches sich noch immer rasch weiter entwickelt.

2.1.2 Rolle in der naturwissenschaftlichen Bildung

Ein häufiges Thema in bildungspolitischen Diskussionen stellt der wissenschaftliche Nachwuchs in den naturwissenschaftlichen Fächern da. Die Denkschrift 2017 für die Perspektiven der Astrophysik, die etwa alle 15 Jahre die Lage des Forschungsgebiets sowie Ziele für die weitere Entwicklung beschreibt, sagt in diesem Zusammenhang Folgendes: „Die öffentliche Vermittlung astronomischer Entdeckungen ist essenziell für die Rekrutierung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Dies betrifft die Physik ebenso wie die sogenannten MINT-Fächer Mathematik, Ingenieur und Naturwissenschaften insgesamt.” (Steinmetz et al. 2017, S. 36) Kosmologie ist zweifellos ein wichtiger Fachbereich in der Physik und ebenfalls ein aktuelles Thema in der Forschung und in den Medien. Einige Arbeiten im Forschungsbereich der naturwissenschaftlichen Bildung zeigen die Bedeutung der Kosmologie in der Bildung auf, beispielsweise (Kragh 2011, S. 343): „[M]odern cosmology and its philosophical aspects should have a prominent place in science education”. Es existieren genügend Aspekte, die diese Aussage hervorheben und rechtfertigen. Die Bedeutung und Anerkennung dieses Fachgebiets wird beispielsweise durch die Vergabe von Nobelpreisen in der Physik deutlich. Abgesehen von den Nobelpreisen für astrophysikalische Themen wurden bereits drei an Forschungen in rein kosmologischen Themen vergeben (Nobel Media AB 2019).

Des Weiteren wird das Wissen von zugrunde liegenden Präkonzepten teilweise bei Museen zur Planung von Ausstellungen oder der Konzipierung von Unterrichtsmaterialien berücksichtigt. Dies ist zum Beispiel der Fall bei der Astronomical Society of the Pacific (Astronomical Society of the Pacific 2018). Auf ihrer Webseite werden ebenfalls Forschungsarbeiten über wissenschaftlich inkorrekte Vorstellungen und das Unterrichten von Kosmologie zur Verfügung gestellt. Ein weiteres Beispiel für die Miteinbeziehung von Forschungsarbeiten in der naturwissenschaftlichen Bildung ist das Science Education Department of the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics n.d.). Diese Vereinigung, welche ebenfalls Bildungsforscher miteinbezieht, arbeitet mit Museen und Planetarien zusammen und entwickelt Lehrpläne, welche derzeitige wissenschaftliche und Bildungsphilosophien widerspiegeln. Dennoch scheint es umfassendere Nutzungs- und verstärkte Anwendungsmöglichkeiten von didaktischer Forschung für die Entwicklung von wissenschaftlichen Ausstellungen zu geben: „[T]he educational potential of museums can be further improved by utilising research findings during the process of exhibition development” (Laherto 2013, S. 122).

„Cosmology differs in some respects significantly from other sciences” (Kragh 2012, S.1). Kragh macht deutlich, dass Schülerinnen und Schüler in jedem Fall die Wissenschaft selbst lernen und verstehen sollen, dennoch ist für ihn auch ein weiterer Aspekt von Bedeutung: „No less importantly, they should learn to recognize

the limits of science and that there are questions about nature that may forever remain unanswered. Cosmology, more than any other science, is well suited to illuminate issues of this kind.” (S. 1). Es existiert offensichtlich ebenfalls ein gewisses Potential der Kosmologie in der Richtung der Vermittlung, wie weit unser aktuelles naturwissenschaftliches Verständnis reicht, dass es Grenzen gibt und wo sich diese befinden.

In diesem Zusammenhang ist es vorteilhaft, dass das Interesse in astronomischen und kosmologischen Themen sehr groß und sogar überdurchschnittlich hoch im Vergleich zu anderen physikalischen Themengebieten ist (Schreiner und Sjøberg 2004). Laut der ROSE (Relevance of Science Education) Studie scheint dieser Bereich der Physik gleichermaßen attraktiv bei männlichen und weiblichen Schülern zu sein ohne abnehmendes Interesse mit höherem Alter. Kosmologie mit ihren zugrunde liegenden Ideen und Modellen kann ein sehr schwieriges Thema sein. Dennoch scheint das Interesse beispielsweise auch bei Studienanfängern vergleichsweise hoch und ungebrochen zu sein: „We can conclude that students find cosmology ideas difficult because they have to work with many different conceptual thinking representations, key experiment results, formulas and graphs at the same time. But every student of both groups very appreciated that could investigate fascinating cosmology theories and explore many concepts regarding the history, origin, and evolution of our Universe” (Svobodova et al. 2014, S. 471).

Unser modernes wissenschaftliches Weltbild wurde größtenteils durch Entdeckungen in der Kosmologie geprägt. Diese haben zum einen unsere Sichtweise des Weltbilds mit der Zeit verändert, was die vorläufige Natur dessen veranschaulicht, und zum anderen unser Verständnis des Universums und unserem Platz im selbigen verändert. „[U]nderpinnings of the Universe can deepen students’ sense of wonder and help them appreciate where they come from” (Trouille et al. 2013, S. 1). In diesem Zusammenhang betont Smoot (2011) Folgendes: „[C]osmology is a great interest and educational tool for capturing the attention of the young and broadening their perspective” (S. 622). Hinsichtlich der Kosmologie als Schlüssel in der MINT-Bildung sowie in der menschlichen Kultur und Wissenschaft, werden die folgenden Punkte von Smoot (2011, S. 622) aufgelistet:

- The universal story of origins that humans have sought through the ages
- A culmination of science, engineering, mathematics and technology
- An encompassing story line for STEM learning

Obwohl kosmologische Themen auf den ersten Blick weit entfernt vom Alltag sind und scheinbar keine besondere Beachtung finden, sollte laut Novotny und Svobodova (2015) Folgendes berücksichtigt werden: „Nevertheless it extends our horizons and opens new perspectives for our future investigations. It answers fundamental questions and in the same time introduces new attractive problems.” (S. 285). Alle diese

Aspekte unterstreichen die Bedeutung der Kosmologie und Wissenschaftsforschung in den Bereichen Vorstellungen und Lernen als Grundlage für eine angemessene Entwicklung von Unterrichtseinheiten, Lehrerfortbildungen und wissenschaftlichen Ausstellungen.

Trotz all dieser Argumente für die Wichtigkeit und Bedeutung der Kosmologie innerhalb der naturwissenschaftlichen Bildung, scheint eine Lücke bei der Umsetzung zu bestehen: „Cosmological discoveries over the past two decades have a great impact on physics, but the impact on science education was almost negligible. Most science students have never had any cosmology or astronomy course.” (Svobodova et al. 2014, S. 468) Aus diesem Grund folgt im nächsten Abschnitt eine nähere Betrachtung des Vorhandenseins von Kosmologie in Lehrplänen.

2.1.3 Vorkommen in Lehrplänen

Kosmologie scheint ein interessantes Thema für Schülerinnen und Schüler zu sein sowie ein wichtiges Gebiet in der Physik mit Entdeckungen auf fast regelmäßiger Basis. Deswegen tauchen kosmologische Themen relativ häufig in verschiedenen Medien auf, insbesondere im Internet und im Fernsehen, und sie erregen ebenso viel allgemeines wie wissenschaftliches Interesse (Kragh 2011). Trotz dieser Tatsachen wurde Kosmologie bisher nicht in alle Lehrpläne integriert und wo das Thema enthalten ist, sind die vorhandenen Stichpunkte diesbezüglich häufig sehr allgemein formuliert, werden nur sehr wenige Dinge überhaupt genannt und/oder es ist nicht verpflichtend, sondern beispielsweise ein Wahlbereich in der Oberstufe. Gerade aufgrund des letzten Aspekts wird Kosmologie, selbst wenn die Möglichkeit besteht, normalerweise gar nicht erst unterrichtet aufgrund von Zeitmangel sowie mangelndem Wissen und Unterrichtsmaterial. Da Studien im Bereich von Vorkenntnissen und Präkonzepten im Bereich der Kosmologie bisher lediglich in den USA, Schweden und Deutschland durchgeführt wurden, werden im Folgenden die Lehrpläne dieser Länder ebenfalls als Fallbeispiele bezüglich kosmologischer Themen in Lehrplänen näher beleuchtet.

Während in den USA kein nationales Curriculum existiert, verlangen beziehungsweise empfehlen die Staaten, Schulbezirke und nationalen Verbände, dass bestimmte Standards als Anleitung für den Schulunterricht verwendet werden. McREL International (2014) ist eine Datenbank für Richtwerte von Mindeststandards für die USA, welche 13 Standards unter dem Punkt „Science“ beinhaltet. Standard 3 umfasst ebenfalls kosmologische Themen und trägt den Titel „Understands the composition and structure of the universe and the Earth’s place in it“. In dem dort enthaltenen dritten und vierten Level, welche für die Klassen 6 bis 8 beziehungsweise 9 bis 12 gedacht sind, besagen die Standards, dass die Schülerinnen und Schüler wissen sollen, dass das Universum aus vielen Milliarden Galaxien besteht mit unbegreiflich großen Entfernungen, welche diese voneinander trennen. Des Weiteren wird das Alter des

Universums genannt sowie, dass die Urknalltheorie durch aktuelle wissenschaftliche Nachweise gestützt wird. Dennoch wird im letzteren Fall lediglich die Expansion des Universums erwähnt. Die anderen beiden Grundpfeiler der Urknalltheorie, nämlich die kosmische Hintergrundstrahlung sowie die Elementhäufigkeiten, sucht man vergebens. Zusammenfassend kann man sagen, dass nur wenige kosmologische Aspekte in den US-amerikanischen Standards enthalten sind. Da diese ebenfalls nur in den Standards vorhanden sind und nicht in einem überall verpflichtenden Lehrplan, ist es umso fraglicher, wie oft und ausführlich dieses Thema an US-amerikanischen Schulen unterrichtet wird.

Für das schwedische Schulsystem existieren zwei Lehrpläne für Physik, einer für die Pflichtschule, die Vorschule und Freizeitzentren (Skolverket: Swedish National Agency for Education 2011) und einer für die Sekundaroberstufe (Skolverket: Swedish National Agency for Education 2012). Einer der Kerninhalte für die Schuljahre 7 bis 9 nennt sich „Physics and world views“. Darin enthalten sind drei Aspekte, die kosmologische Themen behandeln (S. 124):

- Scientific theories about the origins of the universe in comparison with other descriptions.
- Development of the universe, the occurrence of atoms, development of the stars.
- Structure of the universe with planets, solar systems and galaxies, and also their movements and distances between them.

Diese wenigen Aspekte sind sehr allgemein formuliert und beinhalten darüber hinaus ebenfalls weitere nicht direkt kosmologische Aspekte wie die Sternentwicklung.

In Deutschland gibt es 16 verschiedene Lehrpläne in Physik, einen für jedes der 16 Bundesländer (Kultusministerkonferenz: Bildungspläne / Lehrpläne der Länder im Internet 2018). Lediglich in der Hälfte dieser Lehrpläne sind kosmologische Themen enthalten: Berlin, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Bayern, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Die enthaltenen Themen unterscheiden sich in der Tiefe der detaillierten Beschreibung sowie im Inhaltlichen. Der Schwerpunkt liegt hauptsächlich auf der Urknalltheorie im Allgemeinen mit der Entstehung und Entwicklung des Universums wie auch der Expansion sowie damit im Zusammenhang stehende Phänomene wie beispielsweise Galaxienflucht und Rotverschiebung. Diese Themen werden in sechs der acht Lehrpläne erwähnt, die kosmologische Themen umfassen. Neben dem zweiten Grundpfeiler der Urknalltheorie, der kosmischen Hintergrundstrahlung, werden das Alter und die Struktur des Universums sowie dunkle Materie und dunkle Energie mehrfach erwähnt. Weitere Aspekte wie die Inflation, alternative Modelle und das Schicksal des Universums tauchen jeweils nur in einem der Lehrpläne auf. Obwohl einige dieser Lehrpläne bereits

detaillierter bezüglich kosmologischen Themen im Vergleich zu den anderen beiden Ländern sind, ist dieses Themengebiet in den meisten der deutschen Lehrpläne nicht verpflichtend zu unterrichten, sondern ein mögliches Wahlpflichtfach. Hinzu kommt, dass Kosmologie – wenn überhaupt – in der Oberstufe unterrichtet wird, wo Physik an sich bereits kein Pflichtfach mehr in Deutschland ist.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Kosmologie trotz der erkennbaren Bedeutung dazu neigt, in Lehrplänen unterrepräsentiert zu sein. Betrachtet man Kosmologie näher als einen Teilbereich der modernen Physik, welche stärker Einzug in die Klassenräume nehmen sollte (Schecker et al. 2004b), sowie die regelmäßigen neuen Entdeckungen, welche unser Weltbild verändern und formen, sollte diese offensichtlich vorhandene Lücke bei zukünftigen Entwicklungen und Diskussionen von und über Lehrpläne erörtert und verkleinert, wenn nicht gar geschlossen werden.

2.2 Vorwissen und Präkonzepte

2.2.1 Die Bedeutung von Präkonzepten und Ländervergleiche

Forschung im Bereich von Präkonzepten ist ein großes, viel erforschtes Gebiet und besitzt eine lange Geschichte. Tausende Studien über Präkonzepte in den verschiedensten Bereichen wurden in den letzten Jahrzehnten durchgeführt. Ein Versuch eines Überblicks der vorhandenen Forschung über Schüler- und Lehrervorstellungen wurde von Duit (2009) unternommen. Dieses Literaturverzeichnis wurde bis 2009 regelmäßig aktualisiert. Nach mehr als drei Jahrzehnten sagt Duit jedoch: „After more than 30 years it has become more and more difficult to adjust the initial system of keywords to the rapid developments in science education research“. Dies unterstreicht die schnelle und umfassende Entwicklung dieses Forschungsbereichs und die damit einhergehende Bedeutung.

Eine Schülervorstellung ist eine Idee eines Sachverhalts, Prozesses oder Konzepts auf der Basis von Alltagserfahrungen, Unterricht, Medien und so weiter (Aretz et al. 2016). Laut Cambridge University Press (2014) ist eine vorunterrichtliche Vorstellung oder ein Präkonzept eine Idee oder Ansicht, welche sich gebildet hat bevor ausreichend Information verfügbar war, um diese richtig auszubilden. Präkonzepte müssen nicht auf Schülerinnen und Schüler beschränkt sein, sondern können ebenfalls in weiteren Populationsgruppen vorhanden sein.

Wie Bransford, J. D., Brown, A. L. und Cocking, R. R. (2000) aufzeigen, können Schülerinnen und Schüler nicht im übertragenen Sinn als leeres Blatt Papier oder „tabula rasa“ angesehen werden, auf welches neue Informationen einfach übertragen werden können. Die gesamte kognitive Organisation des oder der Lernenden sollte

für die Entwicklung von Lernangeboten bekannt sein (Jung 1978). Unweigerlich besitzen Schülerinnen und Schüler bereits einige Ideen und Konzepte beispielsweise aus alltäglichen Erfahrungen, informellen Lerngelegenheiten sowie vorhergehendem Unterricht. Das menschliche Gehirn funktioniert in einer Art und Weise, in der neue Informationen gewissermaßen mit bereits existierendem Wissen und Ideen verbunden werden. Eine Möglichkeit neues Wissen in das Langzeitgedächtnis zu transferieren, ist die Bildung von neuen synaptischen Verbindungen durch Verknüpfung der neuen Informationen mit bereits bestehenden Vorstellungen (Grossberg 1982). Dies ist gleichermaßen wichtig im Forschungsbereich der wissenschaftlichen Argumentation. Eine Studie aus diesem Gebiet schlussfolgert daher:

„The key point [...] is that sufficient chunking of concepts and/or reasoning sub-patterns needs to have occurred prior to one's attempt to construct and maintain such complex arguments in working memory and use them to draw conclusions. [...] This is why it is imperative that teachers know what their students bring with them to the classroom in terms of not only their levels of intellectual development but also their background of subject specific declarative knowledge.”

(Lawson, A. E. 2004, S. 322)

Bei Betreten des Klassenzimmers besitzen Schülerinnen und Schüler normalerweise bereits teils tief verwurzelte Präkonzepte, welche auf der Grundlage von Alltagserfahrungen und informellen Lerngelegenheiten wie Internet, Fernsehen und gedruckten Medien gebildet wurden. Diese vorunterrichtlichen Vorstellungen unterscheiden sich häufig von der gegenwärtigen wissenschaftlichen Sichtweise. Dies kann zu möglichen Problemen beim Lernen von neuem Wissen und Konzepten führen (Duit 1995; Amin et al. 2014). Dieser Aspekt wird sehr gut durch ein Zitat auf den einleitenden Seiten des Lehrbuchs über die Psychologie des Lernens von Ausubel (1968) hervorgehoben: „If I had to reduce all of educational psychology to just one principal, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly” (S. vi). Lernen von Chemie und Physik bedeutet laut Duit (1995), dass neues Wissen aktiv auf bereits vorhandenen Alltagsvorstellungen aufgebaut werden soll, da Schülerinnen und Schüler Neues nur durch eine Brille von bereits bekannten und vertrauten Dingen wahrnehmen. Darüber hinaus sagt Duit, dass Vorstellungen ebenfalls ad hoc durch eine Konfrontation mit etwas Neuem entstehen können. Alle diese vorhandenen Präkonzepte müssen in Bezug auf effektives Unterrichten und Lernen ernst genommen und berücksichtigt werden.

In den letzten Jahrzehnten wurden viele Studien im Bereich von Schülervorstellungen in der Physik durchgeführt, hauptsächlich in den Themengebieten Mechanik, Energie, Elektrizität und Magnetismus, Wärme und Temperatur, Optik sowie der

Natur der Materie (z.B. Champagne et al. 1980; Gunstone und Watts 1985; Erickson 1979; Kristyanto und Berg 1991; Stead und Osborne 1980; van den Berg und Sundaru 1990; Cohen et al. 1983; McDermott und Shaffer 1992; Ayas et al. 2010; Gómez et al. 2006). Ein Bericht über deutsche Literatur in den vorgenannten Gebieten wird in Müller et al. (2011) dargestellt. Es wurden ebenfalls interkulturelle Studien durchgeführt wie beispielsweise von Trumper et al. (2000), Eckstein, S. G., Kozhevnikov, M. und Lesman, T. (1993), Lynch (1996), Shipstone et al. (1988) und Liu (2005). Auf den ersten Blick scheinen sich Schülervorstellungen zwischen den Ländern nicht wesentlich voneinander zu unterscheiden: „The reported cross-cultural results indicate the similarity of *types* of alternative conceptions, not so much their relative *frequencies* in a population of students” (Thijs und Van den Berg 1995, S. 327).

Dennoch scheint bisher noch keine abschließende Schlussfolgerung bezüglich der Frage zu existieren, wie viel Einfluss der kulturelle Hintergrund oder die Sprache wirklich auf die Entwicklung von Vorstellungen bzw. Präkonzepten und das Lernen von Naturwissenschaften haben. Folgende zwei Zitate machen dies deutlich: „... culture and differences in man-made aspects of the environment may have only limited influence on the formation or construction of certain physics conceptions” (Thijs und Van den Berg 1995, S. 325/326) und „... a student’s cultural background is likely to affect their ability to fully comprehend and manipulate scientific concepts” (Baker und Taylor 1995, S. 698). Deshalb werden im Folgenden die Faktoren „Kultur” sowie „Sprache” ein wenig genauer beleuchtet.

Es scheint unumstritten zu sein, dass der Faktor „Sprache” einen signifikanten Einfluss auf die Interpretation von Konzepten und daher ebenfalls auf das Lernen von Naturwissenschaften besitzt (Baker und Taylor 1995). Deswegen schlussfolgern Baker und Taylor unter anderem: „[S]cientific concepts are best learned and understood in the students’ mother tongue” (S. 696). Ein wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist die Verwendung von Alltagssprache, da diese Vorstellungen involviert, welche nicht der modernen wissenschaftlichen Vorstellung entsprechen, wie beispielsweise „die Sonne geht auf”. Manche Fachausdrücke, die in der Physik verwendet werden, können ebenfalls eine andere oder weitere Bedeutung besitzen, wenn sie in der Alltagssprache verwendet werden, wie zum Beispiel „Kraft” oder „Energie” (Jung 1986). Aus diesen Gründen kann die Alltagssprache die Entwicklung von wissenschaftlich akzeptierten Vorstellungen und Konzepten erschweren.

Ein weiterer, nicht zu vernachlässigender Aspekt sind kulturelle Faktoren wie die umgebende Umwelt, traditioneller Glauben und entsprechende Ansichten oder Sozialstrukturen, welche das Lernen von Naturwissenschaften sowie Lehrprozesse entscheidend beeinflussen können (Thijs und Van den Berg 1995). Anhaltspunkte hierfür finden sich ebenfalls beispielsweise in Baker und Taylor (1995): „[C]oncept

development in school science is affected strongly by social influences, especially students' socially determined preconceptions and predilections. This intuitive life-world knowledge is constructed during students' early childhood socialization and enculturation by significant others" (S. 697).

Trotz der oben genannten Aspekte zeigen länderübergreifende Studien vorwiegend die Existenz ähnlicher Schülervorstellungen in unterschiedlichen Ländern. Kleinere Unterschiede wurden beispielsweise von Trumper et al. (2000) berichtet, die Schülervorstellungen zum Thema Energie in Israel und Argentinien untersucht haben. Dennoch schlussfolgern sie, dass Schülervorstellungen unabhängig von der spezifischen Kultur zu sein scheinen, in welcher die Schülerinnen und Schüler leben. Zugleich deuten andere länderübergreifende Studien auf das Vorhandensein von Unterschieden zwischen Ländern hin. Isa und Maskill (1982) verglichen in ihrer Studie die Verwendung von Wortbedeutungen in einem breitem Spektrum von grundlegenden Konzepten wie zum Beispiel Temperatur und Flüssigkeiten zwischen Schülerinnen und Schülern aus Schottland und Malaysia. Sie entdeckten Unterschiede, die laut ihnen sehr wahrscheinlich eher durch kulturelle Effekte herbeigeführt wurden als beispielsweise durch ihre Fähigkeiten. Die länderübergreifende Studie von Lynch (1996) über Schülervorstellungen im Bereich der Natur und Beschaffenheit von Materie kommt zu folgendem Schluss: „The evidence from this study and from previous studies in the series would suggest that many alternative frameworks are linguistically and/or culturally determined" (S. 750). In einer Studie über alternative Vorstellungen zum Thema Bewegung in Australien, England und Israel wurde berichtet, dass dieselben Antwortkategorien in allen drei Ländern gefunden werden konnten, aber die detaillierte Untersuchung der Entwicklung von Bewegungskonzepten wesentliche Unterschiede zwischen Australien und England auf der einen Seite und Israel auf der anderen Seite aufzeigte (Eckstein, S. G., Kozhevnikov, M. und Lesman, T. 1993). Eine weitere Studie von Maskill et al. (1997) untersuchte Schülervorstellungen im Bereich der mikroskopischen Natur der Materie in der UK, Portugal und Griechenland. Bei einem Vergleich dieser drei Länder fanden sie folgendes Resultat: „[T]here are clear cultural differences in the other dimensions of meaning attached to the words tested" (S. 641).

Eine Untersuchung zu Vorstellungen in einigen astronomischen Themen bei sehr jungen Schülerinnen und Schülern vor etwaigem Unterricht offenbarte bestimmte Unterschiede (Liu 2005). Zunächst schienen die Schülerinnen und Schüler ihre Ideen und Vorstellungen in einer konsistenten Art und Weise darzustellen, dennoch fand Liu (2005) Folgendes: „[F]or the difference between the sample of two countries, the German students show more intention ... to explain astronomical phenomena than their Taiwanese counterparts, and thereby presented more precise models with stronger explanatory power" (S. 295). Bei der Betrachtung, wie sich diese vor-

unterrichtlichen Vorstellungen des Erdmodells entwickelt haben sollen, nennt Liu verschiedene informelle Lerngelegenheiten: „[T]hey seem to have frequently received the relevant information from various sources (TV, books, parents, peers, etc.)” (S. 322).

Infolgedessen können demnach solche informellen Lerngelegenheiten die Bildung und Entwicklung von Präkonzepten beeinflussen, insbesondere in Bereichen wie der Kosmologie, welche weiter entfernt vom Alltag sind und bei denen keine anderen Lerngelegenheiten wie beispielsweise Schulunterricht vorhanden sind. Diese Faktoren können je nach Land unterschiedlich sein und von der Vielfalt der sozialen und kulturellen Hintergründe abhängen, wodurch länderübergreifende Unterschiede resultieren können. Dies steht im Gegensatz zu anderen Bereichen der Physik, bei denen scheinbar keine signifikanten Hinweise in Bezug auf unterschiedliche Präkonzepte vorhanden sind, und kulturelle Faktoren lediglich einen Einfluss auf die Wirksamkeit von Unterricht bei der Behebung von wissenschaftlich inkorrekten Vorstellungen zu besitzen scheinen. Vorstellungen, die ihre Wurzeln in der frühen Kindheit haben und mit sensorischen Erfahrungen verbunden sind, könnten universell sein, aber solche wie die in der Kosmologie sollten sich später entwickeln und diese Art von Vorstellungen sind beeinflussbarer durch sprachliche und kulturelle Einflüsse (Thijs und Van den Berg 1995). Demzufolge ist es möglich, dass dies bei der Entwicklung von Unterrichtsmaterial berücksichtigt werden muss: „[I]t is entirely possible that teaching materials designed for children whose thoughts and ideas have developed in one culture will be inappropriate for children in another” (Isa und Maskill 1982, S. 188).

Der nächste Schritt nach der Untersuchung von Präkonzepten ist, aus den Resultaten schließlich einen Nutzen zu ziehen. Dabei können die Ergebnisse sowohl eine direkte als auch eine indirekte Hilfe für die Lehrperson darstellen (Jung 1986). Bei der indirekten Hilfe erörtert Jung beispielsweise die Möglichkeit für die Lehrperson, sich wesentlich detaillierter auf einen Dialog mit der Schülerin oder dem Schüler vorzubereiten, in welchem er oder sie Einblicke in die Beziehungen und Zusammenhänge zwischen Alltagswissen und wissenschaftlichem Wissen liefern kann. Dies kann essenziell für die Vermeidung eines Rückfalls in alternative Vorstellungen nach erhaltenem Unterricht sein. Andererseits ist die Anpassung von Unterricht auf der Basis von Präkonzepten eine mögliche direkte Hilfe. Hierbei gibt es prinzipiell drei Möglichkeiten dies zu erreichen (Schecker et al. 2018). Die Lehrperson kann solche Vorstellungen als Anknüpfungspunkte wählen, die kaum oder gar nicht mit der wissenschaftlichen Sichtweise kollidieren. Eine weitere Möglichkeit besteht in der direkten Konfrontation der Schülerinnen und Schüler mit den verschiedenen unvereinbaren Vorstellungen beispielsweise durch ein unerwartetes Ergebnis eines Experiments. Die dritte Möglichkeit ist die Taktik der Neuinterpretation oder Um-

deutung. Dabei beginnt die Lehrperson mit der teilweise oder vollständig inkorrekten Schülervorstellung und führt eine umfangreiche Restrukturierung (Conceptual Change) herbei. Präkonzepte werden normalerweise nicht durch eine einzige richtige Erklärung verändert. Stattdessen ist dies ein Prozess, welcher bis zu mehrere Jahre andauern kann. Eine weitere Option, vorunterrichtliche Vorstellungen im Unterricht zu integrieren, besteht in einer angemessenen Auswahl und dem sinnvollen Einsatz von Unterrichtsmedien, speziellen Aufgaben oder bestimmten Beispielen (Wodzinski 1996).

Die Kenntnis von Vorwissen und Präkonzepten spielt offensichtlich eine nicht zu vernachlässigende Rolle in der Sammlung und Verarbeitung von neuem Fachwissen und der Bildung eines umfassenden Wissensschatzes und Verständnisses. Von daher ist es nicht verwunderlich, dass dieser Forschungsbereich einen Schwerpunkt der physikdidaktischen Forschung darstellt (Schecker 1985; Bransford, J. D., Brown, A. L. und Cocking, R. R. 2000; Larkin 2012).

2.2.2 Bisherige Forschung von Präkonzepten in der Kosmologie

Kosmologie ist ein etwas spezielles Themengebiet, wenn es um das Erlernen auf der Basis von Vorwissen und Vorstellungen geht. Auf der einen Seite ist das Thema weit vom Alltag entfernt und wird – falls überhaupt – spät in der Schule unterrichtet. Auf der anderen Seite ist es durch fast regelmäßige neue Entdeckungen ein häufiges Thema in den Medien, da das goldene Zeitalter der Kosmologie erst in den letzten gut zwei Jahrzehnten begonnen hat: „Thus, their [the students] understanding of the Universe has been formed through exposure in the news, internet sources or movies or in their limited astronomy experiences in basic school education” (Svobodova et al. 2014, S. 468). Demnach existieren viele informelle Lerngelegenheiten für Schülerinnen und Schüler vor jeglichem Unterricht. Aufgrund dessen stellen sie eine wichtige Quelle für die Entwicklung von wissenschaftlich inkorrektem Vorwissen und Vorstellungen dar.

Die letzten Abschnitte haben die Bedeutung und die Rolle von Kosmologie in der naturwissenschaftlichen Bildung sowie die Bedeutung der Kenntnis von Vorwissen und Präkonzepten für jedweden Unterricht aufgezeigt. Trotz dieser Punkte befindet sich die Forschung der Kombination dieser beiden Aspekte noch am Anfang. Betrachtet man den Altersbereich vom Beginn der Oberstufe bis zum Beginn des Studiums genauer, beschränkt sich die Forschung auf die USA (Prather et al. 2003; Wallace 2011; Bailey et al. 2012; Trouille et al. 2013) und jeweils eine Studie aus Deutschland (Kahnt und Thesing 2010) und Schweden (Hansson und Redfors

2006). Im Folgenden soll ein kurzer Einblick in diese wenigen vorhandenen Studien gegeben werden.

In der Studie von Prather et al. (2003) wurden 961 Schülerinnen und Schüler bezüglich vorunterrichtlichen Vorstellungen in der Kosmologie befragt, darunter 607 aus der sogenannten „middle school“, 177 aus der Highschool (nur männliche Schüler) und 177 Schülerinnen und Schüler eines Colleges. Sie wurden befragt, ob sie etwas über die Urknalltheorie gehört haben, und falls ja, sollten sie dies beschreiben. Eine weitere Gruppe von 133 Personen eines Colleges wurden dazu befragt, was vor dem Urknall existierte. Die Antworten wurden anschließend induktiv analysiert. Die Ergebnisse offenbaren, dass 42% (alle Prozentzahlen auf ganze Prozent gerundet) der Schülerinnen und Schüler der Highschool sowie 51% derjenigen vom College die Urknalltheorie als eine die Entstehung des Universums beschreibende Theorie ansehen; 24% in beiden Gruppen geben an, dass der Urknall direkt für die Erschaffung u.a. von Planetensystemen verantwortlich war, und 29% bzw. 42% glauben, dass der Urknall irgendeine Art von Explosion gewesen sei. Darüber hinaus geben 69% der College Studentinnen und Studenten an, dass irgendeine Konfiguration von Materie bereits vor dem Urknall vorhanden war. Gewisse Unterschiede deuten sich in diesen Ergebnissen an, sehr wahrscheinlich aufgrund der Altersunterschiede in den verschiedenen Stichproben.

Die ausführliche Studie von Wallace (2011) beinhaltete mehr als 2300 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus drei verschiedenen Semestern der generellen Astronomie-Einführungsvorlesung „Astro 101“. Etwa 560 Personen beantworteten jede der für diese Studie relevanten Aufgaben. Ein entsprechendes Schema zur Vergabe von Punkten für die entsprechenden Antworten wurde nach der Erfassung aller Daten erstellt. Häufige wissenschaftlich inkorrekte Vorstellungen wie der Urknall als Explosion von bereits vorher existierender Materie in den leeren Raum hinein oder die Ausbreitung aller Materie von einem Zentrum weg in bereits existierende Raumregionen wurden offenbart. Des Weiteren gaben einige der befragten Personen an, dass die „Expansion des Universums“ als Erweiterung unseres Wissens durch neue Entdeckungen zu verstehen ist.

In einer weiteren Studie aus den USA von Bailey et al. (2012) nahmen zwischen 219 und 239 Studentinnen und Studenten von einführenden Vorlesungen in Astronomie beziehungsweise Kosmologie teil. Vergleichbar zu den Ergebnissen von Wallace (2011) gaben etwa 50% an, dass der Urknall irgendeine Art von Explosion war, und 5%, dass die Urknalltheorie das für das Aussterben der Dinosaurier verantwortliche Ereignis war. In Bezug auf belegende Hinweise für die Richtigkeit der Urknalltheorie gaben 15% die Expansion an, lediglich 1% die kosmische Hintergrundstrahlung und niemand den dritten Grundpfeiler der Urknalltheorie, die Elementhäufigkeiten. Stattdessen führte eine nicht zu vernachlässigende Minderheit (8%) „Autorität“ als

Hinweis für die Richtigkeit an, wie beispielsweise eine Lehrperson oder wissenschaftliche Medien. Bei der Frage, wie sich das Universum mit der Zeit verändere, falls überhaupt, führten 31% die Expansion an. Darüber hinaus konnten lediglich 11% der Studentinnen und Studenten das richtige Alter des Universums mit 13 bis 15 Milliarden Jahren schätzen, fast zwei Mal so viele (21%) gaben an, dass das Universum schon immer existierte, oder dass sein Alter unendlich wäre.

Die jüngste Studie in diesem Bereich in den USA wurde von Trouille et al. (2013) in Einführungsvorlesungen zur Astronomie durchgeführt. Die Herangehensweise beinhaltete gemischte Methoden wie Interviews, Prüfungsfragen und Hausaufsätze. Auch hier wurden einige inkorrekte Vorstellungen aufgezeigt, wie die Sichtweise des Urknalls als Explosion, die Urknalltheorie als Beschreibung der Entstehung von Planeten und/oder von Sonnensystemen sowie ein unendlich altes Universum.

In Deutschland wurden 710 Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 7 bis 12 in der Studie von Kahnt und Thesing (2010) befragt. In der Analyse wurde ein Kategoriensystem gebildet, in welches 80% aller Antworten mit einem Wert von Cohens Kappa von 0,77 für die Interraterübereinstimmung (siehe Bortz und Döring 2006) eingeordnet werden konnten. Die Assoziation des Urknalls mit einer Explosion war bei 32% aller Antworten enthalten, während 31% bis 41% – abhängig vom Alter – angaben, dass das Universum schon immer existierte.

Die schwedische Studie von Hansson und Redfors (2006) umfasste 88 Schülerinnen und Schüler des letzten Jahres der Oberstufe (normalerweise 18-19 Jahre alt). Bei der Frage nach der Veränderung des Universums nannten 63% die Expansion oder das Wachstum des Universums. Bezüglich des Alters des Universums gaben 32% ein schon immer existierendes Universum an.

Im Hinblick auf die wenigen vorhandenen Studien und damit begrenzten Ergebnisse tun sich einige Schwierigkeiten auf. Zunächst einmal variieren die verwendeten Stichproben zur Datensammlung in Alter, vorher erhaltenem Unterricht sowie in den verwendeten Methoden. Zusätzlich wurden unterschiedliche Kategorien und Fragen verwendet, letztere sowohl inhaltlich als auch methodisch, was zu einer Anwendung von verschiedenen Methoden und daher Schwierigkeiten beim grundsätzlichen Vergleich der Ergebnisse führt. Es existiert bisher keine vergleichbare Studie über Präkonzepte in der Kosmologie (Wallace 2011), was bis heute zutrifft. Dennoch gibt es gewisse Anzeichen dafür, dass Unterschiede in Präkonzepten zur Kosmologie zwischen Ländern existieren. Dies legt einen Bedarf für eine fortführende, systematische Untersuchung nahe. Solch eine Untersuchung kann wertvolle Informationen beispielsweise über das Spektrum von vorhandenen Vorstellungen liefern. Des Weiteren kann sie die Frage beantworten, ob ein Bedarf an unterschiedlichen Unterrichtseinheiten für verschiedene Länder besteht. In diesem Zusammenhang können die Häufigkeiten der Kategorien in den Antworten verglichen werden und falls diese sich signifi-

kant unterscheiden sollten, Unterrichtsmodule mit verschiedenen Abfolgen und/oder Schwerpunkten angewendet werden. Dies kann hilfreich sein für einen maximalen Nutzen bei der normalerweise für jedes Thema sehr limitierten zur Verfügung stehenden Zeit in Schulen und Universitäten. Falls einige Kategorien nur in manchen Ländern auftauchen sollten, kann dies zusätzlich bei der sorgfältigen Erstellung von Unterrichtsabläufen von Nutzen sein.

2.2.3 Assessment in Kosmologie

Wie im vorhergehenden Abschnitt 2.2.2 aufgezeigt, unterscheiden sich alle bisher durchgeführten Studien bei den untersuchten Stichproben (Altersbereich, Stichprobengröße, Schultyp), im Inhaltlichen sowie in den verwendeten Methoden (Interviews, Hausaufsätze, offene oder geschlossene Fragen, vor und nach Unterricht). Manchmal wurden sogar gemischte Methoden verwendet. Die Studien, die sich hauptsächlich oder vollständig auf Schülerinnen und Schüler fokussieren, untersuchten Assoziationen zum Urknall, was vor dem Urknall existierte, die Urknalltheorie und Hinweise darauf, Veränderungen wie die Expansion des Universums, Vorstellungen zum Alter, der Größe, der Entwicklung, eines Zentrums und eines Rands des Universums sowie der Ursprung der Elemente (Prather et al. 2003; Hansson und Redfors 2006; Kahnt und Thesing 2010). Dies wurde anhand von offenen Fragen untersucht. Lediglich Kahnt und Thesing's Studie erwähnt eine teilweise Verwendung von geschlossenen Fragen, die jedoch nicht präsentiert werden. Die Studien mit Fokus auf Studentinnen und Studenten untersuchten ähnliche Themen, jedoch beinhalteten sie zusätzlich weiter gefächerte Themenbereiche wie zum Beispiel dunkle Materie, dunkle Energie, schwarze Löcher und Beschreibungen und Zusammenhänge des Sonnensystems, Konstellationen, Galaxien und dem Universum sowie fortgeschrittenere Inhalte wie beispielsweise Rotationskurven von Galaxien, Hubble Diagramme und die Form und Krümmung des Raums (Wallace 2011; Bailey et al. 2012; Trouille et al. 2013). Dabei unterschieden sich die verwendeten Methoden. Bailey et al. (2012) verwendeten hauptsächlich offene Fragen, die anderen beiden Studien beinhalteten mehrere Methoden inklusive Interviews, Hausaufsätzen, offenen Fragen und sogenannten „short-format questions“. Letztere beinhalteten Zuordnungen, Rankings, Multiple-Choice Aufgaben, Richtig/Falsch Aufgaben und Lückentexte. Der Ursprung, die Entwicklung sowie die Evaluation insbesondere der wenigen Multiple-Choice Aufgaben ist häufig nicht klar und sie unterscheiden sich teilweise im Wortlaut, der Anzahl der Antwortoptionen oder beinhalten Aspekte, die für Oberstufenschülerinnen und -schüler zu schwierig zu verstehen sein können, da einige dieser Aufgaben Teil von Prüfungen in Universitäten waren.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich einige Typen von Aufgaben wie beispielsweise offene Fragen oder Interviews aufgrund ihrer umfangreichen Anfor-

derungen in der Datenanalyse nicht für Large Scale Studien eignen. Für objektive Studien dieser Art wird ein Testinstrument mit geschlossenen Fragen benötigt. In der Astrophysik existiert beispielsweise ein Konzepttest über die Eigenschaften und Entwicklung von Sternen (Bailey 2006) sowie über Licht und Spektroskopie (Bardar et al. 2007). Solch ein Testinstrument könnte eine zeiteffektive Möglichkeit für Lehrkräfte sein, Gruppendiagnosen durchzuführen und Unterricht entsprechend anzupassen sowie die Wirksamkeit von Interventionen zu überprüfen. Des Weiteren könnte es nützlich für groß angelegte Studien und Ländervergleiche sein. Dies würde eine Untersuchung von Populationsgruppen mit unterschiedlichen sozialen und kulturellen Hintergründen ermöglichen und könnte die Frage beantworten, ob dasselbe Unterrichtsmodul in verschiedenen Ländern verwendet werden kann, oder ob und in welchen Aspekten dieses angepasst werden muss.

2.2.4 Validität von Assessments

Damit ein Testinstrument die vorgenannten Aspekte erfüllen kann, muss dieses analysiert und die Testergebnisse validiert werden. Das Konzept der Validität ist kein einheitlich definiertes Konzept, sondern verkörpert normalerweise verschiedene Unterpunkte von Validität mit verschiedenen Bedeutungen abhängig von der verwendeten Literatur. Einen Überblick der verschiedenen Ansichten und Facetten von Validität und ihre zeitliche Entwicklung sind beispielsweise in Kane (2001) dargestellt. Im Allgemeinen bezieht sich Validität auf das Ausmaß, in welchem ein Test das misst, was er zu messen vorgibt (Messick 1995). Laut Messick ist sie keine Eigenschaft des Tests selbst, sondern eher der Interpretation der Testergebnisse. Im Gegensatz zu Objektivität und Reliabilität ist Validität ein Kriterium, welches sehr anspruchsvoll und schwierig abzuschätzen ist (Hartig et al. 2007).

Messick (1995) vereinigt die verschiedenen vorhandenen Auffassungen von Validität zu einem ganzheitlichen Konzept, welches die folgenden sechs Aspekte enthält:

- Der inhaltliche Aspekt gibt die Eignung der Aufgaben wieder, den Inhalt des zu messenden Konstrukts zu erfassen. An dieser Stelle müssen die Rahmenbedingungen beziehungsweise die Grenzen des Konstrukts wie beispielsweise Wissen, Fähigkeiten, Einstellungen usw. abgesteckt werden, welche die Aufgaben aufdecken sollen.
- Der substanzielle Aspekt beschäftigt sich mit der empirischen Evidenz für die Gültigkeit der bei der Ausübung der Aufgaben angenommenen ablaufenden kognitiven Prozesse.
- Der strukturelle Aspekt der Validität behandelt die Passung des Messmodells auf die empirisch erlangten Daten.

- Der Aspekt der Generalisierbarkeit macht Aussagen darüber, inwiefern sich Interpretationen auf Populationsgruppen, Settings und Aufgaben übertragen lassen.
- Der externe Aspekt beschreibt die Korrelationen zu anderen Konstrukten und Variablen. An dieser Stelle werden die Zusammenhänge der Testergebnisse mit anderen Messungen untersucht und geprüft, ob die theoretisch zu erwartenden Beziehungen erhalten werden.
- Schließlich beschäftigt sich der letzte Aspekt mit der Bedeutung und Interpretation für potentielle Konsequenzen.

Alle diese Aspekte formen einen Rahmen für die Validität von Assessments.

2.3 Verständnisentwicklungsmodelle und Ordered Multiple-Choice Aufgaben

In den Naturwissenschaften existieren Konzepte, welche verschiedene Verständnislevel beinhalten können, wie beispielsweise das Modell des Schülerverständnisses von Materie (Hadenfeldt und Neumann 2012), von Kraft und Bewegung (Alonzo und Steedle 2009), der Erde und des Sonnensystems (Briggs et al. 2006) sowie des Lesens (Lin et al. 2010). Infolgedessen folgt die Entwicklung des Schülerverständnisses eines Konzepts oder eines Merkmals einer hierarchischen Struktur mit verschiedenen aufeinander aufbauenden Level. Dies ist die allgemeine Idee eines Verständnisentwicklungsmodells mit den enthaltenen aufeinander folgenden Stufen und der Darstellung von wissenschaftlich inkorrekten Vorstellungen in jedem Level (außer dem höchsten Level normalerweise). Laut Wilson (2009) ist ein Verständnisentwicklungsmodell eine gut durchdachte und erforschte Anordnung von qualitativ unterschiedlichen Leistungsebenen. „[A] construct map ... is designed to help conceptualize how assessments can be constructed to relate to theories of cognition” (Wilson 2009, S. 717).

Das Berkeley Evaluation and Assessment Research (BEAR) Center entwickelt unter anderem Learning Progressions. „The core of all of these developments has been the construct map, which is the first building block in the BEAR Assessment System” (Wilson 2009, S. 716). Darüber hinaus ist die strukturierte Wissensvermittlung auf Basis von zentralen Konzepten des entsprechenden Themas ein Schlüsselement im Erwerb von naturwissenschaftlicher Kompetenz. Aber das systematische Lehren erfordert Modelle zur Verständnisentwicklung von Schülerinnen und Schülern (Hadenfeldt und Neumann 2012). „[T]hese smaller learning progressions (or construct maps) may ultimately provide the detail needed for teachers to track stu-

dent thinking over the course of instructional units” (Alonzo und Steedle 2009, S. 392).

Auf der Grundlage solcher Verständnisenwicklungsmodelle können anschließend sogenannte Ordered Multiple-Choice (OMC) Aufgaben entwickelt werden, das zweite Prinzip des BEAR Assessment Systems. Diese Art der Multiple-Choice Aufgaben wurde zuerst von Briggs et al. (2006) als mögliches Instrument für eine empirische Validierung eines solchen Modells vorgeschlagen. Im Vergleich zu herkömmlichen Multiple-Choice (MC) und offenen Aufgaben vereinbaren OMC Aufgaben die Zeiteffizienz von traditionellen MC Aufgaben mit der qualitativen Fülle von offenen Antworten (Briggs und Alonzo 2012). Die Kombination der Zeiteffizienz mit einem höheren Maß an diagnostischer Information macht diesen Aufgabentyp besonders attraktiv für Large Scale Studien. In einer solchen Aufgabe entspricht jede Antwortoption einem bestimmten Verständnislevel. Somit können solche Aufgaben letztlich Schulen und Lehrkräften dabei helfen, ihre Unterrichts- und Interventions-Strategien anzupassen (Lin et al. 2010). Bisher existiert jedoch noch keine Forschung bezüglich OMC Aufgaben zur Kosmologie.

2.3.1 Verständnisenwicklungsmodell zur Expansion des Universums

Es gibt vergleichsweise wenig Forschung über Präkonzepte in der Kosmologie, jedoch noch weit weniger im Bereich des Verstehens von Schülerinnen und Schülern über die Expansion des Universums im Besonderen. Gleichzeitig ist dies jedoch ein Kerninhalt der Kosmologie als einer der drei Grundpfeiler der Urknalltheorie. Die einzige bisher durchgeführte Studie in diesem Gebiet, die mit Studentinnen und Studenten durchgeführt wurde und die ebenfalls einen ersten Versuch eines strukturellen Aufbaus des Verständnisses beinhaltet, ist diejenige von Wallace (2011). Studentinnen und Studenten zu Beginn des Studiums wurden unter anderem befragt, was es bedeutet, wenn Astronomen über ein expandierendes Universum sprechen. Etwa ein Drittel verbanden dies tatsächlich mit der korrekten Vorstellung eines mit der Zeit physisch wachsenden Universums. Jedoch wurden ebenfalls weitere bedeutende Kategorien gefunden wie beispielsweise (übersetzt) „Bewegung oder sich vergrößernde Abstände von einzelnen Objekten” oder „Bildung/Entstehung von neuen Dingen”. Die Ergebnisse zeigten zusätzlich überraschend hohe prozentuale Anteile von Studentinnen und Studenten (etwa 20%), die eine Assoziation mit neuen Entdeckungen und/oder Wissen angaben, und nicht mit einem physisch größer werdenden Universum, geschweige denn mit der Expansion des Raums selbst. Letzteres wurde lediglich von wenigen Prozent der Befragten angegeben. Wallaces Verständnisenwicklungs-

modell für die Expansion des Universums und den Urknall ist in vereinfachter Form in Tabelle 2.1 wieder gegeben (Aretz et al. 2017).

Tabelle 2.1: Wallaces Verständnisentwicklungsmodell für die Expansion des Universums und den Urknall (vereinfachte Form)

Level des Verständnisentwicklungsmodells	1	2	3	4
Universum expandiert physisch in seiner Größe mit der Zeit	×	✓	✓	✓
Nur Galaxien bewegen sich voneinander fort aufgrund der Expansion	–	×	×	✓
Universum besitzt kein Zentrum	○	×	✓	✓
Universum besitzt keinen Rand	○	×	✓	✓
Urknall als Beginn der Expansion (nicht als Explosion)	×	×	○	✓

Erklärung der Symbole: Aussage der Schülerin oder des Schülers ist...

✓: korrekt ×: inkorrekt ○: korrekt oder inkorrekt

–: keine Aussage möglich, da hier nicht an eine physische Expansion geglaubt wird

Die in der Tabelle aufgelisteten Aspekte werden in Wallaces Schema in jedem Level mit dem Hinweis genannt, ob die Schülerin oder der Schüler diesen richtig oder falsch genannt bzw. beschrieben hat. An manchen Stellen ist ebenfalls beides erlaubt, was die Kreise verdeutlichen sollen. So ist jedes seiner vier Level durch eine entsprechende Kombination dieser Aspekte beschrieben.

Das von Wallace (2011) verwendete Schema zur Vergabe von Punkten zur Frage über die Expansion des Universums enthüllt ein paar mehr Details. In Level 1 weiß die Person nicht, dass das Universum in seiner Größe wächst. Dies ändert sich in Level 2. In den Leveln 3 und 4 ist schließlich das Konzept der Expansion des Raums enthalten mit dem Unterschied in der Vorstellung bei Level 3, dass sich alle Objekte und nicht nur Galaxien aufgrund dessen voneinander fortbewegen. Allerdings bezieht dieses Modell zusätzlich die Struktur des Universums mit den Aspekten „Zentrum“ und „Rand des Universums“ mit ein sowie die inkorrekte Sichtweise des Urknalls als Explosion, obwohl es nicht geklärt ist, ob zwischen diesen ein Zusammenhang besteht. Des Weiteren wurden die befragten Personen lediglich zu dem aufgrund der Antwort am besten passenden Level dieses Modells zugeordnet. Unklar bleibt die Antwort auf die Frage, wie viele Level insgesamt auf eine einzelne offene Antwort passen. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass eine offene Antwort mehr als eine Aussage oder einen Aspekt beinhalten kann, und deswegen grundsätzlich zu mehr als einem Verständnislevel zugeordnet werden kann. Bei einem gut funktionierenden Modell sollte eine Antwort lediglich Aspekte eines oder zwei nebeneinander liegenden Verständnisniveaus beinhalten. Allerdings bestand der Fokus der Studie von Wallace nicht auf der Entwicklung und Evaluierung von Verständnisentwicklungsmodellen. Aus diesem Grund muss noch überprüft werden, ob dieses Modell tatsächlich das

Verständnis der Expansion des Universums wiedergibt und ein funktionierendes Verständnisentwicklungsmodell darstellt, und/oder Anpassungen vonnöten sind.

3. Forschungsfragen und Design

3.1 Forschungsfragen

Der aktuelle Forschungsstand scheint nicht eindeutig zu sein, was aus den folgenden Dingen resultieren könnte: die Verwendung unterschiedlicher Fragen, unterschiedliche Arten von Stichproben und Unterschiede in informellen Lerngelegenheiten. Die zuvor beschriebene Situation zeigt, dass das Thema Vorwissen und Präkonzepte in der Kosmologie ein recht neues Forschungsgebiet mit momentan nur wenigen Studien und Ergebnissen darstellt. Es existiert bisher keine einheitliche Untersuchung mit einem entsprechend entwickelten Testinstrument, welches Aufschlüsse bezüglich beispielsweise der Generalisierbarkeit von Präkonzepten bei einer bestimmten Populationsgruppe oder das Untersuchen von Länderunterschieden erlauben würde. Dennoch gibt es erste Hinweise auf gewisse vorhandene Unterschiede zwischen den Ländern, wahrscheinlich verursacht durch unterschiedliche informelle Lerngelegenheiten, welche weiter untersucht werden sollten. In diesem Zusammenhang verfolgt diese Studie das Ziel, ein einheitliches geschlossenes Testinstrument zu entwickeln, um sowohl das Vorwissen einer Schülergruppe in Kosmologie zu untersuchen sowie Hinweise auf vorhandene vorunterrichtliche Vorstellungen auf Basis der Distraktoren zu generieren und damit Gruppenvergleiche für Forschungszwecke und die Untersuchung der Wirksamkeit von Lerneinheiten zu ermöglichen.

Des Weiteren haben die bisherigen Studien gezeigt, dass Schülerinnen und Schüler durchaus bereits ein gewisses Vorwissen beziehungsweise Vorstellungen besitzen, viele davon jedoch nicht der momentanen wissenschaftlichen Sichtweise entsprechen. Gleichzeitig ist die Kosmologie jedoch ein wichtiger Bestandteil der Physik, wenn man sich beispielsweise unser modernes wissenschaftliches Weltbild, die neuesten Fortschritte dank Entwicklungen in der Technologie sowie die eher seltene Möglichkeit, viele verschiedene Bereiche der Physik im Kontext der Kosmologie zu vereinen,

anschaut. Für effektive und systematische Unterrichtsstrategien ist jedoch die vorherige Kenntnis der Voraussetzungen von Schülerinnen und Schülern notwendig.

Wie zuvor beschrieben, existieren bisher nur in drei Ländern Studien zu diesem Thema, jedoch sind die Ergebnisse aus Deutschland und Schweden mehr als dürftig. Gerade bei der deutschen Studie von Kahnt und Thesing (2010) ist es bedauerlich, dass dieser Ansatz nicht weiter verfolgt und die bisherigen Ergebnisse nicht ausführlicher präsentiert wurden. Darüber hinaus verwenden die vorhandenen Studien unterschiedliche Fragen, welche bisher nicht gleichzeitig in verschiedenen Ländern eingesetzt wurden. Daher beschäftigt sich die erste Forschungsfrage dieser Arbeit mit dem Thema, was passiert, wenn man diese Fragen aufeinander bezieht und noch einmal in Deutschland einsetzt.

FF 1: Inwieweit unterscheiden sich das Vorwissen und die Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler im Bereich der Kosmologie von denen in anderen Ländern?

Die bisherigen Studien verwendeten hauptsächlich offene Fragen für ihre Erhebungen. Qualitative Methoden dieser Art besitzen immer den Nachteil, dass man nur mit einer relativ kleinen Stichprobe arbeiten und normalerweise keine repräsentativen Befragungen durchführen kann. Dies führt zur Überlegung aus den qualitativen Testinstrumenten für einen besseren Vergleich ein geschlossenes Testinstrument zu entwickeln und mit diesem anschließend flächendeckender in Deutschland eher repräsentativ zu erheben, wie das Vorwissen und die Präkonzepte von Schülerinnen und Schülern der Oberstufe aussehen.

FF 2: Wie sehen das Vorwissen und die Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler im Bereich der Kosmologie aus, die mit einem geschlossenen Testinstrument erhoben wurden?

Im Folgenden werden das Design und die Stichproben nach den beiden zentralen Forschungsfragen aufgeschlüsselt beschrieben.

3.2 Forschungsfrage 1: Ländervergleich von Vorwissen und Präkonzepten in der Kosmologie

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden zunächst das Vorwissen und die Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler in der Kosmologie untersucht. Diese Ergebnisse wurden anschließend mit denen vorheriger Studien verschiedener Länder verglichen. Die Grundlage für dieses Vorgehen stellt eine qualitative Analyse der Ergebnisse des Einsatzes eines offenen Fragebogens dar, dessen Entwicklung im Folgenden näher beschrieben wird.

3.2.1 Entwicklung des offenen Fragebogens

Die Auswahl der Themengebiete für den offenen Fragebogen sowie ebenfalls für das anschließend entwickelte geschlossene Testinstrument erfolgte auf der Grundlage der vorhandenen Lehrpläne in Deutschland, der bisher durchgeführten Studien sowie semistrukturierten Interviews mit zwei Experten. Die beiden Experten setzen sich aus einem Experimental- und einem theoretischen Physiker zusammen, die beide am CERN arbeiten und Kosmologie Vorlesungen für externe Gruppen geben.

Der inhaltliche Schwerpunkt in den Lehrplänen waren die Urknalltheorie im Allgemeinen zusammen mit der Entstehung und Entwicklung des Universums, der Expansion, der kosmischen Hintergrundstrahlung, dem Alter und der Struktur des Universums sowie dunkler Materie und dunkler Energie. Diese Themen wurden ebenfalls in den bisherigen Studien gefunden, darüber hinaus zusätzlich weiter fortgeschrittene Inhalte in den Studien, welche Studentinnen und Studenten der Universität oder des College untersuchten. Die fortgeschritteneren Themenbereiche waren jedoch weitestgehend zu schwierig für Oberstufenschülerinnen und -schüler und/oder tauchten nicht in den Lehrplänen auf.

Bezüglich der Frage, was Schülerinnen und Schüler als Erstes in Kosmologie lernen sollten, nannten zwei Experten den Ursprung des Universums, das Alter, die Struktur sowie die drei Grundpfeiler der Urknalltheorie. Letztere beinhalten die Expansion des Raums, die kosmische Hintergrundstrahlung und die Elementhäufigkeiten.

Dunkle Materie und dunkle Energie wurden aus mehreren Gründen als Aspekte erst für das geschlossene Testinstrument herangezogen. Zunächst einmal finden sich diese Themen im Vergleich weniger häufig in den Lehrplänen. Die beiden Experten erwähnten sie zwar, dennoch eher als Randaspekte, da deren Natur bis heute nicht geklärt ist. Des Weiteren tauchen diese Aspekte nur in einer einzigen Studie auf (Bailey et al. 2012). Im Hinblick auf die erste Forschungsfrage sowie einem Kompromiss bezüglich des zeitlichen Aufwands, der bei offenen Aufgaben nicht zu vernachlässigen ist, wurde der Schwerpunkt zunächst auf die anderen Themengebiete gelegt. Abbildung 3.1 gibt einen Überblick der gewählten Themenbereiche, wobei die Themen dunkle Materie und dunkle Energie wie bereits erwähnt erst im geschlossenen Testinstrument aufgegriffen werden.

Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denen der anderen durchgeführten Studien wurden die offenen Fragen aus einem größeren Aufgabenpool der vier US-amerikanischen Studien ausgewählt (Prather et al. 2003; Wallace 2011; Bailey et al. 2012; Trouille et al. 2013). Sie wurden auf Deutsch übersetzt und mit zwei fachlichen Experten abgeglichen. Dabei haben die Experten überprüft, ob in den übersetzten Fragen inhaltlich das Gleiche gefragt wird, wie bei den originalen Fragen.

3.2.2 Datenverarbeitung des offenen Fragebogens

Für die Analyse und die Interpretation der Schülerantworten wurde eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) mit induktiver Kategorienbildung durchgeführt. Auf der Grundlage der Schülerantworten wurde ein disjunktes Kategoriensystem entwickelt, bei welchem die Kategorien unabhängig voneinander sind, so dass eine Schüleraussage, die in eine Kategorie eingeordnet werden kann, nicht automatisch in eine andere Kategorie passt. Dennoch können Schülerantworten gleichzeitig in verschiedene Kategorien eingeordnet werden, da offene Antworten normalerweise mehr als eine Aussage beinhalten können. Dabei kann eine Aussage ein Teil eines Satzes oder ein ganzer Satz sein, abhängig von ihrer Bedeutung sowie der Sprachkompetenz der Schülerin oder des Schülers.

Beispielsweise enthält die offene Antwort „Irgendetwas hat eine große Explosion erzeugt, so dass Galaxien entstanden.“ zwei Aussagen und wird in die beiden Kategorien „Explosion“ sowie „Entstehung von Galaxien“ eingeordnet. Der Prozentsatz einer Kategorie entspricht dem Anteil der Schülerinnen und Schüler, welche diese in ihrer Antwort erwähnen. Häufig beinhaltete eine Antwort mehr als eine Aussage und konnte deshalb in mehrere Kategorien eingeordnet werden. Aus diesem Grund ist die Summe der Prozentsätze aller Kategorien einer Frage normalerweise größer als 100%. Die Datenanalyse dieser Studie entspricht derjenigen der anderen Studien wie beispielsweise in Bailey et al. (2012) zur Gewährleistung einer guten Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Das hierbei erstellte ausführliche Codiermanual wurde einem zweiten Kodierer gegeben, der anhand dessen nicht nur wie sonst meistens üblich 10% aller Schülerantworten zuordnete, sondern alle Schülerantworten aller offenen Aufgaben. Das auf der Grundlage dieser Ergebnisse überarbeitete Codiermanual wurde anschließend einem weiteren Kodierer zur Verfügung gestellt, der noch einmal alle Schülerantworten damit zuordnete. Der Vergleich dieser Kodierung wies hohe Interraterübereinstimmungen auf. Insgesamt waren die Cohens Kappa Werte der verschiedenen Kategorien im Bereich von $[0,83 - 1]$ mit vier Kategorien im Bereich von $[0,74 - 0,79]$. Die Tabelle 3.1 zeigt die Cohens Kappa Werte für die verschiedenen Kategorien. Die Reihenfolgen ergeben sich aus den später bei den Ergebnissen sichtbaren Prozentzahlen in absteigender Reihenfolge (außer bei Frage 5) für die wesentlichsten und interessantesten Kategorien. Grundsätzlich werden bis auf bei den Fragen 6 und 7 die Kategorien mit 10% oder mehr gezeigt sowie interessante Kategorien beziehungsweise solche, die Unterschiede zu anderen Studien aufweisen. Für die Frage 1b) wurden 5% und mehr gewählt, da dort nicht viele Kategorien mit höheren Prozentwerten existieren.

Tabelle 3.1: Cohens Kappa Werte der verschiedenen Kategorien des offenen Fragebogens

offene Fragen	Kategorien	Cohens Kappa
1a)	Entstehung / Entwicklung des Universums	1
	Explosion irgendeiner Art	1
	Entstehung von Himmelskörpern, Sonnensystemen, Galaxien	1
	Kollision von Teilchen oder größeren Objekten	0,87-1 ¹
	Expansion des Universums	1
	Entstehung von Teilchen, Atomen, Elementen	1
	Sonstiges (z.B. Supernova)	0,79
	Explizite Erwähnung eines „Knalls“	0,97
	Existenz / Freisetzung von Energie	1
	Keine Antwort / Idee	1
	Beginn / Entstehung von Raum und Zeit	1
	Religiöse Aspekte / Gott	1
	Keine Antwort / Idee	1
	Expansion / Rotverschiebung	1
	Sonstiges inklusive nicht-wissenschaftlichen Antworten	0,95
	Simulation des Urknalls mit Beschleunigern / Experimenten	1
	Existenz oder Wissen über Himmelskörper	1
	Kosmische Hintergrundstrahlung	1
	Logik (z.B. „Wir existieren“)	1
1b)	Entstehung / Existenz von Leben, Evolution	1
	Erdbeobachtungen (z.B. Vulkane, Fossilien)	1
	Es existieren keine unterstützenden Beobachtungen	1
	Autorität (z.B. Lehrkraft, Medien)	1
	Nichts	1
	Existenz kleinster Materie	0,98
	Existenz Universum	1
	Existenz Himmelskörper	1
	Keine Antwort / Idee	1
	Existenz Raum	0,83
2	Kann man nicht wissen	1
	Expansion	0,98
	Entstehung / Zerstörung verschiedener Himmelskörper / Galaxien	0,97
	Keine Antwort / Idee	1
	Veränderung / Erweiterung des Wissens über das Universum	0,74
	Abkühlung	1
	Keine Veränderung	1
	Expansion, die Größe des Universums wächst mit der Zeit	0,94
	Keine Antwort / Idee	1
	Nicht-wissenschaftliche Antworten	0,90
3	Neue Entdeckungen / neues Wissen	0,96
	Ausdehnung des Raums	0,96
	Ausbreitung von Materie	0,86
	Einzelne Objekte entfernen sich voneinander	0,88
	Sonstiges (z.B. Energie, Gas)	0,88
	Entstehung von Himmelskörpern oder Galaxien	0,94
	4	

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle 3.1 (Fortsetzung)

offene Fragen	Kategorien	Cohens Kappa
	Einige Milliarden Jahre	1
	13-15 Milliarden Jahre	1
	Eine Billionen Jahre und mehr	1
5	Ungenauere Zeitangabe	0,92
	Existiert schon immer / unendlich alt	0,94
	Kann man nicht bestimmen / wissen	1
	Keine Antwort / Idee	1
	Das Universum besitzt ein Zentrum	0,98
6&7	Das Universum besitzt kein Zentrum	0,94
	Das Universum besitzt einen Rand	1

¹Kombination von zwei Kategorien, deswegen zwei Cohens Kappa Werte.

3.2.3 Stichprobe

Der offene Fragebogen wurde in der Oberstufe in den Klassenstufen 11 und 12 in sechs deutschen Schulen eingesetzt. Die Schülerinnen und Schüler der sechs teilnehmenden Klassen hatten zuvor noch keinen Unterricht in Kosmologie erhalten. Insgesamt nahmen $N = 126$ Schülerinnen und Schüler im Alter von 16 bis 20 Jahren teil. Die sechs Schulen stammten aus drei verschiedenen Bundesländern und beinhalteten fünf Gymnasien sowie eine Gesamtschule.

Die Schülerinnen und Schüler wurden gebeten, den Fragebogen unter Verwendung ihres Wissens und/oder ihrer Vorstellungen auszufüllen. Dies wurde in normalen Klassensituationen unter der Aufsicht der Lehrperson durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler sollten ebenfalls kurz andeuten, wenn sie keine Antwort auf eine Frage haben. Das Ausfüllen des Fragebogens, welches in einer der sechs teilnehmenden Klassen zeitlich gestoppt wurde, dauerte zwischen 5 und 30 Minuten mit einem Durchschnitt von 14 Minuten.

3.3 Forschungsfrage 2: Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler in der Kosmologie

Qualitative Untersuchungen beinhalten naturgemäß kleinere Stichproben und müssen damit nicht immer repräsentativ sein. Dafür können quantitative Untersuchungen größerer Stichproben mit entsprechenden Testinstrumenten dienen. Die Entwicklung eines solchen geschlossenen Testinstruments zur Untersuchung des Vorwissens und der Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler in der Kosmologie wird im Folgenden vorgestellt.

3.3.1 Entwicklung des geschlossenen Testinstruments

Das entwickelte geschlossene Testinstrument beinhaltet 20 Fragen mit jeweils fünf Antwortoptionen und ist im Anhang A.1 zu finden. Zusammen mit der Abfrage einiger persönlicher Informationen stellt dies eine gute Länge dar. So kann der Fragebogen innerhalb einer typischen Schulstunde effizient ohne zu großen Aufwand für die Lehrperson eingesetzt werden. Die inhaltliche Vorgehensweise ist im Abschnitt 3.2.1 dargestellt. Hierbei wurde sich auf zwei verschiedene inhaltliche Bereiche konzentriert, ein eher allgemeiner Bereich verschiedener Grundlagen der Kosmologie sowie den bekanntesten Grundpfeiler der Urknalltheorie, die Expansion des Universums. Dementsprechend beinhaltet der Fragebogen 15 herkömmliche Multiple-Choice (MC) Aufgaben zu verschiedenen kosmologischen Themen sowie fünf Ordered Multiple-Choice (OMC) Aufgaben zur Expansion des Universums. Der gesamte Entwicklungsprozess ist in Abbildung 3.2 dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

Für die herkömmlichen Multiple-Choice Aufgaben wurden hauptsächlich die Ergebnisse des offenen Fragebogens dieser Arbeit sowie ebenfalls einige der vorherigen Studien verwendet. Die dort enthüllten Präkonzepte dienten als Grundlage für die Entwicklung der Distraktoren jeder Aufgabe. Die Ideen für die Fragen 3, 7 und 8 wurden aus Wallace (2011) entnommen, der Text jedoch etwas umformuliert und ergänzt, um ihn verständlicher für Oberstufenschülerinnen und -schüler zu gestalten. Des Weiteren besitzen die Distraktoren der Aufgabe 19 keine direkte Forschungsgrundlage aufgrund nicht vorhandener Ergebnisse zu diesem Thema. Sie wurden auf der Basis von eigener Erfahrung entworfen. Darüber hinaus wurden die Item-Writing Guidelines von Haladyna et al. (2002) für die Formulierungen der Aufgaben angewendet. Es wurde versucht, das Vokabular so einfach und den Leseaufwand so gering wie möglich zu halten. Die Länge der Antwortoptionen unterscheidet sich weitestgehend nicht sehr stark innerhalb einer Aufgabe und die Stelle der jeweils richtigen

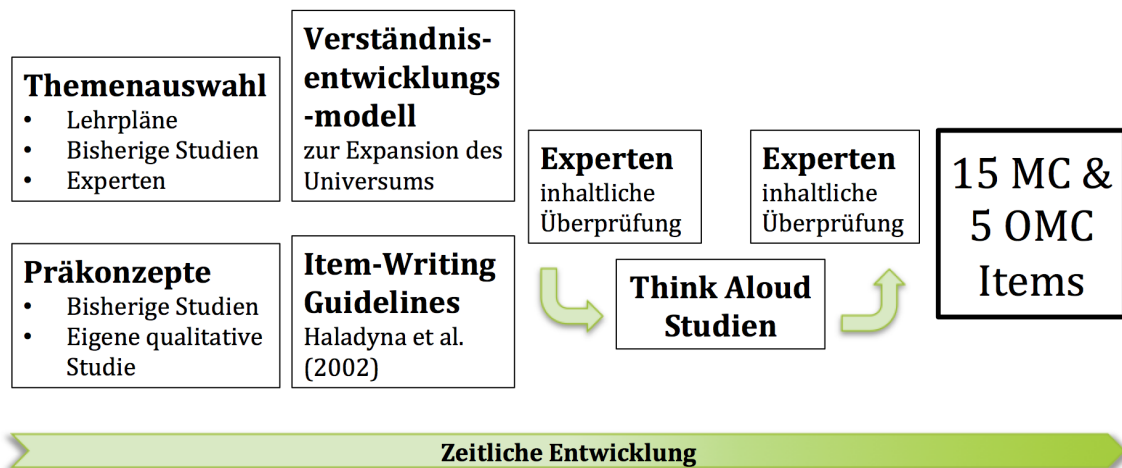


Abbildung 3.2: Entwicklungsprozess der Aufgaben des geschlossenen Testinstruments

Antwort variiert. Aber selbst, wenn alle diese Dinge berücksichtigt werden, sagen Haladyna et al. (2002): „The science of MC item writing is advancing, but item writing is still largely a creative act” (S. 329).

Neben den MC Aufgaben wurden die fünf OMC Aufgaben zur Expansion des Universums auf der Grundlage des dazu entwickelten Verständnisentwicklungsmodells entworfen. Die Grundlage von Verständnisentwicklungsmodellen sind normalerweise vorhandene Präkonzepte im entsprechenden Fachbereich. Für den Bereich der Expansion des Universums wurde die vierte Frage des offenen Fragebogens (siehe Abschnitt 3.2.1) herangezogen. Dabei wurden die Schülerinnen und Schüler befragt, was Astronomen meinen, wenn sie von einem sich ausdehnenden Universum sprechen. Die Daten wurden hinsichtlich eines Verständnisentwicklungsmodells zur Expansion des Universums in drei Schritten analysiert.

Zunächst wurde anhand qualitativer Inhaltsanalysen wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben vorgegangen. Das dabei entwickelte Kategoriensystem wurde zusammen mit der Struktur des Schülerverständnisses von Wallace (2011) verwendet, um das Verständnisentwicklungsmodell zur Expansion des Universums weiter zu entwickeln.

Im nächsten Schritt wurde das so entwickelte Modell, welches eigentlich eine Hypothese der verschiedenen Level des Schülerverständnisses darstellt, obwohl es teilweise auf bisherigen Studien beruht, anhand der offenen Antworten getestet. Dafür wurden alle 126 offenen Antworten der Schülerinnen und Schüler zu den Verständnislevel des Modells zugeordnet. Anschließend ordneten ebenfalls zwei weitere Rater die offenen Antworten zu, bevor ein Vergleich der verschiedenen Kodierungen erfolgte. Insgesamt zeigten sich gute Interraterreliabilitäten mit Werten von Fleiss Kappa im Bereich von [0,84-1].

Schließlich wurde in einem dritten Schritt analysiert, inwieweit die verschiedenen Niveaus des Modells zu den Schülerantworten passten. Da eine offene Antwort aus mehreren Aussagen bestehen kann, ist es möglich, eine offene Antwort zu mehr als einem Level des Verständnisentwicklungsmodells zuzuordnen. Wenn die verschiedenen Niveaus das hierarchische Verständnis der Schülerinnen und Schüler gut abbilden, sollten sich letztere in einem oder zwei nebeneinander liegenden Level befinden.

Das so entwickelte Modell zur Expansion des Universums wurde nun als Grundlage für die Entwicklung der OMC Aufgaben verwendet. Dabei kann jede der Antwortoptionen dieser Aufgaben einem Verständnislevel des Modells zugeordnet werden. Um bei diesen Aufgaben immer eine wissenschaftlich korrekte Antwortoption anbieten zu können, wurde bei der Entwicklung der Aufgaben darauf geachtet, dass immer mindestens ein Mal Level 4 oder 5 (siehe Tabelle 4.17) enthalten waren, da nur diese Level das korrekte Konzept der Ausdehnung des Raums beinhalten. Anschließend führten drei weitere Rater diese Zuordnung ebenfalls durch. Dies funktionierte sehr gut und lediglich drei der insgesamt 25 Antwortoptionen wurden jeweils von einem der drei Rater entweder einem Niveau genau unterhalb oder oberhalb des beabsichtigten zugeordnet. Daraufhin wurden diese drei Antwortoptionen leicht abgeändert und von allen drei Ratern erneut geprüft, bis eine hundertprozentige Übereinstimmung vorlag.

In einem nächsten Schritt wurden alle 20 (MC und OMC) Aufgaben den Experten für eine inhaltliche Überprüfung vorgelegt. Sie sollten untersuchen, ob der Wortlaut jeder Aufgabe zusammen mit der richtigen Antwort wissenschaftlich korrekt formuliert sind. Außerdem sollten die Distraktoren als Antwortoptionen mit wissenschaftlich inkorrekten Aussagen identifiziert werden, so dass die richtigen Antwortoptionen eindeutig sind. Nach den Beiträgen der Experten wurden ein paar Formulierungen unter Berücksichtigung der Item-Writing Guidelines von Haladyna et al. (2002) leicht abgeändert bis beide Experten zustimmten.

Weitere Änderungen wurden nach der Durchführung von vier Think Aloud Studien mit Oberstufenschülern durchgeführt, um zu untersuchen, ob das Schülerverständnis jeder Aufgabe dem beabsichtigten Sinn entspricht. Für die Vorbereitung und Durchführung der Think Aloud Methode wurden Vorschläge von van Someren et al. (1994) und Knorr et al. (2012) befolgt. Die Teilnahme war freiwillig und es wurde zunächst der Zweck der Forschung erörtert sowie die Anonymität der Daten klargestellt. Zu Beginn wurde die Think Aloud Methode anhand eines kurzen Videos (S. Trump, persönliche Kommunikation, 30. August 2016) erklärt, welche in der Studie von Trump (2011) verwendet wurde. Es wurden zusätzlich die wichtigen Aspekte noch einmal hervorgehoben und klare Instruktionen nach Anschauen des Videos gegeben. Jeder der Teilnehmer erhielt zunächst die Möglichkeit, die Methode anhand einer Beispielaufgabe zu üben, welche nicht Teil des eigentlichen Testin-

struments aber ähnlich zu diesen war, um die normalerweise ungewohnte Prozedur auszuprobieren und zu trainieren, wie dies beispielsweise von van Someren et al. (1994) vorgeschlagen wird. Zwei Schüler führten eine Think Aloud Studie für alle 20 Aufgaben durch und zwei weitere Schüler für die Hälfte der Aufgaben, welche etwas schwieriger erschienen beziehungsweise bei denen es nach den ersten beiden Studien nicht vollständig klar war, ob alle Antwortoptionen wirklich verständlich waren. Alle vier Schüler bewältigten die Think Aloud Studie sehr gut und es war kein Eingreifen des Testers nötig. Insgesamt stimmten die Hinweise auf die bei der Bearbeitung der Aufgaben ablaufenden kognitiven Prozesse sehr gut mit den Erwartungen überein, so dass nur wenige Änderungen in einigen der Aufgaben durchgeführt wurden. Anschließend wurden diese Aufgaben noch einmal den Experten für eine abschließende Überprüfung vorgelegt.

Neben den entwickelten Aufgaben beinhaltete das vollständige Testinstrument zur Überprüfung der Voraussetzungen der Stichprobe sowie entsprechender Korrelationen ebenfalls persönliche Fragen über die letzte Physiknote und ob die Schülerin oder der Schüler bereits Astronomie- oder Kosmologieunterricht erhalten habe. Es wurde ebenfalls das Interesse in Physik und Astronomie abgefragt und ob die Schülerin oder der Schüler bereits etwas über Kosmologie gesehen, gehört oder gelesen habe. Der Fragebogen wurde als Paper und Pencil Test in normalen Klassensituationen unter der Aufsicht führenden Lehrkraft eingesetzt.

3.3.2 Datenverarbeitung des geschlossenen Testinstruments

Für die Datenanalyse wurden die Schülerantworten rekodiert. Die richtigen Antworten der MC Aufgaben wurden auf '1' und die inkorrekten auf '0' umkodiert. Bei den OMC Aufgaben bekam jede der Antwortoptionen null bis drei Punkte, abhängig vom Level des zugrunde liegenden Verständnisentwicklungsmodells sowie der Anzahl an Level in einer Aufgabe. Beispielsweise wurde bei einer Aufgabe mit Antwortoptionen, die den Leveln 1, 3 und 4 des Modells zugeordnet sind, diesen Antwortoptionen die Punkte 0, 1 und 2 zugewiesen.

Insgesamt fehlten lediglich 1,8% aller Antworten. Diese wurden für die Datenanalyse auf '0' umkodiert. Dadurch werden die fehlenden Antworten in derselben Weise wie eine falsch gegebene Antwort interpretiert. Anschließend wurden die Daten mit dem statistischen Softwarepaket R (R Core Team 2013) und den Paketen TAM (Robitzsch et al. 2017) und mirt (Chalmers 2012) analysiert.

3.3.3 Erste Stichprobe

Zur Generierung der Stichprobe wurden hauptsächlich Lehrkräfte kontaktiert, die an einem Fortbildungsprogramm am CERN teilgenommen haben. Diese wurde eben-

Tabelle 3.2: Stichprobe ohne Unterricht: Physiknoten der Schülerinnen und Schüler auf ihrem letzten Zeugnis, Prozente sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Note	1	2	3	4	5	6	Fehlend
Prozentsatz	13,5%	37,3%	33,7%	12,0%	1,7%	0,2%	1,5%

Tabelle 3.3: Stichprobe ohne Unterricht: Interesse in Physik und Astronomie, Prozente sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Interesse	1 (niedrig)	2	3	4	5 (hoch)	Fehlend
Physik	14,6%	20,7%	25,2%	24,2%	14,8%	0,5%
Astronomie	8,2%	16,1%	27,9%	33,7%	13,6%	0,6%

falls motiviert, weitere Kolleginnen und Kollegen zu kontaktieren, so dass ebenfalls Lehrkräfte mit ihren Schülerinnen und Schülern teilnahmen, die nicht bereits das CERN besucht haben. Darüber hinaus wurden durch persönliche Kontakte weitere Teilnehmerinnen und Teilnehmer gewonnen.

Das geschlossene Testinstrument wurde bei deutschen Oberstufenschülerinnen und -schülern der Klassenstufen 10 bis 13 eingesetzt. Dies resultiert aus den unterschiedlichen Regelungen der Bundesländer, welche Klassenstufen jeweils zur Oberstufe dazu zählen. Insgesamt nahmen $N = 822$ Schülerinnen und Schüler von 20 Schulen aus sechs verschiedenen Bundesländern teil. Darunter befanden sich 15 Gymnasien, zwei Gesamtschulen, zwei Berufsschulen und ein berufliches Gymnasium. Die Schülerinnen und Schüler waren 15 bis 20 Jahre alt, jedoch befanden sich fast 95% im engeren Altersbereich von 16-19 Jahren. Darunter haben 76% (~1% fehlend) Physik gewählt, aber nur 3% gaben an, bereits Kosmologie im Unterricht vor Ausfüllen des Fragebogens gehabt zu haben. Tabelle 3.2 zeigt die Physiknoten, die die Schülerinnen und Schüler auf ihrem letzten Zeugnis bekommen haben.

In Bezug auf die letzten erhaltenen Physiknoten ist diese Stichprobe damit weitestgehend repräsentativ. Bei der TIMSS Studie (Baumert et al. 2000) sehen die Prozentbereiche der untersuchten Schülerinnen und Schüler der Oberstufe in Deutschland wie folgt aus: Note 1 oder 2: 49%-59%; Note 3: 29%-34%; Note 4 oder 5: 9%-22%. Die Prozentbereiche kommen durch die Unterscheidungen von Grund- und Leistungskursen sowie neuer und alter Bundesländer zustande. Die in dieser Arbeit erhaltenen Werte liegen alle innerhalb dieser Bereiche, so dass daraus geschlossen werden kann, dass die hier untersuchte Stichprobe in diesem Zusammenhang vergleichbar mit der Stichprobe der TIMSS Studie ist und damit als repräsentativ angesehen werden kann.

Die Schülerinnen und Schüler sollten ebenfalls ihr Interesse in Physik und Astronomie angeben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.3 zu finden, wobei '1' ein sehr niedriges und '5' ein sehr hohes Interesse darstellt. Das angegebene Interesse zeigt keine

Tabelle 3.4: Stichprobe ohne Unterricht: Informelle Lerngelegenheiten, Prozente sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Informelle Lerngelegenheit	Fernsehen	Internet	Bücher	Zeitschriften
Prozentsatz	62,9%	49,8%	21,1%	22,3%
Informelle Lerngelegenheit	Zeitung	Eltern/Freunde/ Bekannte	Sonstiges	
Prozentsatz	11,4%	23,5%	7,4%	

größeren Auffälligkeiten und entspricht insbesondere in Physik näherungsweise einer Normalverteilung. Damit besteht die Stichprobe nicht nur überwiegend aus besonders interessierten oder desinteressierten Schülerinnen und Schülern, sondern deckt das gesamte Interessens-Spektrum ab mit einem Schwerpunkt auf durchschnittlich interessierten Schülerinnen und Schülern.

Schließlich sollten die Schülerinnen und Schüler angeben, ob und wo sie bereits etwas über Kosmologie gesehen, gehört oder gelesen haben. Dabei gaben 80,8% an, vor Beantwortung der Aufgaben etwas über Kosmologie gesehen, gehört oder gelesen zu haben, wohingegen 19,2% entweder angaben, dass dies nicht der Fall sei, oder keine Antwort auf diese Frage gaben. Diejenigen, die jedoch bereits in irgendeiner Art und Weise Kontakt mit Kosmologie hatten, konnten zwischen verschiedenen Möglichkeiten wählen (siehe Tabelle 3.4). Da die Schülerinnen und Schüler mehr als eine Antwortoption wählen konnten, übersteigt die Summe der Prozentangaben 100%. „Sonstiges“ konnte mit der Möglichkeit einer Erklärung gewählt werden. Darin wurden beispielsweise Planetarium bzw. Sternwarte, Schule, Universität oder Museum und einmal ebenfalls Kassetten angegeben. Diese Ergebnisse zeigen, dass die meisten Schülerinnen und Schüler bereits vor dem Unterricht durch informelle Lerngelegenheiten mit Kosmologie in Kontakt gekommen sind, wobei das Fernsehen und das Internet eine zentrale Rolle zu spielen scheinen.

3.3.4 Zweite Stichprobe

Die zweite Stichprobe, bei welcher das geschlossene Testinstrument eingesetzt wurde, unterscheidet sich zur ersten Stichprobe dadurch, dass die Schülerinnen und Schüler bereits Unterricht in Kosmologie in der Schule erhalten haben. Dadurch soll untersucht werden, ob das Testinstrument sensitiv auf Wissenszuwachs reagiert. Möglichkeiten und Grenzen eines Vergleichs mit der zuvor beschriebenen Stichprobe werden zu einem späteren Zeitpunkt diskutiert.

Die $N = 48$ teilnehmenden Schülerinnen und Schüler stammten aus insgesamt $n = 2$ Kursen der Klassenstufen 11 und 12 eines Gymnasiums aus Sachsen. Der Altersbereich betrug 15 bis 19 Jahre mit etwa 90% der Schülerinnen und Schüler im

Tabelle 3.5: Stichprobe nach Unterricht: Physiknoten der Schülerinnen und Schüler auf ihrem letzten Zeugnis, Prozente sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Note	1	2	3	4	5	6	Fehlend
Prozentsatz	12,5%	54,2%	16,7%	10,4%	0%	0%	6,3%

Tabelle 3.6: Stichprobe nach Unterricht: Interesse in Physik und Astronomie, Prozente sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Interesse	1 (niedrig)	2	3	4	5 (hoch)
Physik	16,7%	20,8%	12,5%	22,9%	27,1%
Astronomie	18,8%	16,7%	35,4%	22,9%	6,3%

Altersbereich von 15 bis 17 Jahren. Tabelle 3.5 zeigt die Physiknoten, die die Schülerinnen und Schüler auf ihrem letzten Zeugnis bekommen haben.

Diese sind im Vergleich zur vorherigen Stichprobe etwas besser, was jedoch auch zu erwarten war, da alle Schülerinnen und Schüler dieser Stichprobe Physik gewählt haben. Dafür entscheiden sich normalerweise hauptsächlich solche Schülerinnen und Schüler, die auch entsprechend gute Noten in Physik besitzen.

Auch diese Schülerinnen und Schüler wurden nach ihrem Interesse in Physik und Astronomie befragt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.6 dargestellt, wobei '1' ein sehr niedriges und '5' ein sehr hohes Interesse angibt.

Im Vergleich zur vorherigen Stichprobe sind hier etwas mehr der in Physik sehr interessierten Schülerinnen und Schüler enthalten, sehr wahrscheinlich aus dem gleichen Grund, der bei den Physiknoten bereits diskutiert wurde. Interessanterweise ist das Interesse in Astronomie jedoch im Durchschnitt geringer als bei der vorherigen Stichprobe.

Zusätzlich sollten auch diese Schülerinnen und Schüler angeben, ob und wo sie bereits etwas über Kosmologie gesehen, gehört oder gelesen haben. Dabei gaben alle an, dass dies vor Beantwortung der Aufgaben der Fall war, wobei ein einziger Schüler lediglich 'Schule' bei 'Sonstiges' angab und keine sonstige informelle Lerngelegenheit angekreuzt oder erwähnt hat. Die Ergebnisse der verschiedenen auszuwählenden Möglichkeiten sind in Tabelle 3.7 zu sehen.

Da die Schülerinnen und Schüler mehr als eine Antwortoption wählen konnten, übersteigt die Summe der Prozentangaben 100%. Bei „Sonstiges“ gaben fünf Schülerinnen und Schüler 'Schule' bzw. 'Unterricht' an. Bei dieser Stichprobe ist der Anteil des Fernsehens und des Internets bei den informellen Lerngelegenheiten mit jeweils ca. 80% wesentlich höher im Vergleich zur anderen Stichprobe mit ca. 60% bzw. 50%. Dies lässt vermuten, dass diese Schülerinnen und Schüler solche Quellen aktiver verwenden, um sich über naturwissenschaftliche Themen wie beispielsweise die Kosmologie zu informieren.

Tabelle 3.7: Stichprobe nach Unterricht: Informelle Lerngelegenheiten, Prozente sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Informelle Lerngelegenheit	Fernsehen	Internet	Bücher	Zeitschriften
Prozentsatz	79,2%	81,3%	16,7%	29,2%
Informelle Lerngelegenheit	Zeitung	Eltern/Freunde/ Bekannte	Sonstiges	
Prozentsatz	22,9%	27,1%	10,4%	

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden im Folgenden, geleitet durch die beiden Forschungsfragen, dargestellt. Zunächst werden das Vorwissen und die Präkonzepte anhand einer qualitativ durchgeführten Studie im Hinblick auf einen Ländervergleich präsentiert. Anschließend werden die Ergebnisse der Anwendung des geschlossenen Fragebogens dargestellt, wobei näher auf Validitätsaspekte sowie auf Präkonzepte anhand der Distraktoren eingegangen wird. In diesem Zusammenhang wird ebenfalls das Verständnisentwicklungsmodell zur Expansion des Universums sowie die darauf aufbauenden Ordered Multiple-Choice (OMC) Aufgaben vorgestellt sowie erste Ergebnisse in diesem Zusammenhang präsentiert.

4.1 Forschungsfrage 1: Ländervergleich von Vorwissen und Präkonzepten in der Kosmologie

Der offene Fragebogen (siehe Abschnitt 3.2.1) wurde bei der Stichprobe, welche näher im Abschnitt 3.2.3 beschrieben ist, angewendet. Die Ergebnisse dieser Studie sind zum größten Teil in Aretz et al. (2016) publiziert worden und in den Tabellen 4.1 bis 4.7 zu sehen. Die dargestellten Kategorien sind in absteigender Reihenfolge hinsichtlich der Prozentzahlen dargestellt. Die Tabellen beinhalten ebenfalls das Konfidenzintervall von 95%, welches von den Ergebnissen der sechs teilnehmenden Schulen nach Bortz und Döring (2006) wie folgt abgeleitet wurde:

$$z_{2.5\%} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1.96 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n^2}}.$$

Alle Prozentangaben sind auf ganze Prozent gerundet. Offensichtlich sind die meisten Konfidenzintervalle relativ breit. Dies liegt an der eher kleinen Stichprobe

der sechs teilnehmenden Schulen, bei denen jede einzelne Klasse zwischen 18 und 27 Schülerinnen und Schüler aufwies. Aus diesem Grund können sich die Ergebnisse von Klasse zu Klasse sehr stark unterscheiden. Infolgedessen sind die zu erwartenden signifikanten Unterschiede bei einer Betrachtung mit Konfidenzintervallen von 95% sehr gering und alle Interpretationen müssen sorgfältig und vorsichtig erfolgen.

4.1.1 Ergebnisse deutscher Schülerinnen und Schüler

In Bezug auf das vorhandene Vorwissen und die Präkonzepte von Schülerinnen und Schülern im Bereich der Kosmologie, erlauben die Tabellen 4.1 bis 4.7 eine Einsicht. Bei Betrachtung der Assoziationen mit der Urknalltheorie (siehe Tabelle 4.1) ist erkennbar, dass fast 40% die richtige Idee der Entstehung und Entwicklung des Universums zu haben scheinen. Gleichzeitig beziehen sich jedoch fast ein Drittel auf den Urknall als Explosion. Scheinbar besitzen viele der Schülerinnen und Schüler die Vorstellung einer Kollision von bereits existierenden Teilchen oder größeren Objekten (22%), welche anschließend zum Urknall sowie der Ausbreitung von Materie in einen leeren Raum führten. Immerhin nannten 7% explizit die Entstehung von Raum und Zeit – ein nicht zu vernachlässigender Anteil.

Im Hinblick auf Belege für die Urknalltheorie (siehe Tabelle 4.2) nannte jede fünfte Schülerin bzw. Schüler die Expansion oder Rotverschiebung, einer der drei Grundpfeiler der Urknalltheorie. Lediglich 6% erwähnten die kosmische Hintergrundstrahlung, aber der dritte Grundpfeiler, die Elementhäufigkeiten im Universum, scheinen unbekannt zu sein. Ebenfalls sehr auffällig ist, dass 40% gar keine Antwort gegeben haben. Das Auftauchen der Kategorie „Simulation des Urknalls mit Beschleunigern / Experimenten“ lediglich in dieser Studie könnte daran liegen, dass die Fragebögen

Tabelle 4.1: Assoziationen mit der Urknalltheorie (Antworten auf Frage 1a).

Kategorien	Prozentsatz der Antworten	Konfidenz- intervall
Entstehung / Entwicklung des Universums	39%	$\pm 11\%$
Explosion irgendeiner Art	30%	$\pm 8\%$
Entstehung von Himmelskörpern, Sonnensystemen, Galaxien	28%	$\pm 8\%$
Kollision von Teilchen oder größeren Objekten	22%	$\pm 7\%$
Expansion des Universums	19%	$\pm 7\%$
Entstehung von Teilchen, Atomen, Elementen	18%	$\pm 8\%$
Sonstiges (z.B. Supernova)	15%	$\pm 8\%$
Explizite Erwähnung eines „Knalls“	14%	$\pm 4\%$
Existenz / Freisetzung von Energie	12%	$\pm 12\%$
Keine Antwort / Idee	10%	$\pm 7\%$
Beginn / Entstehung von Raum und Zeit	7%	$\pm 7\%$
Religiöse Aspekte / Gott	2%	$\pm 2\%$

Tabelle 4.2: Belege für die Urknalltheorie (Antworten auf Frage 1b).

Kategorien	Prozentsatz der Antworten	Konfidenz- intervall
Keine Antwort / Idee	39%	$\pm 9\%$
Expansion / Rotverschiebung	20%	$\pm 11\%$
Sonstiges inklusive nicht-wissenschaftlichen Antworten	16%	$\pm 6\%$
Simulation des Urknalls mit Beschleunigern / Experimenten	9%	$\pm 3\%$
Existenz oder Wissen über Himmelskörper	7%	$\pm 3\%$
Kosmische Hintergrundstrahlung	6%	$\pm 5\%$
Logik (z.B. „Wir existieren“)	6%	$\pm 6\%$
Entstehung / Existenz von Leben, Evolution	5%	$\pm 2\%$
Erdbeobachtungen (z.B. Vulkane, Fossilien)	5%	$\pm 6\%$
Es existieren keine unterstützenden Beobachtungen	1%	$\pm 2\%$
Autorität (z.B. Lehrkraft, Medien)	1%	$\pm 1\%$

Tabelle 4.3: Vor dem Urknall (Antworten auf Frage 2).

Kategorien	Prozentsatz der Antworten	Konfidenz- intervall
Nichts	28%	$\pm 9\%$
Existenz kleinster Materie	25%	$\pm 5\%$
Existenz Universum	18%	$\pm 5\%$
Existenz Himmelskörper	17%	$\pm 7\%$
Keine Antwort / Idee	16%	$\pm 3\%$
Existenz Raum	6%	$\pm 7\%$
Kann man nicht wissen	3%	$\pm 2\%$

vom CERN kamen und die Schülerinnen und Schüler damit bei der Beantwortung der Frage 1b) eine Verbindung gezogen haben könnten.

Bei der Frage, was vor dem Urknall war (siehe Tabelle 4.3), sagten 28% der Schülerinnen und Schüler „Nichts“, jedoch glauben die meisten, das irgendetwas bereits vorher existiert hat, wie beispielsweise kleinste Teilchen, verschiedene Himmelskörper oder gar ein ganzes Universum. Tatsache ist, dass es zum heutigen Zeitpunkt noch unklar ist, ob und wenn ja was vor dem Urknall existierte, und diese Frage somit durch Beobachtungen nicht zu beantworten ist. Diese Möglichkeit wurde jedoch nur von 3% angegeben.

Das Universum hat sich in der Vergangenheit am meisten durch die Expansion und Abkühlung verändert. Ersteres wurde tatsächlich auch von knapp über der Hälfte (53%) der Schülerinnen und Schüler genannt, die Abkühlung jedoch lediglich von 4% (siehe Tabelle 4.4). Relativ wenige Schülerinnen und Schüler, die dennoch berücksichtigt werden sollten, geben an, dass sich das Universum in dem Sinne verändert, dass sich unser Wissen darüber erweitert beziehungsweise verändert (4%) und weitere 4% glauben, dass sich das Universum gar nicht verändert.

Tabelle 4.4: Veränderungen des Universums (Antworten auf Frage 3).

Kategorien	Prozentsatz der Antworten	Konfidenz- intervall
Expansion	53%	$\pm 11\%$
Entstehung / Zerstörung verschiedener Himmelskörper / Galaxien	39%	$\pm 13\%$
Keine Antwort / Idee	10%	$\pm 6\%$
Veränderung / Erweiterung des Wissens über das Universum	4%	$\pm 5\%$
Abkühlung	4%	$\pm 7\%$
Keine Veränderung	4%	$\pm 4\%$

Tabelle 4.5: Bedeutung der Aussage „das Universum expandiert“ (Antworten auf Frage 4).

Kategorien	Prozentsatz der Antworten	Konfidenz- intervall
Expansion, die Größe des Universums wächst mit der Zeit	43%	$\pm 16\%$
Keine Antwort / Idee	19%	$\pm 7\%$
Nicht-wissenschaftliche Antworten	14%	$\pm 6\%$
Neue Entdeckungen / neues Wissen	13%	$\pm 7\%$
Ausdehnung des Raums	12%	$\pm 7\%$
Ausbreitung von Materie	12%	$\pm 7\%$
Einzelne Objekte entfernen sich voneinander	11%	$\pm 7\%$
Sonstiges (z.B. Energie, Gas)	10%	$\pm 6\%$
Entstehung von Himmelskörpern oder Galaxien	6%	$\pm 4\%$

Bei der Frage nach der Bedeutung hinter der „Expansion des Universums“ (siehe Tabelle 4.5), sprachen 43% aller Schülerinnen und Schüler von einem mit der Zeit in seiner Größe wachsenden Universum und sogar 12% erwähnten die Ausdehnung des Raums, ein bereits eher abstraktes Konzept. Dennoch gibt es auch 13%, die in diesem Zusammenhang von neuen Entdeckungen und neuem Wissen in der Forschung sprechen – eine offensichtlich wissenschaftlich inkorrekte Vorstellung.

Bei der Schätzung des Alters des Universums (siehe Tabelle 4.6) gaben 21% der Schülerinnen und Schüler ein angemessenes Alter von 13 bis 15 Milliarden Jahren

Tabelle 4.6: Alter des Universums (Antworten auf Frage 5).

Kategorien	Prozentsatz der Antworten	Konfidenz- intervall
Einige Milliarden Jahre	18%	$\pm 6\%$
13- 15 Milliarden Jahre	21%	$\pm 14\%$
Eine Billionen Jahre und mehr	10%	$\pm 5\%$
Ungenauere Zeitangabe	12%	$\pm 7\%$
Existiert schon immer / unendlich alt	6%	$\pm 4\%$
Kann man nicht bestimmen / wissen	12%	$\pm 8\%$
Keine Antwort / Idee	10%	$\pm 7\%$

Tabelle 4.7: Struktur des Universums (Antworten auf Fragen 6 und 7).

Kategorien	Prozentsatz der Antworten	Konfidenz- intervall
Das Universum besitzt ein Zentrum	52%	$\pm 7\%$
Das Universum besitzt kein Zentrum	17%	$\pm 6\%$
Das Universum besitzt einen Rand	14%	$\pm 5\%$

an. Nur ein geringer Anteil (6%) glaubten an ein unendlich altes Universum, aber gleichzeitig behaupteten ebenfalls 12%, dass das Alter unbekannt oder unbestimmbar sei. Des Weiteren glaubten etwa die Hälfte (52%) an ein existierendes Zentrum des Universums und 14% an einen Rand (siehe Tabelle 4.7).

4.1.2 Ländervergleich des Vorwissens und der Präkonzepte

Für einen Ländervergleich der verschiedenen vorunterrichtlichen Vorstellungen, die bis auf die eine deutsche und schwedische Studie anhand derselben offenen Fragen gewonnen wurden, helfen die folgenden Tabellen 4.8 bis 4.13. Diese zeigen die Ergebnisse dieser Studie im Vergleich zu den bisher durchgeführten Studien. Ein Vergleich ist dabei nicht immer möglich, da die verschiedenen Studien nicht immer genau die gleichen Kategorien oder Fragen beinhalteten, oder weil diese nicht vollständig oder gar nicht dargestellt wurden. In so einem Fall ist kein Prozentsatz an den entsprechenden Stellen in den Tabellen angegeben und ein Strich weist darauf hin, dass an dieser Stelle kein direkter Vergleich möglich ist. In keiner der bisherigen Studien wurden Fehler angegeben, es wurden lediglich Prozentsätze präsentiert. Diese sind ebenfalls auf ganze Prozent gerundet.

Die Ergebnisse der deutschen Studie von Kahnt und Thesing (2010) können nur teilweise reproduziert werden (siehe Tabelle 4.8). Der Anteil von deutschen Schülerinnen und Schülern, die den Urknall als Explosion ansehen, ist sehr ähnlich mit etwa 30%. Die Prozentzahlen der Assoziation des Urknalls mit der Entstehung und Entwicklung des Universums ist ebenfalls vergleichbar, obwohl an dieser Stelle ein größerer Unterschied besteht. Die Ergebnisse bezüglich einer Expansion des Universums (siehe Tabelle 4.8) oder eines unendlich alten Universums (siehe Tabelle 4.12) unterscheiden sich weit mehr. Des Weiteren tauchte die Kategorie „Entstehung der Erde“ in dieser Studie gar nicht auf, während ein großer Anteil von 27% in der Studie von Kahnt und Thesing (2010) dies im Hinblick auf Assoziationen mit der Urknalltheorie angab. Leider können nur wenige Ergebnisse mit der anderen deutschen Studie verglichen werden, da nicht genügend Details bezüglich der Fragen und Kategorien vorhanden sind und ebenfalls die präsentierten Ergebnisse nicht vollständig sind.

Tabelle 4.8: Assoziationen mit der Urknalltheorie (Antworten auf Frage 1a)

Kategorien	Kahnt & Thesing (2010) DE	Prather et al. (2003) USA	Wallace (2011) USA	Bailey et al. (2012) USA	Trouille et al. (2013) USA	Aretz et al. (2016) DE
Entstehung / Entwicklung des Universums	$\sim^1 25\text{-}34\%^2$	42-51% ³	44%	33%	77% ⁴	39%
Explosion irgendeiner Art	$\sim^1 32\%$	29-42% ³	53%	50%	35% ⁴	30%
Entstehung von Himmelskörpern, Sonnensystemen, Galaxien	$\sim^1 17\text{-}44\%^2$	24%	—	26%	8% ⁴	28%
Kollision von Teilchen oder größeren Objekten	—	—	—	9-11% ²	4% ⁴	22%
Expansion des Universums	$\sim^1 6\%$	—	12%	9%	15% ⁴	19%
Entstehung von Teilchen, Atomen, Elementen	—	—	7%	6%	—	18%
Sonstiges (z.B. Supernova)	—	20-21% ³	6%	7%	—	15%
Explizite Erwähnung eines „Knalls“	—	—	—	—	—	14%
Existenz / Freisetzung von Energie	—	—	—	—	—	12%
Keine Antwort / Idee	—	6-14% ³	3-6% ²	13%	—	10%
Beginn / Entstehung von Raum und Zeit	—	—	2%	1%	—	7%
Religiöse Aspekte / Gott	$\sim^1 4\%$	—	—	—	54% ⁴	2%

Anmerkung. DE=Deutschland

¹ Näherung aufgrund ungenauer Histogramme.

² Prozentbereich aufgrund der Kombination verschiedener Kategorien, bei denen nicht klar ist, ob sie überlappen.

³ Prozentbereich aufgrund unterschiedlicher Altersbereiche.

⁴ Vergleich ist begrenzt aufgrund der verwendeten Methode (Hausaufsätze).

Während manche Ergebnisse ähnlich sind, gibt es ebenfalls Hinweise auf vorhandene Unterschiede der Präkonzepte zwischen den Ländern. Die Prozentzahlen der Kategorie „Entstehung / Entwicklung des Universums“ in Tabelle 4.8 im Zusammenhang mit Assoziationen mit der Urknalltheorie variieren nur leicht und sind ein wenig höher bei Prather et al. (2003) und Wallace (2011). Dabei wurden nur die Daten von Schülerinnen und Schülern der Highschool und des College bei der Studie von Prather et al. (2003) für einen Vergleich herangezogen, um eine Vergleichbarkeit bezüglich der Altersbereiche der Stichproben zu gewährleisten. Die wissenschaftlich inkorrekte Vorstellung des Urknalls als Explosion scheint weit verbreitet zu sein, obwohl die Prozentzahlen bei den US-amerikanischen Stichproben höher sind. Die kleineren Prozentzahlen der Studien von Prather et al. (2003) und Trouille et al. (2013) im Vergleich zu den Ergebnissen von Wallace (2011) und Bailey et al. (2012) könnten ihre Ursache in folgenden Gründen haben. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Studie von Prather et al. (2003) des College waren gemischt. Die andere Hälfte der Stichprobe bestehend aus Schülerinnen und Schülern der Highschool beinhaltete ausschließlich männliche Probanden, und einige Studien weisen auf ge-

schlechtsspezifische Unterschiede in Mathematik und den Naturwissenschaften hin (z. B. Willoughby und Metz 2009). Die Daten der Studie von Trouille et al. (2013) wurden von Hausaufsätzen entnommen, welche nicht unter der Aufsicht einer Lehrperson geschrieben wurden. Deswegen ist es nicht auszuschließen, dass verschiedene Quellen zur Erstellung verwendet wurden, die nicht notwendigerweise persönliche Sichtweisen wiedergeben müssen. Die wesentlich höheren Prozentzahlen der Studien von Wallace (2011) und Bailey et al. (2012) mit 53% bzw. 50% bei der Assoziation des Urknalls mit einer Explosion im Vergleich zu den deutschen Schülerinnen und Schülern (ungefähr 30%, siehe Tabelle 4.8) befinden sich nicht im Bereich des Konfidenzintervalls von [22%; 38%] dieser Kategorie (siehe Tabelle 4.1). Deswegen ist es sehr wahrscheinlich, dass dieser Unterschied nicht zufällig zustande gekommen ist.

Während etwa doppelt so viele deutsche wie US-amerikanische Schülerinnen und Schüler eine Kollision von Teilchen oder größeren Objekten erwähnen, nannte ein größerer Anteil deutscher Schülerinnen und Schüler explizit die korrekte Assoziation des Urknalls mit dem Beginn oder der Entstehung von Raum und Zeit. Dennoch ist dabei zu erwähnen, dass die Prozentanteile in dieser Kategorie stark in den verschiedenen Klassen der hier verwendeten Stichprobe variieren. Des Weiteren besitzt diese Studie im Vergleich zu den anderen den höchsten Prozentanteil, wenn es um die Expansion des Universums geht (19%). Die Prozentangaben der anderen Studien (außer der von Trouille et al. (2013)) liegen außerhalb oder gerade auf der Grenze des Konfidenzintervalls von [12%; 26%] (siehe Tabelle 4.1). Zu bemerken ist ebenfalls, dass etwa drei Mal so viele deutsche wie US-amerikanische Schülerinnen und Schüler in dieser Studie (18%) die Entstehung von Teilchen, Atomen und/oder Elementen erwähnen. Die Werte der Studien von Wallace (2011) (7%) und Bailey et al. (2012) (6%) liegen ebenfalls außerhalb des Konfidenzintervalls von [10%; 26%] (siehe Tabelle 4.1). Darüber hinaus ist es bemerkenswert, dass die Kategorie „Religiöse Aspekte / Gott“ von 54% der US-amerikanischen Studentinnen und Studenten in der Studie von Trouille et al. (2013) genannt wurde, aber lediglich von 2% der deutschen Schülerinnen und Schülern dieser Studie.

Im Bereich der Hinweise bzw. Belege für die Urknalltheorie (siehe Tabelle 4.9) scheinen die deutschen Schülerinnen und Schüler leicht bessere Präkonzepte zu besitzen als ihr US-amerikanisches Gegenstück basierend auf den Werten in den Kategorien „Expansion / Rotverschiebung“ sowie „Kosmische Hintergrundstrahlung“ – zwei der drei Grundpfeiler der Urknalltheorie. Die Kategorie „Autorität“ wurde in dieser Studie lediglich von einem einzelnen Schüler erwähnt, da wissenschaftliche Medien ein Teil dieser Kategorie darstellen. Dennoch wird ein Lehrer als Autorität lediglich in der Studie von Bailey et al. (2012) angesprochen, ebenso wie 6% die glauben, dass keine Belege existieren, im Gegensatz zu nur einem deutschen Schüler, der dies behauptet hat. Die Prozentangaben der Studie von Bailey et al. (2012) in diesen beiden

Tabelle 4.9: Belege für die Urknalltheorie (Antworten auf Frage 1b).

Kategorien	Bailey et al. (2012)	Aretz et al. (2016)
	USA	DE
Keine Antwort / Idee	33%	39%
Expansion / Rotverschiebung	15-16% ¹	20%
Sonstiges inklusive nicht-wissenschaftlichen Antworten	31-33% ¹	16%
Simulation des Urknalls mit Beschleunigern/ Experimenten	—	9%
Existenz oder Wissen über Himmelskörper	12%	7%
Kosmische Hintergrundstrahlung	1%	6%
Logik (z.B. „Wir existieren“)	4%	6%
Entstehung / Existenz von Leben, Evolution	6%	5%
Erdbeobachtungen (z.B. Vulkane, Fossilien)	$\geq 5\%$ ²	5%
Es existieren keine unterstützenden Beobachtungen	6%	1%
Autorität (z.B. Lehrkraft, Medien)	8%	1%

Anmerkung. DE=Deutschland

¹ Prozentbereich aufgrund der Kombination verschiedener Kategorien, bei denen nicht klar ist, ob sie überlappen.

² Kategorie in Bailey et al. (2012) beinhaltete nur Fossilien

Kategorien liegen ebenfalls außerhalb des dazugehörigen berechneten Konfidenzintervalls (siehe Tabelle 4.2). Allerdings ist es auffällig, dass der dritte Grundpfeiler der Urknalltheorie (Elementhäufigkeiten) in keiner Studie erwähnt wird, und dass etwa ein Drittel aller befragten Personen der beiden Studien keine Antwort gaben.

Bei der Frage, was vor dem Urknall existierte, zeigen sich ebenfalls Unterschiede zwischen deutschen und US-amerikanischen Schülerinnen und Schülern (siehe Tabelle 4.10). Doppelt so viele deutsche (28%) wie US-amerikanische (14%) Schülerinnen und Schüler sagen, dass vorher nichts existiert habe, während mehr US-amerikanische Schülerinnen und Schüler an die Existenz kleinster Materie glauben (32%). Des Weiteren erwähnen weitaus mehr deutsche Schülerinnen und Schüler die Existenz eines Universums (18%) im Vergleich zu den US-amerikanischen mit 2%. Die Prozentangaben der US-amerikanischen Schülerinnen und Schüler der drei gerade genannten Kategorien liegen alle ebenfalls außerhalb der entsprechenden Konfidenzintervalle (siehe Tabelle 4.3). Leider ist unklar, ob die korrekte Antwort, dass man nicht weiß, was vor dem Urknall existierte, bei der Studie von Prather et al. (2003) vorkam. Sie könnte in den 3% bei „Sonstiges“ enthalten oder gar nicht genannt worden sein. Darüber hinaus ist es bemerkenswert, dass die Existenz einer Erde in einem früheren Zustand nur in der Studie von Prather et al. (2003) genannt wurde (6%), in dieser Studie jedoch gar nicht.

Tabelle 4.10: Vor dem Urknall (Antworten auf Frage 2).

Kategorien	Prather et al. (2003)	Aretz et al. (2016)
	USA	DE
Nichts	14%	28%
Existenz kleinster Materie	32%	25%
Existenz Universum	2%	18%
Existenz Himmelskörper	19% ¹	17%
Keine Antwort / Idee	— ²	16%
Existenz Raum	— ³	6%
Kann man nicht wissen	— ²	3%

Anmerkung. DE=Deutschland

¹ Summe zweier Kategorien.

² Kann in der Kategorie „Sonstiges“ (3%) enthalten sein.

³ Ist in einer Kategorie zusammen mit Energie enthalten. Damit ist unklar, wie viele Personen wirklich „Raum“ erwähnten.

Bei der Frage nach der Veränderung des Universums wäre eine Erwähnung der Expansion und Abkühlung wünschenswert, da diese die zeitliche Entwicklung des Kosmos entscheidend geprägt haben. Die Expansion wird tatsächlich von vielen Schülerinnen und Schülern genannt, jedoch mit 53% weit häufiger von deutschen als von US-amerikanischen mit 31% (siehe Tabelle 4.11). Dieser Wert liegt trotz großem Konfidenzintervall von [42%; 64%] außerhalb von diesem (vergleiche Tabelle 4.4). Die Abkühlung wird generell nur von sehr wenigen Personen genannt, dabei von leicht mehr deutschen (4%) als US-amerikanischen (1%) Schülerinnen und Schülern. Auffällig ist ebenfalls, dass mehr US-amerikanische Schülerinnen und Schüler in diesem Zusammenhang zum einen von der Entstehung bzw. Zerstörung verschiedener Himmelskörper und Galaxien und zum anderen von einer Veränderung bzw. Erweiterung des Wissens über das Universum sprechen (siehe Tabelle 4.11). Darüber hinaus taucht die Kategorie (übersetzt) „Klima / Wetter“ mit 6% nur in der Studie von Bailey et al. (2012) auf.

Weitere Unterschiede sind erkennbar bei der Frage nach der Bedeutung eines expandierenden Universums (siehe Tabelle 4.12). Der Prozentanteil deutscher Schülerinnen und Schüler, die die wissenschaftlich korrekten Kategorien „Expansion, die Größe des Universums wächst mit der Zeit“ und „Ausdehnung des Raums“ erwähnen, ist etwas höher im Vergleich zur US-amerikanischen Studie von Wallace (2011). Gleichzeitig sprechen weniger deutsche Schülerinnen und Schüler von den wissenschaftlich inkorrekten Kategorien „Neue Entdeckungen / neues Wissen“ und „Entstehung von Himmelskörpern oder Galaxien“. Die Assoziation der Expansion des Universums mit neuem Wissen oder Entdeckungen scheint eine häufigere wissenschaftlich inkorrekte Vorstellung zu sein mit bemerkenswerten 19% (USA) und 13%

Tabelle 4.11: Veränderungen des Universums (Antworten auf Frage 3).

Kategorien	Bailey et al. (2012)	Aretz et al. (2016)
	USA	DE
Expansion	31%	53%
Entstehung / Zerstörung verschiedener Himmelskörper / Galaxien	40-68% ¹	39%
Keine Antwort / Idee	8%	10%
Veränderung / Erweiterung des Wissens über das Universum	8%	4%
Abkühlung	1%	4%
Keine Veränderung	1%	4%

Anmerkung. DE=Deutschland

¹ Prozentbereich aufgrund der Kombination zweier Kategorien, bei denen nicht klar ist, ob sie überlappen.

Tabelle 4.12: Bedeutung der Aussage „das Universum expandiert“ (Antworten auf Frage 4).

Kategorien	Wallace (2011)	Aretz et al. (2016)
	USA	DE
Expansion, die Größe des Universums wächst mit der Zeit	28-38% ¹	43%
Keine Antwort / Idee	3-5% ¹	19%
Nicht-wissenschaftliche Antworten	1%	14%
Neue Entdeckungen / neues Wissen	19%	13%
Ausdehnung des Raums	3%	12%
Ausbreitung von Materie	–	12%
Einzelne Objekte entfernen sich voneinander	–	11%
Sonstiges (z.B. Energie, Gas)	7%	10%
Entstehung von Himmelskörpern oder Galaxien	14%	6%

Anmerkung. DE=Deutschland

¹ Prozentbereich aufgrund der Kombination verschiedener Kategorien, bei denen nicht klar ist, ob sie überlappen.

(Deutschland). Darüber hinaus gaben 19% der deutschen Schülerinnen und Schüler keine Antwort – weit mehr als in der Studie von Wallace (2011).

Fast doppelt so viele deutsche Schülerinnen und Schüler wie US-amerikanische, die von Bailey et al. (2012) untersucht wurden, gaben ein angemessenes Alter des Universums von 13-15 Milliarden Jahren an (siehe Tabelle 4.13), auch wenn alle Werte in dieser Kategorie innerhalb des Konfidenzintervalls von [7%; 35%] liegen. Ein auffällig kleiner Anteil von deutschen Schülerinnen und Schülern (6%) im Vergleich zu denen aus den US-amerikanischen Studien (21% bzw. 33%) gaben an, dass das Universum unendlich alt ist. Bemerkenswert ist ebenfalls, dass 33% in der Studie von Trouille et al. (2013) dies in ihren Hausaufsätzen erwähnten, obwohl sie verschiedene Quellen verwendet haben könnten. Zusätzlich liegen alle Werte dieser Kategorie klar außerhalb des Konfidenzintervalls von [2%; 10%] (siehe Tabelle 4.6), weswegen die

Tabelle 4.13: Alter des Universums (Antworten auf Frage 5).

Kategorien	Kahnt & Thesing (2010) DE	Hansson & Redfors (2006) SE	Bailey et al. (2012) USA	Trouille et al. (2013) USA	Aretz et al. (2016) DE
Einige Millionen Jahre	—	—	18%	18% ¹	18%
13 - 15 Milliarden Jahre	—	—	11%	30% ¹	21%
Eine Billionen Jahre und mehr	—	—	8%	10% ¹	10%
Ungenaue Zeitangabe	—	—	11%	—	12%
Existiert schon immer / unendlich alt	~ ² 31-41% ^{3,4}	~ ² 32% ⁵	21%	33% ¹	6%
Kann man nicht bestimmen / wissen	—	—	—	3% ¹	12%
Keine Antwort / Idee	—	—	29%	—	10%

Anmerkung. DE=Deutschland; SE=Schweden

¹ Vergleich ist begrenzt aufgrund der verwendeten Methode (Hausaufsätze).

² Näherung aufgrund ungenauer Histogramme.

³ Prozentbereich aufgrund unterschiedlicher Altersbereiche.

⁴ Vergleich ist begrenzt aufgrund der nicht genau bekannten Frage.

⁵ Prozentangabe bezieht sich auf die „eigene Sichtweise“ und nicht auf die von den Schülerinnen und Schülern angegebene „physikalische Sichtweise“.

vorhandenen Unterschiede sehr wahrscheinlich nicht zufällig sind. Dennoch glaubten scheinbar 12% in dieser Studie, dass man das Alter des Universums nicht wissen bzw. bestimmen kann – eine weitere offenkundige wissenschaftlich inkorrekte Vorstellung.

4.2 Forschungsfrage 2: Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler in der Kosmologie

Das im Anhang A.1 zu findende geschlossene Testinstrument wurde entwickelt, um das Vorwissen und vorhandene Präkonzepte von Schülerinnen und Schülern zu untersuchen. Es wurde bei zwei Stichproben bestehend aus N = 822 Schülerinnen und Schülern ohne vorhergehenden Unterricht in Kosmologie (siehe Abschnitt 3.3.3) sowie N = 48 Schülerinnen und Schülern nach Unterricht in Kosmologie (siehe Abschnitt 3.3.4) eingesetzt. Wie zuvor beschrieben beinhaltet es 15 herkömmliche MC Aufgaben zum Konstrukt Basiswissen in Kosmologie sowie fünf OMC Aufgaben speziell zur Expansion des Universums. Aufgrund dessen erfolgt die Auswertung der Ergebnisse des Testinstruments zweigeteilt. Zunächst werden die 15 herkömmlichen MC Aufgaben untersucht. Hierbei wird zunächst auf die Modellpassung eingegangen, da diese in der anschließenden Betrachtung der Validitätsaspekte mit einbezogen wird. Daran anschließend werden die vorhandenen Präkonzepte näher beleuchtet, be-

vor schließlich das Verständnisentwicklungsmodell und die Ordered Multiple-Choice Aufgaben zur Expansion des Universums betrachtet werden.

4.2.1 Modellpassung der Multiple-Choice Aufgaben

Da sich der Inhalt der 15 MC Aufgaben auf einen speziellen Inhaltsbereich, das grundlegende Vorwissen in Kosmologie, fokussiert, wurde ein eindimensionales Rasch Modell (Rasch 1981) für das Fitten der Daten verwendet. Dennoch wurde diese Behauptung zunächst empirisch anhand einer Untersuchung überprüft, wie gut die Aufgaben mit dem Gesamtkonstrukt korrelieren sowie anhand einer explorativen Faktorenanalyse (EFA). Zusätzlich zu den MNSQ Werten wurden globale Fit-Statistiken herangezogen wie beispielsweise die zu dem M2 Modellfit dazugehörigen Statistiken (Maydeu-Olivares und Joe 2006; Maydeu-Olivares 2013b).

Bei der Untersuchung der Korrelation der Aufgaben mit dem Gesamtkonstrukt stellte sich heraus, dass, unter Ausschluss der jeweiligen Aufgabe, zwei Aufgaben (3 und 18) weder mit den Personenfähigkeiten EAP (expected a posteriori) ($\rho_3 = -0,01$, $\rho_{18} = 0,05$) noch mit den Testergebnissen der Personen ($\rho_3 = -0,00$, $\rho_{18} = 0,06$) korrelieren. Dabei handelt es sich um die beiden Aufgaben zur Struktur des Universums. Es ist interessant, dass dieser Aspekt scheinbar nicht mit dem Gesamtkonstrukt korreliert, sondern das Vorwissen hierzu eher unabhängig davon zu sein scheint. Dies ist ebenfalls in einer explorativen Faktorenanalyse mit zwei Faktoren zu sehen. Diese beiden Aufgaben besitzen überhaupt keine Faktorladung und wurden deshalb für die weitere Analyse ausgeschlossen. Darüber hinaus gibt die EFA ebenfalls einen Hinweis auf zwei weitere Aufgaben (7 und 8), die potenziell lokal stochastisch voneinander abhängig sind, da diese auf den zweiten Faktor laden. Diese Vermutung wird durch die Tatsache bestätigt, dass die beiden Aufgaben auf dem gleichen inhaltlichen Setting basieren (siehe Einleitung für diese beiden Aufgaben im Anhang A.1). Aus diesem Grund wurde zusätzlich eine der beiden Aufgaben (Aufgabe 7) ausgeschlossen.

Mit den verbliebenen zwölf Aufgaben wurde anschließend der Modellfit des Rasch Modells untersucht. Die MNSQ Werte für Infit und Outfit lagen bei allen Aufgaben zwischen 0,8 und 1,2 und erfüllen damit die üblichen Kriterien für einen guten Modellfit (Bond und Fox 2015). Zusätzlich wurden globale Fit Kennwerte berechnet. Unter Verwendung des R Pakets mirt wurden M2 und dazugehörige Statistiken bestimmt ($M2 = 138,72$, $df = 65$, $p < 0,001$, $RMSEA = 0,04$, $SRMSR = 0,06$, $TLI = 0,95$ und $CFI = 0,95$). Die M2 Statistik ergibt einen signifikanten p-Wert, was auf eine Fehlpassung zwischen Modell und Daten hindeutet. Dies ist jedoch nicht überraschend aufgrund der Tatsache, dass der M2 Wert testet, ob das Modell die Daten exakt wiedergibt (Maydeu-Olivares 2013a, S. 88). „In other words, it is unrealistic to expect that the fitted IRT model is the data-generating mechanism. Therefore, it

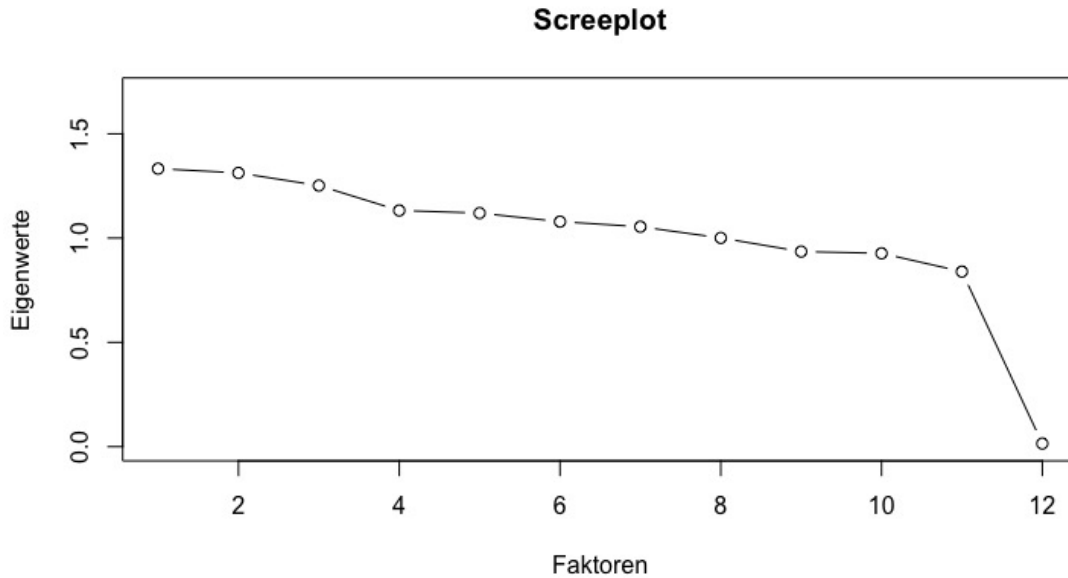


Abbildung 4.1: Eigenwerte der Residuen der Korrelationsmatrix für die zwölf verbliebenen MC Aufgaben

is more reasonable to test whether the model fits approximately rather than testing whether it fits exactly” (S. 81). Der RMSEA = 0,04 deutet darauf hin, dass das Modell eine gute Schätzung der Daten liefert (Maydeu-Olivares und Joe 2014, S. 319). Der SRMSR scheint die Schwelle mit 0,01 zu verfehlen ($\text{SRMSR} \leq 0,05$). Da der SRMSR die Wurzel der durchschnittlichen quadratischen Abweichung darstellt, sagt Maydeu-Olivares (2013a): „[A]ny substantively motivated cutoff may be used with the SRMSR” (S. 88).

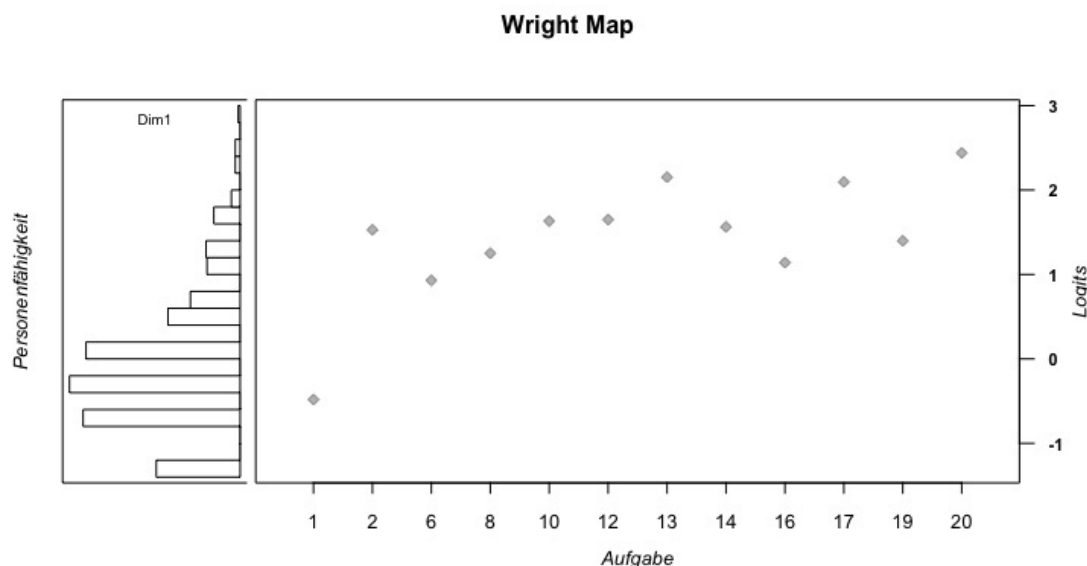
Für die Untersuchung, ob eine verbleibende Varianzkomponente die Struktur der restlichen Daten erklären kann, wurde die Korrelationsmatrix der Residuen überprüft. Sind die Daten eindimensional, so postuliert Wright (1996), dass in diesem Fall die Komponenten der Residuen auf dem Level des Hintergrundrauschens sind. Die Abbildung 4.1 zeigt die Eigenwerte der Residuen der Korrelationsmatrix für die zwölf Aufgaben.

Für die Analyse dieser Eigenwerte werden häufig der Scree Test von Cattell (1966) sowie die Regel von Kaiser (1960) verwendet. Cattell empfiehlt das sogenannte Ellbogen-Kriterium anzuwenden, um die Komponenten überhalb eines Wendepunkts zu erhalten, ab welchem die Kurve anschließend abflacht. So ein Punkt ist in dieser Abbildung nicht vorhanden. Tatsächlich zeigt die Kurve einen fast linearen Verlauf, was darauf hindeutet, dass kein wesentlicher Faktor mehr in den übrigen Daten vorhanden ist. Als ein alternatives Kriterium können die Eigenwerte selbst dazu verwendet werden zu entscheiden, wie viele Faktoren enthalten sind. Der hierbei häufig verwendete Schwellenwert von eins, welcher von Kaiser (1960) emp-

Tabelle 4.14: Verteilung der Anzahl richtig gegebener Antworten

Richtige Antworten	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anzahl an SuS ¹	86	161	175	158	74	51	34	35	27	9	5	5	2

¹ SuS: Schülerinnen und Schüler

**Abbildung 4.2:** Wright Map der zwölf verbliebenen Aufgaben und $N = 822$ Personen ohne Unterricht

fohlen wird, wurde von Smith und Miao (1994) modifiziert. In ihren Simulationen von eindimensionalen Beobachtungsdaten beobachten sie viele Komponenten mit Eigenwerten größer als eins. Ihre Forschung legt nahe, eine Annahme von 1,40 als richtigen Wert für Zufälligkeit zu verwenden. Der höchste in dieser Studie auftauchende Eigenwert der Residuen der Korrelationsmatrix ist 1,33, was ebenfalls darauf hindeutet, dass die Daten trotz der leichten Verfehlung des SRMSR Schwellenwerts in etwa eindimensional sind.

Die EAP Reliabilität, welche durch die Verwendung des Rasch Modells mit zwölf Aufgaben bestimmt wurde, beträgt 0,63. Diese ist vergleichbar zu Werten, die in anderen Studien erhalten wurden (Schoppmeier 2013; Viering et al. 2011; Kulgemeyer 2010). Auch die Verwendung von Cronbachs Alpha ist sehr gebräuchlich (siehe beispielsweise Bortz und Döring (2006)), dessen Wert hier $\alpha = 0,68$ beträgt.

Tabelle 4.14 zeigt die Verteilung der Anzahl richtig gegebener Antworten und Abbildung 4.2 stellt die Wright Map der zwölf Aufgaben dar. Sie zeigt die Verteilung

der Personenfähigkeiten auf der linken Seite und die generalisierten Aufgabenschwellenwerte für alle Aufgaben auf der rechten Seite. Eine Person, die sich im Diagramm an derselben Logit Skalierung wie ein Aufgabenschwellenwert befindet, besitzt eine Wahrscheinlichkeit von 50%, diese Aufgabe richtig bzw. falsch zu lösen. Eine Person darüber besitzt eine höhere Wahrscheinlichkeit, die Aufgabe richtig zu lösen.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die meisten Aufgaben relativ schwierig sind im Vergleich zu den Personenfähigkeiten. Für eine bessere Abdeckung von Personen mit geringeren Fähigkeiten fehlen dem Testinstrument einfachere Aufgaben. Dennoch waren zwei Schülerinnen und Schüler in der Lage, alle zwölf Aufgaben richtig zu beantworten.

4.2.2 Validitätsaspekte

In diesem Abschnitt werden die sechs Aspekte von Validität nach Messick (1995) näher betrachtet. Es wird zunächst dargestellt, inwieweit Evidenzen für die verschiedenen Aspekte existieren, bevor im nächsten Kapitel eine abschließende Diskussion darüber geführt wird.

Inhaltliche Validität

Die inhaltliche Validität beschreibt die Eignung der Aufgaben, den Inhalt des zu untersuchenden Konstrukts zu erfassen. Um dies zu gewährleisten wurden bei der Entwicklung der Aufgaben verschiedene Ansätze kombiniert und deren Ergebnisse gleichwertig berücksichtigt. Die kosmologischen Themen in allen 16 existierenden deutschen Lehrplänen wurden herausgearbeitet und als erste Grundlage verwendet. In einem zweiten Schritt wurde die bisherige Forschung mit einbezogen, um die dort als relevant angesehenen Themenbereiche mit einfließen zu lassen. Eine Abstimmung mit zwei Experten rundete das Gesamtbild ab. Durch die Einbeziehung all dieser Aspekte wurde sicher gestellt, dass der Aufgabeninhalt relevant und repräsentativ bezogen auf das Basiswissen in Kosmologie ist. Damit der Test zeitlich effizient bei größeren Stichproben eingesetzt werden kann, wurde weitestgehend nur eine Aufgabe pro Aspekt (wie beispielsweise beim Alter des Universums) entwickelt, um einen Kompromiss zwischen Inhalt und Implementierung zu erreichen. Die Experten stellten zusätzlich sicher, dass sich keine inhaltlichen Fehler in den Aufgaben befanden. Dies ist ein Argument dafür, dass ein höheres Testergebnis tatsächlich als ein Maß für ein besseres Wissen in Kosmologie anzusehen ist. Diese Entwicklung wurde ebenfalls für die OMC Aufgaben durchlaufen, so dass auch für diese gute Evidenzen für die inhaltliche Validität vorhanden sind.

Darüber hinaus wurden die Distraktoren auf der Grundlage von fehlerhaften Schülerantworten entwickelt. Mit diesem Hintergrund ist es möglich, die Distraktoren

als Basis für eine Analyse von vorhandenen Präkonzepten zu verwenden. Wenn ein Distraktor als auffallend attraktiv in einer bestimmten Stichprobe erscheint (gewählt von wenigstens einem Drittel der Schülerinnen und Schüler), ist dies ein Hinweis auf die Richtigkeit der Behauptung, dass die entsprechende wissenschaftlich inkorrekte Vorstellung in einem gewissen Maße in der zugehörigen Population vorhanden ist.

Substanzieller Aspekt

Der substanzielle oder kognitive Aspekt betrachtet die empirische Evidenz für die Gültigkeit der bei der Ausübung der Aufgaben angenommenen ablaufenden kognitiven Prozesse. Empirische Evidenz hierfür zu erzeugen ist grundsätzlich nicht einfach. Um sich diesem zu nähern, können die bei der Entwicklung des Testinstruments durchgeführten Think Aloud Studien herangezogen werden (siehe Abschnitt 3.3.1). Eine Analyse der Audiodateien der vier aufgenommenen Schüler gab Hinweise auf erwartete ablaufende kognitive Prozesse, da die Argumentationen der Schüler bei der Auswahl und Begründung ihrer Antworten erwartete Argumentationsmuster für alle Aufgaben aufwiesen und gleichzeitig keine konstrukt-irrelevanten Aspekte aufzeigten. Die Gedankenstrukturen, welche zu den Entscheidungen führten, waren nachvollziehbar und was die Schüler sagten, stimmte immer mit der schließlich angekreuzten Antwort überein. Die Think Aloud Studien liefern einen Hinweis dafür, dass eine Person, die einen bestimmten Distraktor auswählt, die darin enthaltene wissenschaftlich inkorrekte Vorstellung gegenüber den anderen bevorzugt bei gleichzeitig keinen anderen erkennbaren Einflüssen, welche die Person in die Richtung beeinflussen könnten. Außerdem schaffen die Studien Evidenz dafür, dass die Wahl der richtigen Antwortoption einem korrektem Wissen entspricht.

Struktureller Aspekt

Der strukturelle Aspekt der Validität behandelt den Vergleich der empirisch erhaltenen Daten mit der theoretisch erwarteten Struktur des Konstrukts und wie genau letzteres von den Daten abgebildet wird. Dies wurde für die MC Aufgaben näher durch eine Evaluation der Testergebnisse unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte untersucht. Im Abschnitt 4.2.1 konnte gezeigt werden, dass durch Ausschluss von drei Aufgaben das zugrunde liegende Konstrukt eindimensional erscheint und ebenfalls gute MNSQ Werte und ein zufriedenstellender Modellfit mit einer akzeptablen EAP Reliabilität erreicht wurden. Diese Ergebnisse sind vielversprechend für eine gute Passung zwischen Daten und Modell in Bezug auf ein Assessment der Vorkenntnisse von Schülerinnen und Schülern. Im Hinblick auf die OMC Aufgaben war ein entsprechender Modellfit aufgrund der geringen Anzahl an Aufgaben in dieser Form nicht möglich.

Generalisierbarkeit

Generalisierbarkeit eines Assessments bezüglich Populationsgruppen, Settings und Aufgaben ist normalerweise schwierig zu bestimmen und kann an dieser Stelle nur teilweise getan werden. Bezüglich verschiedener Populationsgruppen erfüllt die in dieser Arbeit verwendete Stichprobe wenigstens einige erforderliche Kriterien. Die Stichprobe ist vergleichsweise groß mit $N = 822$ Schülerinnen und Schülern aus 20 verschiedenen Schulen und vier unterschiedlichen Schultypen. Es existiert eine gewisse aber nicht zu große Varianz im Alter (15 bis 20 Jahre) sowie ebenfalls im Leistungsspektrum in Physik, was sich in einer durchschnittlichen Verteilung der Physiknoten im letzten Schulzeugnis zeigt. Des Weiteren beinhaltet die Stichprobe sowohl Schülerinnen und Schüler, die Physik in der Oberstufe gewählt haben, als auch solche, die dies nicht taten. Darüber hinaus nahmen ebenfalls Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlich starkem Interesse in Physik bzw. Astronomie teil. Eine Einschränkung in der Generalisierbarkeit stellt die Nationalität dar, da alle teilnehmenden Personen aus Deutschland stammten. Aus diesem Grund können die Ergebnisse nicht auf verschiedene kulturelle Hintergründe verallgemeinert werden.

Inwieweit die Eigenschaften der Testergebnisse sowie Interpretationen bezüglich der Aufgaben verallgemeinert werden können, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden aufgrund fehlender weiterer evaluierter Testinstrumente in Kosmologie. Generalisierbarkeit bezüglich des Settings jedoch ist weitestgehend vorhanden aufgrund der Tatsache, dass der Test immer mit denselben Anweisungen gegeben wurde und von Schülerinnen und Schülern in normalen Klassensituationen unter der Aufsicht der Lehrkraft ausgefüllt wurde. Abweichungen von diesem Prozess können nicht vollständig ausgeschlossen werden, aber die geringe Anzahl von fehlenden Antworten ist ein Hinweis darauf, dass dieser Prozess gut funktioniert hat.

Externer Aspekt

Beziehungen der Testergebnisse zu anderen Maßen, wie sie im externen Aspekt der Validität beschrieben werden, wurden im Hinblick auf mögliche Korrelationen zwischen den Personenfähigkeiten auf der einen Seite und dem Interesse in Astronomie und Physik, der letzten Physiknote sowie bereits im Vorfeld vorhandenem Astronomieunterricht auf der anderen Seite untersucht. Erwartet wurde hier eine höhere Korrelation zwischen Personenfähigkeit und dem Interesse in Astronomie und Physik im Vergleich zur letzten Physiknote oder Astronomieunterricht. Schülerinnen und Schüler, die ein größeres Interesse in diesen Themen besitzen, wissen eher etwas über kosmologische Themen, da sie sich mit einer größeren Wahrscheinlichkeit auch privat damit beschäftigen und dadurch Wissen erlangen können. Dadurch besitzen sie höhere Personenfähigkeiten während gute Physiknoten und/oder bereits erhaltener Astronomieunterricht nicht notwendigerweise zu einem besseren Wissen in Kosmo-

logie führt, da kosmologische Themen normalerweise nicht im Physik- oder reinem Astronomieunterricht vorhanden sind.

Dennoch wurden keine hohen Korrelationen zwischen Personenfähigkeit und Interesse erwartet, da das Erlangen von wissenschaftlich korrektem Wissen in Kosmologie vor jeglichem Unterricht in größerem Maßstab durch informelles Lernen schwierig zu erreichen ist. Es wurde erwartet, dass das Interesse in Physik eine leicht höhere Korrelation als dasjenige in Astronomie aufweisen sollte, denn das Interesse in astronomischen und kosmologischen Themen ist überdurchschnittlich hoch, was jedoch nicht notwendigerweise ein besseres inhaltliches Wissen bedeutet. Des Weiteren wurde eine nur geringe negative (aufgrund des deutschen Notensystems) Korrelation mit der letzten Physiknote und eine schwache positive Korrelation mit Astronomieunterricht erwartet.

Bei der Berechnung der Korrelationen von Messgrößen mit Messfehlern wird die tatsächlich vorhandene Korrelation unterschätzt, welche ohne Messfehler vorhanden wäre. Eine Korrektur kann anhand der Reliabilitäten der Messgrößen durchgeführt werden. Dies kann durch die folgende Korrekturformel von Rost (2004) für zwei Messgrößen Θ und Y erreicht werden, wobei der Kleinbuchstabe 'e' Messgrößen mit Fehlern angibt:

$$\text{Korr}(\Theta, Y) = \frac{\text{Korr}(\Theta_e, Y_e)}{\sqrt{\text{Rel}(\Theta_e) \cdot \text{Rel}(Y_e)}}$$

Übertragen auf die hier verwendeten Messgrößen 'Personenfähigkeit' und andere Messgrößen wie beispielsweise 'Interesse', sind für letztere keine Messfehler verfügbar. Deswegen wird die bestimmte Korrelation nur durch die Wurzel der EAP Reliabilität geteilt. Eine statistische Betrachtung der Korrelation zwischen Personenfähigkeiten und Astronomieunterricht zeigt eine schwache positive Korrelation ($r = 0,21$, $p < ,001$), während eine schwache negative Korrelation mit den Physiknoten vorhanden ist ($r = -0,22$, $p < ,001$). Obwohl die Korrelation nicht hoch ist war zu erkennen, dass nur Schülerinnen und Schüler mit sehr guten Noten hohe Personenfähigkeiten erreichten. Wie erwartet sind die Korrelationen mit dem Interesse in Astronomie ($r = 0,32$, $p < ,001$) und Physik ($r = 0,42$, $p < ,001$) etwas höher. Dennoch werden die Korrelationen aufgrund der unbekannten Fehler der Messgrößen immer noch unterschätzt.

Aspekt der Konsequenzen

Der letzte der Validitätsaspekte von Messick (1995) behandelt die Bedeutung und Interpretation für potentielle Konsequenzen. Diese beinhalten beabsichtigte und unbeabsichtigte Konsequenzen, welche aus den Testergebnissen gezogen werden können. Dies kann an dieser Stelle nur sehr vorsichtig durch Vermutungen erfolgen. Das entwickelte Testinstrument war in der Lage durch eine Large Scale Studie Hinweise darauf zu geben, dass die Vorkenntnisse von Schülerinnen und Schülern eher schlecht

sind und dass viele Präkonzepte (siehe folgenden Abschnitt 4.2.3) vorhanden zu sein scheinen. Es kann ebenfalls positiv vermerkt werden, dass die Testparameter und der Modellfit vielversprechend sind. Entsprechende Einschränkungen werden in der Diskussion im anschließenden Kapitel aufgegriffen.

4.2.3 Vorwissen und Präkonzepte

Bezüglich der zweiten Forschungsfrage, wie das Vorwissen und die Präkonzepte von deutschen Schülerinnen und Schülern aussehen, welche mit dem geschlossenen Testinstrument gewonnen wurden, zeigt die Abbildung 4.2 im Abschnitt 4.2, dass die Schülerinnen und Schüler scheinbar eine größere Wissenslücke in Kosmologie besitzen. Lediglich zwei Schülerinnen und Schüler beantworteten alle Aufgaben korrekt und etwa 10% lösten nicht eine einzige Aufgabe richtig.

Auf der Grundlage der Distraktoren soll der Test ebenfalls die Untersuchung von Präkonzepten ermöglichen. Die Abbildungen 4.3 bis 4.8 zeigen ausgewählte Ergebnisse von interessanten und gut interpretierbaren Befunden, bei denen mindestens einer der Distraktoren von mindestens einem Drittel der Schülerinnen und Schüler gewählt wurde, was zu der Annahme von zugrunde liegenden vorunterrichtlichen Konzepten führt (alle Prozentangaben sind auf eine Nachkommastelle gerundet). Die Vorstellung von bereits existierender Materie und/oder Energie, welche bereits in vorigen Studien zum Vorschein kam (beispielsweise Wallace 2011), ist ebenfalls hier zu erkennen mit 42% aller Schülerinnen und Schüler, die diese Antwortoption gewählt haben (siehe Abbildung 4.3).

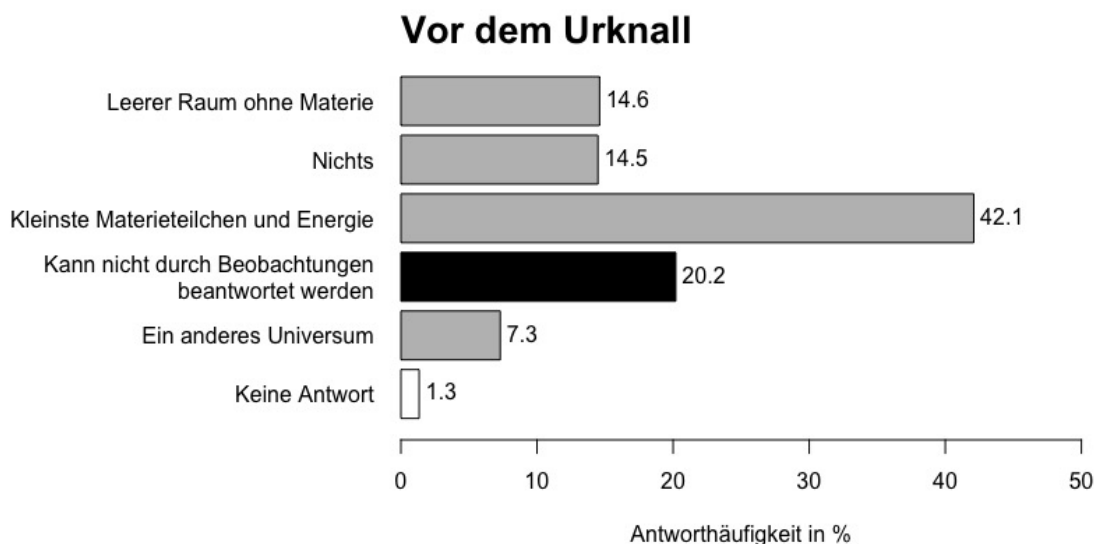


Abbildung 4.3: Verteilung der Antworten zur Frage, was vor dem Urknall existierte (Frage 12); die richtige Antwort ist in Schwarz dargestellt

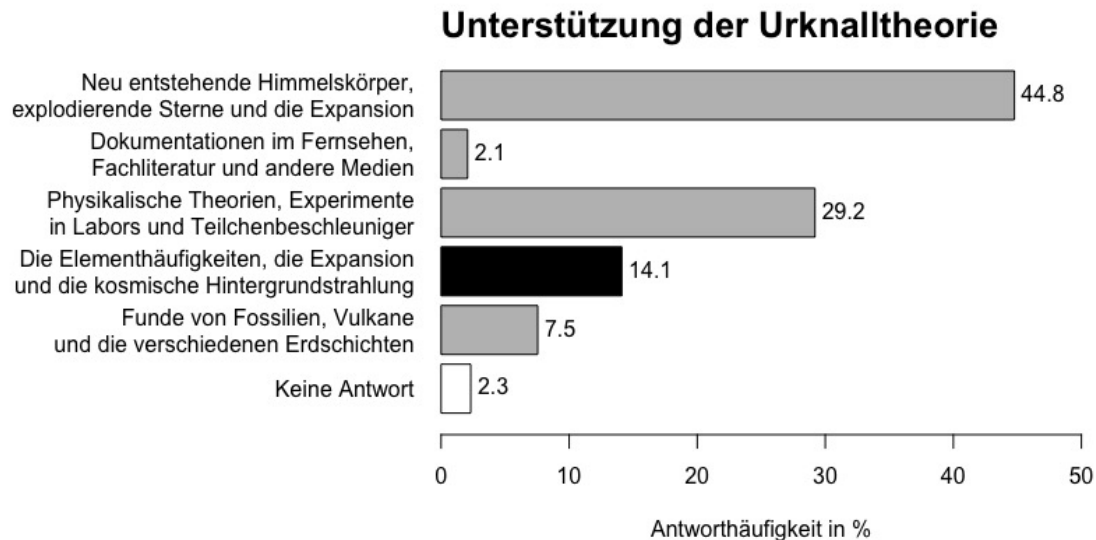


Abbildung 4.4: Verteilung der Antworten zur Frage, welche Kombination von Beobachtungen die Urknalltheorie am besten unterstützt (Frage 13); die richtige Antwort ist in Schwarz dargestellt

Was Belege für die Urknalltheorie angeht (siehe Abbildung 4.4), scheinen die Schülerinnen und Schüler nur von einem der drei Grundpfeiler, nämlich der Expansion, bisher gehört zu haben. Neunundfünfzig Prozent aller Schülerinnen und Schüler wählten eine der beiden Antwortoptionen aus, die die Expansion beinhalteten, jedoch scheinen sie nicht sehr vertraut mit den anderen beiden Grundpfeilern zu sein. Dies bestätigt die Ergebnisse, die zuvor mit dem offenen Fragebogen gewonnen wurden. Stattdessen scheinen sie eher zu physikalischen Theorien, Forschungsergebnissen und Experimenten beispielsweise in Teilchenbeschleunigern oder einzelnen Ereignissen im Weltraum wie explodierenden Sternen zu tendieren.

Des Weiteren scheint ein großer Anteil der Schülerinnen und Schüler (43,2%) zu glauben, dass sich das Universum als Gesamtes mit der Zeit am meisten durch die Kollision von Himmelskörpern und der daraus resultierenden Verteilung von Materie verändert (siehe Abbildung 4.5), und nicht durch die Abkühlung und Expansion, was von immerhin 28,4% der Schülerinnen und Schüler gewählt wurde.

Bei der Betrachtung des Alters des Universums zeigt Abbildung 4.6, dass etwa jeder Fünfte eine korrekte Größenordnung für das Alter auswählte. Mehr als 30% wählten ein höheres Alter und 35% gaben an, dass man das Alter des Universums nicht wissen kann. Mehr als 11% aller Schülerinnen und Schüler scheinen die Vorstellung eines unendlich alten Universums zu besitzen, welches schon immer existierte.

Ein großes Rätsel scheint zu sein, woraus dunkle Materie und dunkle Energie bestehen bzw. woher sie stammen (siehe Abbildungen 4.7 und 4.8). Bezüglich Assoziationen zur dunklen Materie favorisieren die Schülerinnen und Schüler Antimaterie

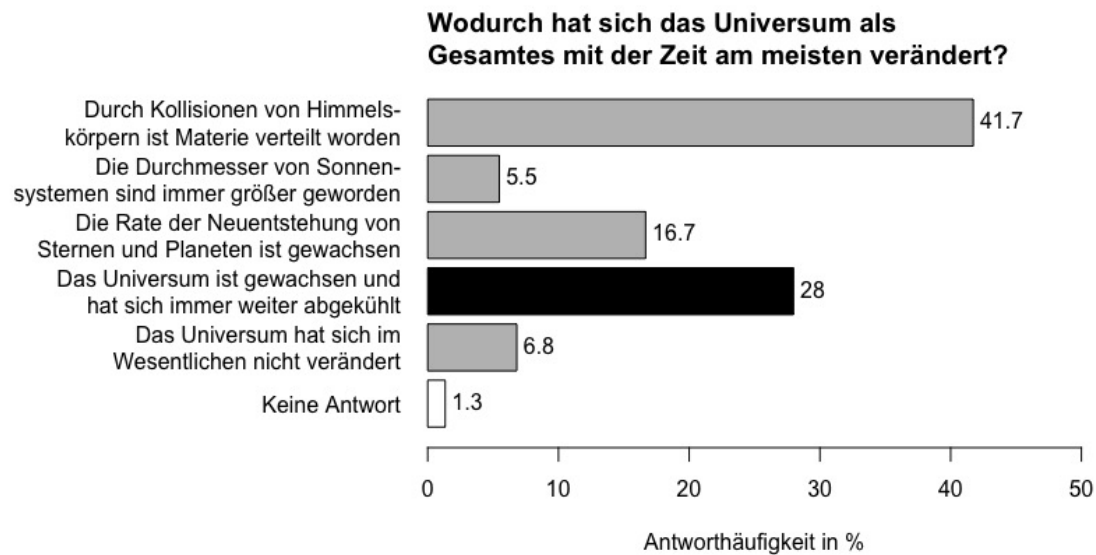


Abbildung 4.5: Verteilung der Antworten bezüglich der Veränderung des Universums (Frage 16); die richtige Antwort ist in Schwarz dargestellt

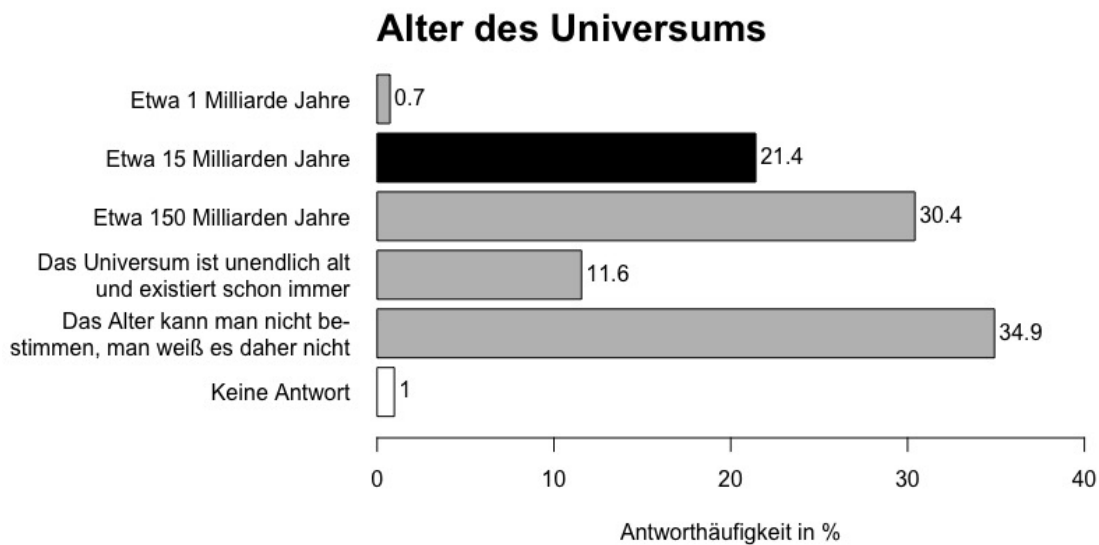


Abbildung 4.6: Verteilung der Antworten zur Schätzung des Alters des Universums (Frage 14); die richtige Antwort ist in Schwarz dargestellt

und Materie in Schwarzen Löchern mit jeweils etwa einem Drittel. Die beiden primär gewählten Antwortoptionen bei der Frage nach Assoziationen mit dunkler Energie waren Energie von wachsenden Schwarzen Löchern sowie Energie der dunklen Materie. An dieser Stelle scheinen die Schülerinnen und Schüler eher nach Oberflächenkriterien zu entscheiden und die Fachsprache zu wörtlich zu nehmen. Dies zeugt von einem niedrigen konzeptuellen Verständnis von zwei der größten Mysterien in der Kosmologie des 21. Jahrhunderts.

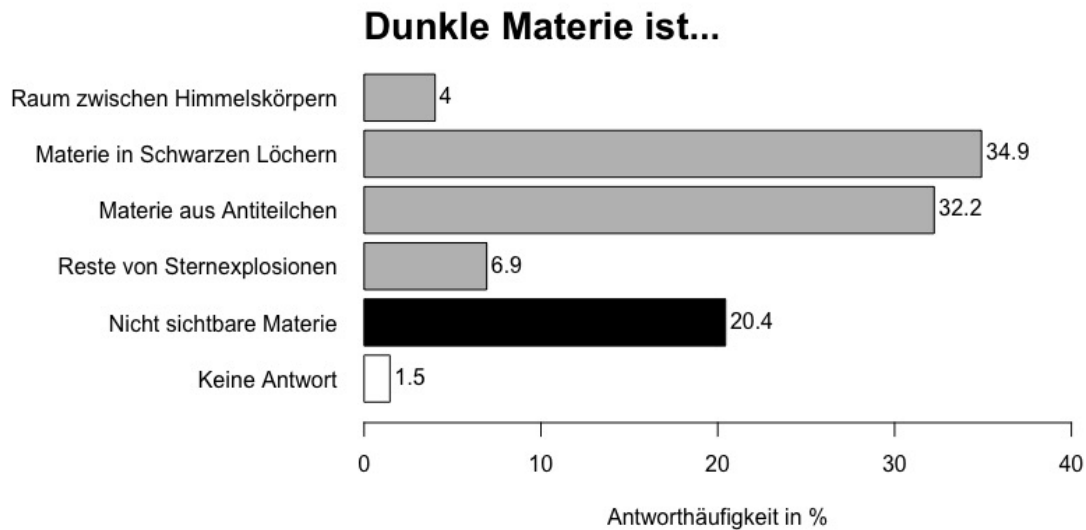


Abbildung 4.7: Verteilung der Antworten bezüglich Assoziationen mit dunkler Materie (Frage 10); die richtige Antwort ist in Schwarz dargestellt

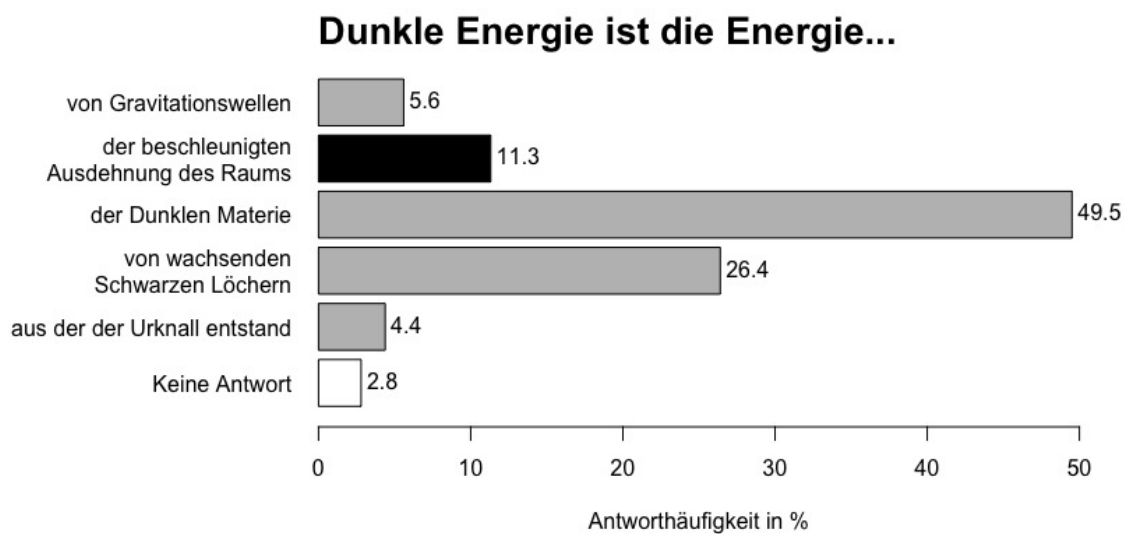


Abbildung 4.8: Verteilung der Antworten bezüglich Assoziationen mit dunkler Energie (Frage 20); die richtige Antwort ist in Schwarz dargestellt

4.2.4 Vergleich beider Stichproben

Das geschlossene Testinstrument scheint für Stichproben ohne vorherigen Unterricht in Kosmologie vergleichsweise schwer zu sein, wie Abschnitt 4.2.1 gezeigt hat. Um zu untersuchen, ob das Testinstrument sensitiv auf Wissenszuwachs reagiert, wurde dieses bei einer weiteren Stichprobe (siehe Abschnitt 3.3.4), die Unterricht in Kosmologie erhalten hat, angewendet. Diese Stichprobe ist mit $N = 48$ Schülerinnen und

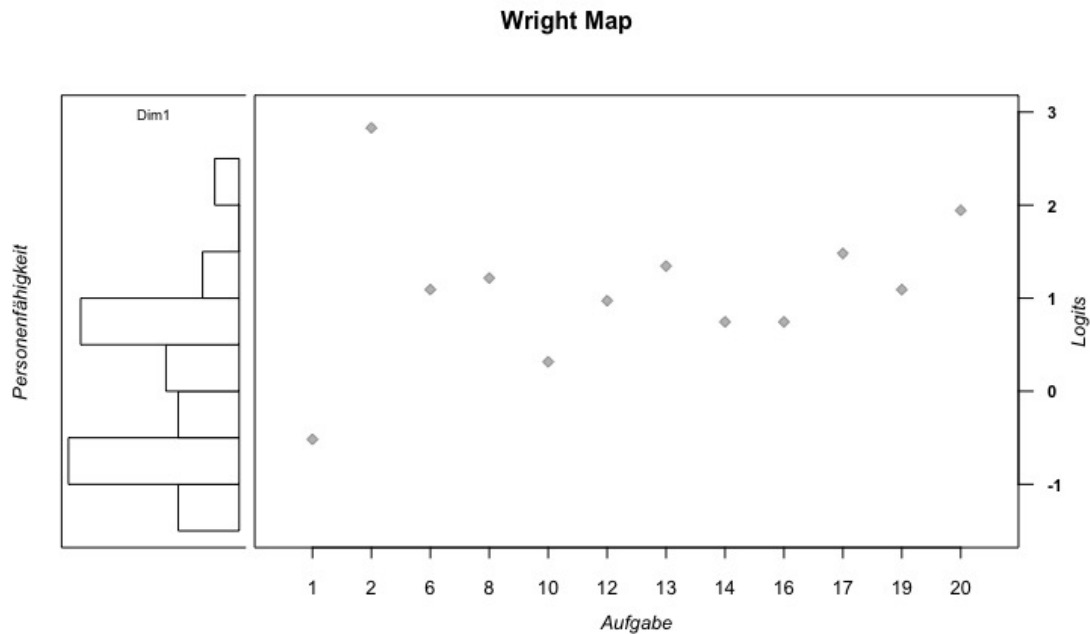


Abbildung 4.9: Wright Map der zwölf verbliebenen Aufgaben und $N = 48$ Personen nach Unterricht

Schülern wesentlich kleiner als die erste Stichprobe, da es sich als schwierig herausgestellt hat – unter anderem durch kaum vorhandenen Unterricht in Kosmologie an deutschen Schulen –, entsprechende Schülerinnen und Schüler in dem vorhandenen Zeitrahmen zu finden. Die Wright Map dieser Stichprobe bezüglich der gleichen zwölf Aufgaben wie zuvor ist in Abbildung 4.9 dargestellt.

Das Testinstrument ist bezogen auf diese Stichprobe immer noch etwas zu schwer bzw. es fehlen auch hier leichtere Aufgaben, dennoch ist die Passung der Aufgabenschwierigkeiten bezogen auf die Personenfähigkeiten besser als zuvor. Tabelle 4.15 zeigt die separat für die beiden Stichproben geschätzten Aufgabenschwierigkeiten.

Ein erster Vergleich der Aufgabenschwierigkeiten zeigt, dass die meisten Aufgaben etwas einfacher werden. Fünf der Aufgaben folgen diesem Trend nicht und geben damit einen Hinweis auf vorhandenes Differential Item Functioning (DIF). Darunter befinden sich zwei Aufgaben, die sich kaum verändern (Aufgaben 1 und 8), eine Aufgabe, die sehr viel leichter wird (Aufgabe 10) und zwei weitere Aufgaben, die minimal bzw. viel schwerer werden (Aufgaben 2 und 6).

Nach Wilson (2005) müssen diese Erkenntnisse bezüglich statistischer Signifikanz mit den DIF Effektgrößen γ verglichen werden. Ein Standard von Effektgrößen wurde von Longford et al. (1993) empfohlen und von Paek (2002) in den Kontext von Rasch Modellen übersetzt. Danach sind Werte von $|\gamma| < 0,426$ als vernachlässigbar klein, $0,426 < |\gamma| < 0,638$ als mittelmäßig und $|\gamma| > 0,638$ als hoch zu betrachten

Tabelle 4.15: Aufgabenschwierigkeiten bei beiden separat geschätzten Stichproben vor (Stichprobe 1) und nach (Stichprobe 2) Unterricht

Aufgabe	1	2	6	8	10	12
Aufgabenschwierigkeiten Stichprobe 1	-0,482	1,529	0,930	1,251	1,633	1,650
Aufgabenschwierigkeiten Stichprobe 2	-0,517	2,831	1,092	1,216	0,316	0,973
Aufgabe	13	14	16	17	19	20
Aufgabenschwierigkeiten Stichprobe 1	2,152	1,563	1,141	2,096	1,398	2,441
Aufgabenschwierigkeiten Stichprobe 2	1,345	0,745	0,745	1,481	1,092	1,943

Tabelle 4.16: DIF Effektgrößen der einzelnen Aufgaben

Aufgabe	1	2	6	8	10	12
γ	0,562	0,836	0,718	0,518	0,738	0,116
Aufgabe	13	14	16	17	19	20
γ	0,254	0,252	0,170	0,066	0,250	0,044

(Paek 2002, S. 27). Hierfür wurde die Vorgehensweise wie bei Kiefer et al. (2013) beschrieben angewendet. Beide Stichproben werden zunächst zusammen geschätzt und jede Aufgabe wird bezogen auf die beiden Personengruppen untersucht. Die DIF Effektgrößen zeigten sich dabei als mittelmäßig bei den Aufgaben 1 und 8 und als hoch bei den Aufgaben 2, 6 und 10 (siehe Tabelle 4.16).

Diese fünf Aufgaben wurden anschließend bei einer Schätzung der beiden zusammen genommenen Stichproben für beide Gruppen separat und die anderen Aufgaben gemeinsam geschätzt. Aus diesem Grund beinhaltet die Wright Map beider kombinierten Stichproben damit sozusagen 17 Aufgaben, während 'a' für die Schätzung der Aufgabenschwierigkeit für die Stichprobe vor Unterricht steht und 'b' entsprechend für die Stichprobe nach Unterricht (siehe Abbildung 4.10).

Es wurde ebenfalls ein t-Test durchgeführt, um zu untersuchen, ob der Unterschied zwischen den Stichproben zufällig zustande gekommen sein könnte. Dies konnte jedoch anhand der Ergebnisse ausgeschlossen werden ($t = -2,315$, $df = 51,6$, $p = 0,02$). Aufgrund der nicht sehr gut erfüllten Voraussetzung einer vorhandenen Normalverteilung für den t-Test wurde ebenfalls der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (auch Mann-Whitney-U-Test, U-Test oder Wilcoxon-Rangsummentest) angewendet. Dieser bestätigt ebenfalls die Ergebnisse des t-Tests ($W = 13962$, $p < 0,001$).

Aufgabe 10 über die dunkle Materie ist wie schon vorher vermutet, sehr viel leichter geworden. Die Aufgaben 1 und 8 bleiben fast unverändert und folgen nicht dem generellen Trend. Die Aufgabe 1 ist mit Abstand die leichteste Aufgabe und wurde in beiden Stichproben von 60% aller Schülerinnen und Schüler richtig beant-

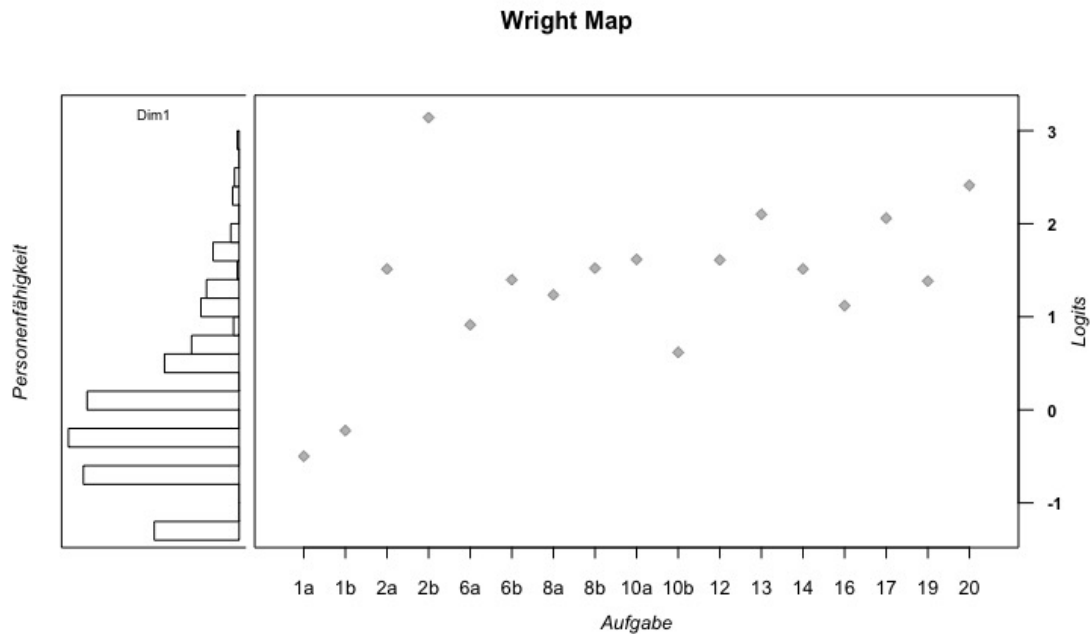


Abbildung 4.10: Wright Map der zwölf verbliebenen Aufgaben für beide Stichproben zusammen ($N = 870$ Personen) mit unterschiedlichen Schätzungen für die Aufgaben 1, 2, 6, 8 und 10; a: nur Stichprobe vor Unterricht, b: nur Stichprobe nach Unterricht

wortet. An dieser Stelle eine weitere ähnliche Verbesserung zu erreichen, wie bei den anderen leichter gewordenen Aufgaben, ist daher schwieriger. Aufgabe 8 beinhaltet ein Gedankenexperiment über die Expansion des Universums. Die Lehrerin gab explizit an, solche Sachverhalte in diesem Zusammenhang nicht behandelt zu haben. Damit steht das Verhalten dieser Aufgabe im Einklang zum von den Schülerinnen und Schülern erhaltenen Unterricht.

Aufgabe 2 und 6 sind tatsächlich schwieriger geworden, insbesondere Aufgabe 2 sticht an dieser Stelle heraus. Diese beiden Aufgaben behandeln die Art der Urknalltheorie bzw. Hinweise auf die Richtigkeit unseres Verständnisses der Entwicklung des Universums. Bei einer genaueren Betrachtung des Antwortverhaltens bei diesen beiden Aufgaben gab es im Vergleich zur ersten Stichprobe enorme Zuwächse bei den Antwortoptionen „Die Urknalltheorie ist eine physikalische Theorie bisher ohne Belege.“ (40% statt 20% bei Aufgabe 2) und bezüglich Hinweisen (Aufgabe 5) „Es gibt keine unterstützenden Hinweise.“ (21% statt 9%). Hier scheint es eventuell ein Problem mit der Vorstellung von Schülerinnen und Schülern in Bezug auf den Charakter einer physikalischen Theorie zu geben und/oder dem Zusammenhang bzw. Zusammenspiel von Theorie und Beobachtungen in der Physik.

4.2.5 Verständnisenwicklungsmodell zur Expansion des Universums

Bis heute ist der Ansatz eines strukturellen Aufbaus des Schülerverständnisses der Expansion des Universums von Wallace (2011) nicht weiter verfolgt worden. Dies gilt zum einen in Bezug auf das „Funktionieren“ des Verständnisenwicklungsmodells hinsichtlich der Zuordnung zu verschiedenen Level, als auch in Bezug auf eine Überprüfung, ob eine Korrelation zwischen der Vorstellung des Universums mit Rand und Zentrum und dem Konzept eines expandierenden Raums besteht. Dies ist insbesondere bedauernswert, da dieser kosmologische Aspekt einen Kerninhalt der Kosmologie als einer der drei Grundpfeiler der Urknalltheorie darstellt, und das Expansionsverhalten das Schicksal unseres Universums entscheidend beeinflusst.

Auf der Grundlage der Ergebnisse von Wallace (2011) sowie der vierten Frage des offenen Fragebogens wurde das Verständnisenwicklungsmodell zur Expansion des Universums entwickelt. Die Antworten auf die Frage nach der Bedeutung der Expansion des Universums zeigten interessante Ergebnisse (siehe Tabelle 4.5). Auf der Basis der induktiv entwickelten Kategorien sowie des Modells von Wallace (2011) wurde ein detaillierteres und verändertes Verständnisenwicklungsmodell entwickelt (siehe Tabelle 4.17), welches in Aretz et al. (2017) veröffentlicht wurde. Das Modell beinhaltet fünf verschiedene Level sowie ein Level Null, welches für offene Antworten gedacht ist. Das Verständnis der Schülerin bzw. des Schülers ist bei jedem Level definiert. Zusätzlich werden typische Fehler in den Leveln eins bis vier aufgezeigt um ebenfalls die Unterschiede der verschiedenen Stufen zu verdeutlichen und typische wissenschaftlich inkorrekte Vorstellungen des entsprechenden Levels aufzuzeigen. Lediglich das höchste Level (Level fünf) beinhaltet keine wissenschaftlich inkorrekten Vorstellungen und stellt eine Experten-Sichtweise des wissenschaftlichen Verständnisses des Konzepts „Expansion des Universums“ dar.

Im ersten Level verbinden die Schülerinnen und Schüler ein expandierendes Universum mit Allem außer einem in seiner Größe wachsenden Universum oder größer werdenden Abständen. Im zweiten Level glauben sie, dass zumindest manche Abstände größer werden, während sie in Level drei bereits die Idee besitzen, dass das gesamte Universum in seiner Größe wächst. In diesen Level ist jedoch noch nicht das Konzept des expandierenden Raums enthalten. Dies ändert sich in den Level vier und fünf. In Level vier wissen die Schülerinnen und Schüler bereits, dass sich der Raum selbst ausdehnt, aber sie besitzen immer noch falsche Vorstellungen wie beispielsweise, dass sich der Raum überall ausdehnt, sogar innerhalb von Galaxien. Das fünfte Level repräsentiert schließlich die momentane wissenschaftlich anerkannte Sichtweise des zugrunde liegenden Konzepts. An diesem Punkt müssen die Schülerinnen und Schüler ein tieferes Verständnis der Expansion aufweisen durch das Einbeziehen mindestens einer der drei genannten Aspekte und dürfen gleichzeitig keine falschen

Tabelle 4.17: Verständnisenwicklungsmodell zur Expansion des Universums

Level	Beschreibung
5	Experten Denken: Schüler kennt das Konzept der Raumausdehnung ohne wissenschaftlich inkorrekte Vorstellungen zu äußern und ist in der Lage, mindestens einen der folgenden Aspekte richtig zu erklären: - Das Wachstum des gesamten Universums ohne einen Rand oder ein Zentrum - Galaxien bleiben konstant in ihrer Größe; die Raumausdehnung wirkt nur zwischen den Galaxien - Die Effekte auf elektromagnetische Strahlung (Rotverschiebung)
4	Fortgeschrittenes Denken: Schüler weiß, dass Ausdehnung ein Wachstum der Größe des Universums aufgrund der Raumausdehnung bedeutet. Typischer Fehler: Der Raum dehnt sich überall aus, auch zwischen Sternen in Galaxien. Typischer Fehler: Dies hat keinen Einfluss auf das Licht, das von Objekten im Universum kommt.
3	Alltagserfahrungen im großen Maßstab: Schüler erkennt, dass Ausdehnung ein Wachstum der Größe des ganzen Universums bedeutet. Jedoch glaubt sie/er, dass dies aufgrund von sich ausbreitender Materie in einen nicht veränderlichen Raum geschieht. Typischer Fehler: Die Explosion des Urknalls verteilt alle Materie im Universum.
2	Alltagserfahrungen im kleinen Maßstab: Schüler erkennt, dass Ausdehnung ein Zunehmen von Entfernungen bedeutet. Jedoch glaubt sie/er, dass Entfernungen zwischen allen Arten von Objekten größer werden und/oder dass nur einzelne Objekte betroffen sind. Typischer Fehler: Einige Sterne bewegen sich voneinander weg aufgrund der Expansion. Typischer Fehler: Umlaufbahnen verändern sich und Abstände zwischen Planeten wachsen.
1	Alternative Vorstellung: Schüler erkennt nicht die Verbindung zu einem in seiner Größe wachsendem Universum und/oder größer werdenden Entfernungen. Typischer Fehler: Neue Entdeckungen vergrößern unser Wissen über das Universum. Typischer Fehler: Ausdehnung bedeutet die Entstehung neuer Objekte wie Sterne.
0	Tabula Rasa: Schüler gibt keine Antwort, gibt an, keine Idee zu haben oder schreibt etwas nicht auf die Frage Bezogenes.

Anmerkung. Schüler meint hier sowohl weibliche Schülerinnen als auch männliche Schüler

Vorstellungen mehr aufweisen. Die folgenden Schülerantworten zeigen Beispiele von Antworten in dieser Studie, welche in die entsprechenden Kategorien passen:

Level 0: „Leider kann ich das nicht beantworten.“

Level 1: „Eine Expansion des Universums gibt es, wenn 2 oder mehr Kometen zusammenkommen zu einem größeren Planeten.“

Level 2: „Das bedeutet, dass die Entfernung zwischen Planeten und Sternen wächst.“

Level 3: „Die Materie aus dem Urknall dehnt sich im nichts durch die Explosion aus.“

Level 4: „Der Raum zieht sich auseinander.“

Level 5: „Die Astronomen meinen damit die Expansion des Raumes, welche seit dem Urknall stattfindet. Beweis dafür ist die Rotverschiebung entfernter Galaxien. Ob die Expansion auf ewig währt, weiß ich nicht, aber, da es außerhalb des Raumes (also des Universums) nichts gibt, kann dort auch nichts existieren, was die behindern könnte.“

Im Vergleich zur Hypothese über die verschiedenen Stufen des Schülerverständnisses von Wallace (2011) (siehe eine vereinfachte Form in Tabelle 2.1) sind folgende Veränderungen gemacht worden. Seine Level 0 (nur in seinen „Scoring Rubrics“ enthalten), 1 und 2 wurden weitestgehend übernommen. Ein weiteres Level wurde zwischen seinen Level 1 und 2 eingefügt und seine Level 3 und 4 wurden durch zwei auf der Grundlage der erhaltenen Schülerantworten abgeänderte Level ersetzt. Die Antworten der Schülerinnen und Schüler zeigten in ihren Gedankengängen einen Zwischenschritt, der sich beispielsweise darin zeigte, dass sie nur das größer werden von einzelnen Entfernungen nannten (siehe Level 2 als Ergebnis). Diese Arten von Antworten beinhalteten einerseits bereits die Idee einer Art der physischen Expansion durch einzelne Objekte, die sich voneinander entfernen, jedoch noch ohne die Vorstellung, dass das ganze Universum davon betroffen ist. Des Weiteren wurde in den zwei höchsten Level 4 und 5 im Vergleich zu Level 3 Wert auf den Unterschied zwischen der Idee eines sich ausdehnenden Raums und der Idee eines expandierenden Universums durch die Ausbreitung von Materie im Raum gelegt, was nicht eindeutig im Modell von Wallace zu sehen war, sondern nur ansatzweise in einigen seiner Erklärungen zu finden war. Beispielsweise beinhaltete eine der in Wallaces Studie gezeigten Schülerantworten, welche in sein Level 3 eingeordnet wurde, keine eindeutige Erwähnung eines sich ausdehnenden Raums (S. 365), wurde jedoch dennoch dort eingeordnet. Darüber hinaus verwendete Wallace neben der Expansion selbst hauptsächlich die Aspekte „Zentrum“ und „Rand“ des Universums für eine Differenzierung der Level (siehe Tabelle 2.1). Allerdings zeigten die in dieser Studie erhaltenen Daten keinen Zusammenhang zwischen der Idee eines Universums mit Zentrum und Rand sowie des Konzepts eines expandierenden Universums. Stattdessen zeigte die überwiegende Mehrheit an Schülerinnen und Schülern, die in Level 4 eingestuft wurden, weiterhin die Vorstellung eines vorhandenen Zentrums des Universums, manchmal

Tabelle 4.18: Zuordnung der offenen Schülerantworten zu den Levels des Verständnisentwicklungsmodells

Level des Modells	5	4	3	2	1	0	1/2	2/3	3/4	1/3
Anzahl an SuS ¹	1	9	36	13	18	27	3	3	1	3
Prozentsatz an SuS ^{1,2}	1%	8%	32%	11%	16%	24%	3%	3%	1%	3%

¹SuS: Schülerinnen und Schüler

²Auf der Grundlage der 114 zuordenbaren offenen Antworten, gerundet auf ganze Prozent (deswegen beträgt die Summe nicht genau 100%).

auch oder nur in ihren Antworten zu den anderen Fragen des offenen Fragebogens. Aus diesem Grund wurde dieser Faktor nur als ein möglicher Aspekt in Level 5 verwendet, um ein tieferes Verständnis des Konzepts eines expandierenden Raums aufzuzeigen.

Mit diesem entwickelten Modell zur Hand wurden die offenen Antworten der 126 Schülerinnen und Schüler zu den verschiedenen zuvor beschriebenen Level von zwei zusätzlichen Ratern zugeordnet. Dabei erhielten die Rater lediglich die Beschreibungen des Verständnisentwicklungsmodells. Schließlich wurde analysiert, inwieweit die Level des Modells mit den Schülerantworten zusammenpassen. Da eine offene Antwort mehr als eine Aussage beinhalten kann, war es möglich, mehr als ein Level zu einer offenen Antwort zuzuordnen. Zwölf dieser Antworten konnten gar nicht zugeordnet werden. Ein Beispiel für so eine nicht zuordenbare offene Antwort ist die folgende: „Es [das Universum] entwickelt sich nach und nach...“. Von den verbliebenen 114 Schülerinnen und Schülern konnten 91,2% jeweils zu genau einem Level des Modells zugeordnet werden (siehe Tabelle 4.18). Die Anzahl der Aussagen pro Schülerin und Schüler in einer offenen Antwort reichte von eins bis sechs, wobei die meisten bis zu drei Aussagen enthielten. Sieben offene Antworten (6,1%) beinhalten Aussagen von zwei nebeneinander liegenden Level des Modells. Drei Antworten (2,6%) wurden Level 1 und 3 zugeordnet.

4.2.6 Ordered Multiple-Choice Aufgaben zur Expansion des Universums

Die aus dem zuvor beschriebenen Verständnisentwicklungsmodell entwickelten Ordered Multiple-Choice Aufgaben, die ebenfalls Teil des geschlossenen Testinstruments waren (Aufgaben 4, 5, 9, 11 und 15), werden im Folgenden näher betrachtet. Ein Problem bei Rasch Modellen ist, dass Informationen der spezifischen Antworten verloren gehen. Da die Antwortoptionen jeweils einem Level des Modells zugeordnet werden können, wurden die Aufgaben daher mit einem Partial Credit Modell in R modelliert. Da die Aufgaben hierfür voneinander stochastisch unabhängig sein müssen und dies für die Aufgaben 4 und 5 nicht zutrifft, da diese eine Two-Tier Aufgabe

darstellen, wurde Aufgabe 5 aus der Schätzung herausgenommen. Eine davon unabhängige Analyse zeigte, dass 62% der Schülerinnen und Schüler als Begründung der Aufgabe 4 anschließend in Aufgabe 5 die dazu passende Antwortoption gewählt haben. Bei Herausrechnung der 25 Schülerinnen und Schüler, die bei mindestens einer der beiden Aufgaben keine Angabe gemacht haben, sind dies sogar 64%. Dies stellt bei fünf möglichen Antwortoptionen eine zufriedenstellende Passung dar.

Die Ergebnisse des Verhalten der Schülerinnen und Schüler bei der Auswahl der entsprechenden Level des Verständnisentwicklungsmodells in Abhängigkeit ihrer Fähigkeit ist für die OMC Aufgaben 4, 9, 11 und 15 in den Abbildungen 4.11 bis 4.14 dargestellt. Dabei ist jede der Kurven eines Diagramms einem Level des zugrundeliegenden Verständnisentwicklungsmodells zugeordnet.

Bei gut funktionierenden Aufgaben im Zusammenhang mit ihren Antwortoptionen, die hier Level des Modells entsprechen, sollten die entsprechenden Reihenfolgen der Level eingehalten werden. Dies bedeutet, dass ein höheres Level sein Maximum bei höheren Personenfähigkeiten besitzen sollte als ein entsprechend niedrigeres Level. Des Weiteren sollten die Level durch verschiedene Verläufe voneinander unterscheidbar sein und jedes Level sollte in einem gewissen Fähigkeitsbereich dominant sein, also im Vergleich die höchste Wahrscheinlichkeit besitzen, von Personen in diesem Fähigkeitsbereich gewählt zu werden (Bond und Fox 2015, S. 250).

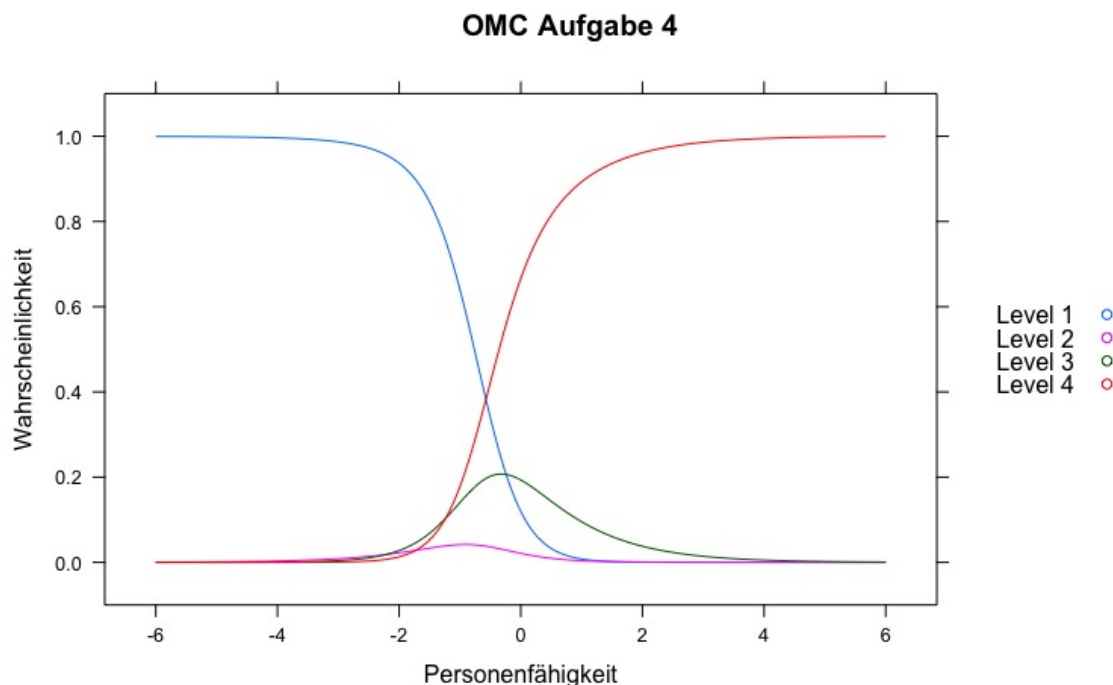


Abbildung 4.11: OMC Aufgabe 4: Charakteristische Aufgabenkurven der verschiedenen Level der Antwortoptionen

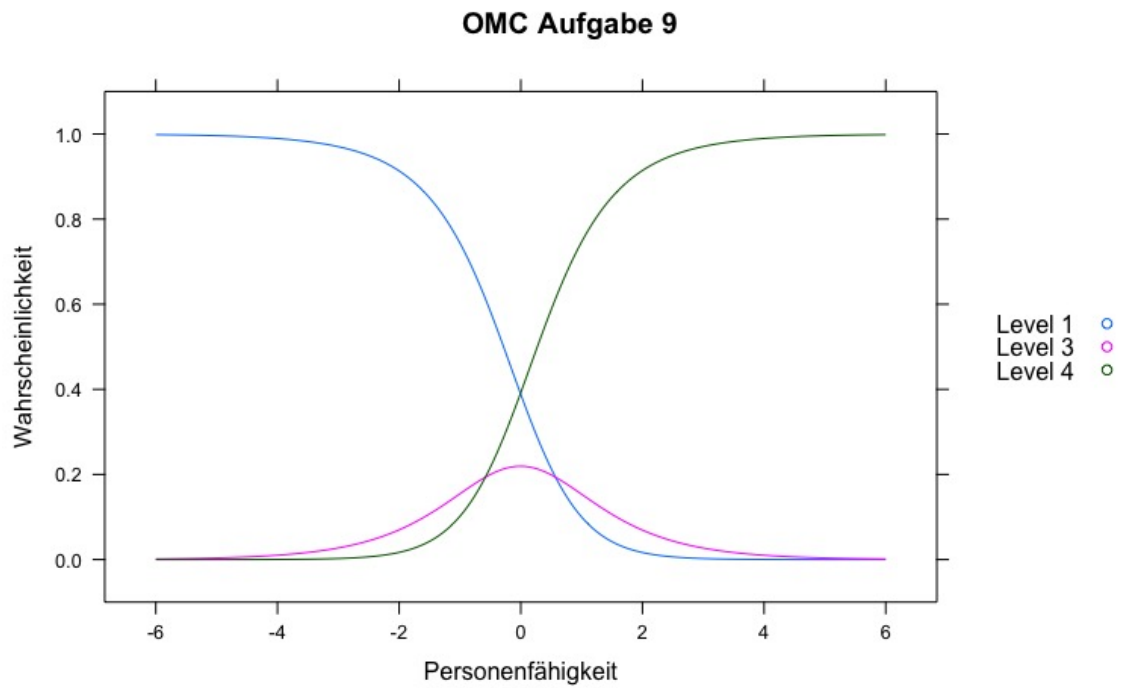


Abbildung 4.12: OMC Aufgabe 9: Charakteristische Aufgabenkurven der verschiedenen Level der Antwortoptionen

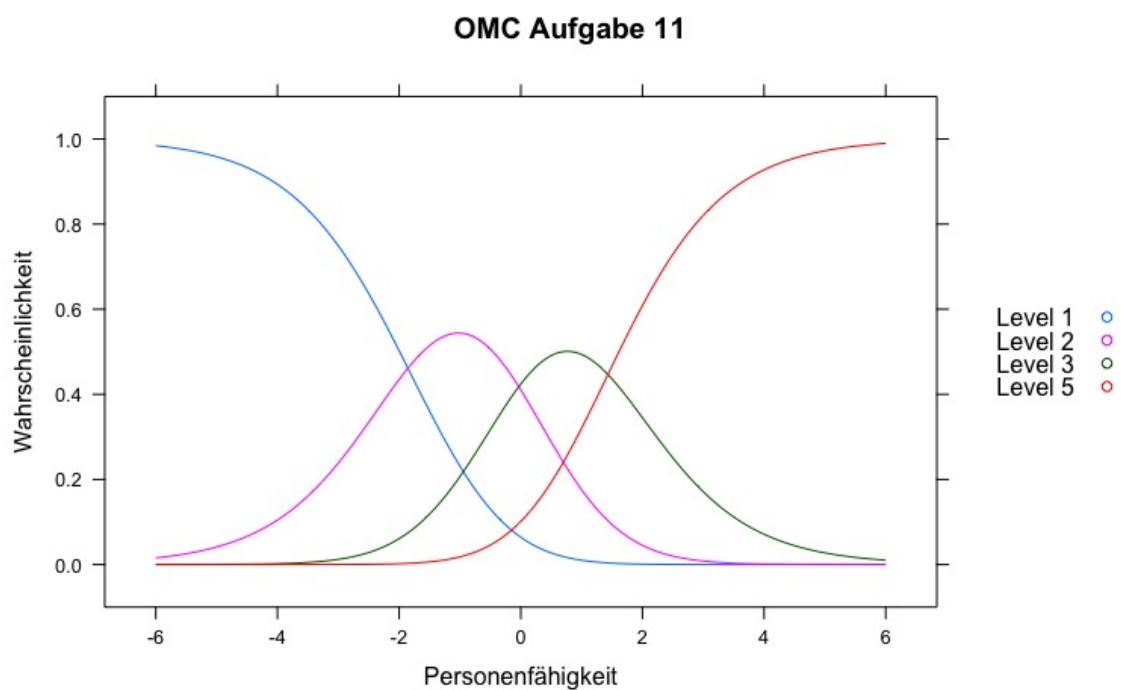


Abbildung 4.13: OMC Aufgabe 11: Charakteristische Aufgabenkurven der verschiedenen Level der Antwortoptionen

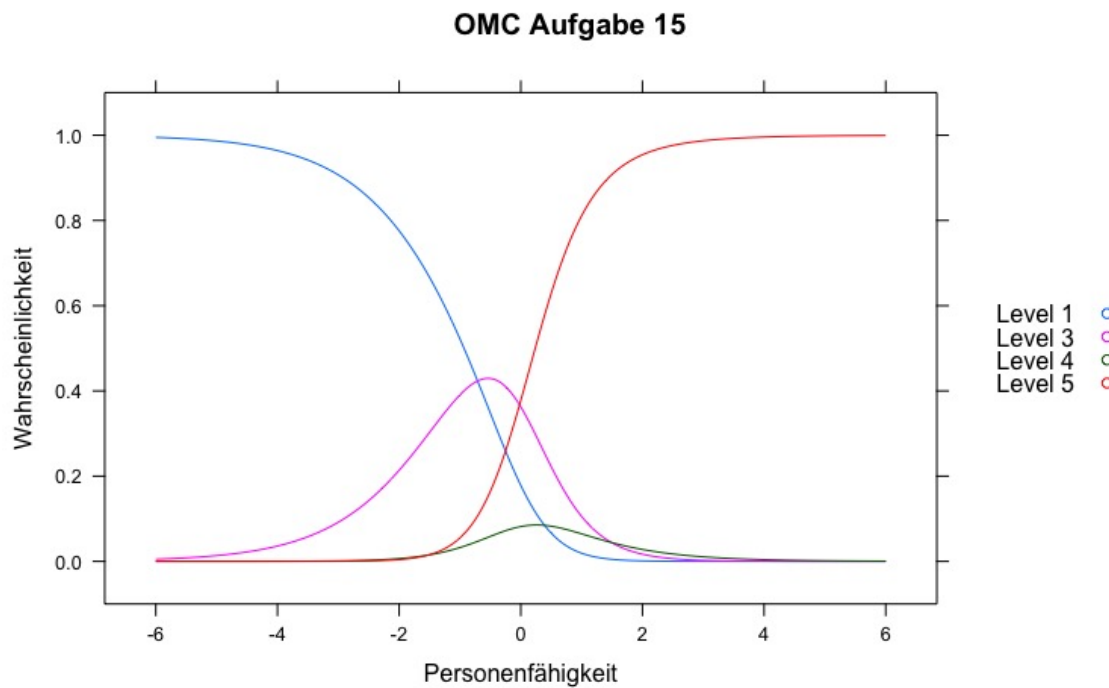


Abbildung 4.14: OMC Aufgabe 15: Charakteristische Aufgabenkurven der verschiedenen Level der Antwortoptionen

Die Verläufe des jeweils niedrigsten und höchsten vorhandenen Levels sind gut. Die Wahrscheinlichkeit des niedrigsten Levels ist jeweils bei geringen Fähigkeiten maximal und fällt dann zu höheren Fähigkeiten hin ab. Bei dem jeweils höchsten vorhandenen Level ist dieses Verhalten entsprechend umgekehrt. Die Reihenfolge der Level in den Diagrammen entspricht ebenfalls der Reihenfolge im Verständnisentwicklungsmodell, da die Maxima von Kurven höherer Level bei höheren Personenfähigkeiten liegen. Jedoch sind nicht alle Maxima in einem gewissen Fähigkeitsbereich dominant. Die Maxima der Kurven von Level 3 in Abbildung 4.12 sowie von Level 4 in Abbildung 4.14 liegen unterhalb der anderen Kurven und sind damit in keinem Fähigkeitsbereich dominant. Das gleiche gilt für das Level 3 in Abbildung 4.11. Bei dieser Aufgabe ist das Maximum der Kurve von Level 2 sogar kaum zu erkennen, was insgesamt zu der Vermutung führt, dass es an dieser Stelle vielleicht sinnvoll wäre, Level 2 und 3 vom Verständnisentwicklungsmodell zusammenzulegen. Dem widersprechen jedoch die sehr guten Verläufe aller Kurven in Abbildung 4.13. Bei dieser Aufgabe sind alle Kurven klar voneinander trennbar und besitzen Maxima, die deutlich in einem gewissen Fähigkeitsbereich dominant sind. Mögliche Ursachen und Schlussfolgerungen werden im anschließenden Kapitel diskutiert.

5. Diskussion

Im Verlauf dieses Projekts wurden verschiedene Studien durchgeführt, die aufgrund der wenigen vorhandenen wissenschaftlichen Untersuchungen in diesem eher jungen Forschungsbereich nur teilweise auf bisherigen Forschungsergebnissen aufbauen konnten und deswegen teilweise ebenfalls eine vollständige Neuentwicklung in diesem Bereich darstellen. Die erhaltenen Ergebnisse sehen weitestgehend vielversprechend aus. Dennoch existieren ebenfalls gewisse Einschränkungen sowie Aspekte, die sowohl bezüglich der hier erhaltenen Ergebnisse als auch für weitergehende Forschung in diesem Bereich berücksichtigt werden sollten und im Folgenden diskutiert werden.

5.1 Forschungsfrage 1: Ländervergleich von Vorwissen und Präkonzepten in der Kosmologie

Die zunächst mit einem offenen Fragebogen durchgeführte Studie enthüllte Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler in der Kosmologie. Die Ergebnisse zeigen die Existenz einiger teils weit verbreiteter wissenschaftlich inkorrektur Vorstellungen wie beispielsweise der Assoziation des Urknalls mit einer Explosion, der Urknall verursacht durch eine Kollision von Teilchen oder größeren Objekten, oder der Assoziation der Expansion des Universums mit neuen Entdeckungen und/oder Wissen. Des Weiteren gab nur etwa jeder Fünfte das korrekte Alter des Universums oder die Expansion als einen der drei Belege der Urknalltheorie an, während fast 40% keinen einzigen Beleg nennen konnten. Dies zeigt deutlich das Vorhandensein einer größeren Wissenslücke bezüglich der Grundpfeiler der Urknalltheorie, welche unser modernes wissenschaftliches Weltbild entscheidend geprägt haben.

Ein Grund dafür, dass keiner der Schülerinnen und Schüler die Elementhäufigkeiten als Beleg für die Urknalltheorie genannt hat, könnte sein, dass dies vorhande-

nes Wissen über Kernphysik und Nukleosynthese sowie Basiswissen der chemischen Zusammensetzung des Universums erfordert. Dies ist normalerweise bei Oberstufenschülerinnen und -schülern nicht der Fall. Dennoch muss die vergleichsweise kleine Stichprobe von $N = 126$ Teilnehmerinnen und Teilnehmern für diese qualitative Studie berücksichtigt werden. Dadurch ist Vorsicht bei Verallgemeinerungen geboten, da diese Studie damit lediglich einen ersten Hinweis auf vorhandenes Vorwissen und Präkonzepte liefern kann.

Ein anschließender Ländervergleich der Ergebnisse konnte aufgrund der geringen Anzahl vorhandener Studien in diesem Bereich weitestgehend nur mit den US-amerikanischen Ergebnissen durchgeführt werden. Vorunterrichtliche Vorstellungen besitzen ihren Ursprung in informellen Lerngelegenheiten wie beispielsweise Medien, Freunde und Familie oder wissenschaftliche Ausstellungen. Diese Faktoren können sich von Land zu Land sehr stark aufgrund unterschiedlicher sozialer und kultureller Voraussetzungen unterscheiden. Diese erste Studie dieser Arbeit gibt Hinweise auf vorhandene Unterschiede zwischen den Ländern in einigen Bereichen wie beispielsweise der Vorstellung eines unendlich alten Universums oder den leichten Unterschieden bezüglich der Belege der Urknalltheorie. Letzterer Aspekt zeigt hier leicht bessere Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler.

Dennoch sollte man bei Interpretationen vorsichtig sein, da neben der Berücksichtigung der Einschränkungen durch die in dieser Studie vorhandene Stichprobe ebenfalls Grenzen für einen objektiven Vergleich aufgrund verschiedener Faktoren der anderen Studien vorhanden sind. Trotz Verwendung offener Fragen, die jeweils aus einer der US-amerikanischen Studien entnommen wurden, stimmten diese nicht immer exakt mit denen der anderen Studien überein, wenn der entsprechende Sachverhalt dort ebenfalls untersucht wurde, wie beispielsweise bei den Assoziationen zur Urknalltheorie. Des Weiteren variierten die vorhandenen bzw. gewählten Kategorien oder ihre Definitionen, oder sie waren noch nicht einmal genau bekannt. Weitere Schwierigkeiten für einen objektiven Vergleich ergeben sich unter anderem aus Details der verschiedenen Studien bezüglich Alter, Zusammensetzung und Voraussetzungen der Stichproben. In diesem Zusammenhang werden im Folgenden einige einschränkende Bedingungen resultierend aus den verschiedenen Stichproben der vorherigen Studien dargestellt.

Die meisten Schwierigkeiten für einen Vergleich der Highschool und College Schülerinnen und Schüler in der Studie von Prather et al. (2003) mit der Stichprobe dieser Studie bestanden in der nicht sehr detaillierten Beschreibung der Daten bezüglich der gefundenen Kategorien sowie in der Tatsache, dass die Highschool-Stichprobe ausschließlich männlich war. Ein Vergleich der Ergebnisse von Trouille et al. (2013) offenbarte mehrere Schwierigkeiten. Zunächst verwendeten Trouille et al. (2013) verschiedene Methoden und die Hausaufsätze beinhalteten eine Liste von teils sehr

allgemeinen Fragen, die nicht alle adressiert werden mussten. Daraus resultierend wurden nur diejenigen Antworten für die entsprechenden Statistiken verwendet, die das dazugehörige Thema aufgegriffen haben. Zusätzlich wurden einige der präsentierten Ergebnisse nach Vorlesungen zu diesen Themen gesammelt. Außerdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass verschiedene Quellen zur Erstellung der Hausaufsätze herangezogen wurden. Demnach müssen die Daten nicht zwangsweise die vorhandenen Vorstellungen repräsentieren. Zu guter Letzt waren die Stichprobengrößen nicht sehr groß und beinhalteten bei den Interviews teilweise nur drei bis sechs Studentinnen und Studenten. Von daher ist es fraglich, wie repräsentativ die Ergebnisse wirklich sind.

Bei der deutschen Studie von Kahnt und Thesing (2010) war das Spektrum der Klassenstufen und des Alters relativ groß. Infolgedessen ist es möglich, dass sich die Vorstellungen mit der Zeit verändern, wenn die Schülerinnen und Schüler älter werden, wie die Ergebnisse der Studie bezüglich des Alters des Universums bereits andeuten. Bisher sind in dem entsprechenden Tagungsbandbeitrag nur wenige Details enthalten, viele Antworten zu vorhandenen Fragen werden nicht dargestellt. Eine weitere Literaturrecherche hat jedoch nichts ergeben, so dass die vollständigen Ergebnisse dieser Studie hier nicht für einen Vergleich herangezogen werden konnten. Die Schwierigkeiten bei einem direkten Vergleich der Ergebnisse der schwedischen Studie von Hansson und Redfors (2006) resultieren aus den Tatsachen, dass sich die verwendeten Fragen leicht von den in den amerikanischen Studien verwendeten unterscheiden, und der Unwissenheit, ob einige der befragten Personen bereits vorher Unterricht in kosmologischen Themen erhalten haben. Darüber hinaus stellen die befragten Schülerinnen und Schüler eine sehr spezielle Stichprobe dar. Alle befanden sich im naturwissenschaftlichen Programm, innerhalb dessen ebenfalls alle den fortgeschrittensten Physikkurs gewählt haben.

Diese Punkte machen deutlich, wie schwierig ein objektiver Ländervergleich tatsächlich ist, wenn kein einheitliches Testinstrument und vergleichbare Stichproben dafür herangezogen werden können. In diesem Zusammenhang sagt Maskill et al. (1997): „Research carried out on any restricted cultural group, as most educational research is ... needs to be interpreted very cautiously before being generalised across cultural boundaries” (S. 644). Die vorhandenen Unterschiede können eventuell auch zum Teil durch die verschiedenen Zeitpunkte der unterschiedlichen Studien erklärt werden, die vom Beginn des 21. Jahrhunderts (Prather et al. 2003) bis heute (diese Studie) durchgeführt wurden. Während dieser Zeit hat sich die Art und Weise, wie Menschen Informationen über moderne Wissenschaften erlangen, sehr verändert, hauptsächlich durch neue Kommunikationsmöglichkeiten durch das Internet sowie durch besseren Zugang zu Informationen anhand von Smartphones, Tablets und Ähnlichem. Darüber hinaus ist Kosmologie eine Wissenschaft, die sich in den

letzten Jahrzehnten enorm weiter entwickelt hat und dies in naher Zukunft sehr wahrscheinlich auch weiter tun wird – nicht zuletzt durch das neue Zeitalter der Multi-Messenger Astronomie – und damit ebenfalls das vorhandene Wissen.

5.2 Forschungsfrage 2: Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler in der Kosmologie

Die Ergebnisse der Beantwortung der ersten Forschungsfrage stellten zusammen mit den Ergebnissen der wenigen vorangegangenen Studien sowie der Lehrpläne und der Experten die Grundlage für die Entwicklung des geschlossenen Testinstruments dar. Im Folgenden werden die Evaluation des Tests sowie die Ergebnisse diskutiert.

5.2.1 Betrachtung der Validitätsaspekte des geschlossenen Testinstruments

Die sechs verschiedenen Aspekte der Validität nach Messick (1995) wurden im Abschnitt 4.2.2 genauer betrachtet. Insgesamt konnten gute Evidenzen für die meisten dieser Aspekte herausgearbeitet werden. Dennoch war dies nicht für alle Aspekte möglich, so dass an dieser Stelle gewisse Einschränkungen vorgenommen werden müssen. Die gewählte Vorgehensweise bei der Entwicklung der Aufgaben mit dem Einbezug der verschiedenen dargestellten Ressourcen bilden eine gute Grundlage für die inhaltliche Validität der Aufgaben in Bezug auf die Untersuchung des Vorwissens und der vorhandenen Präkonzepte. Ein höheres Testergebnis kann damit tatsächlich als ein Maß für ein besseres Wissen in Kosmologie angesehen werden. Auch für die kognitive Validität konnten anhand der Think Aloud Studien gute Evidenzen für die beiden Aspekte Vorwissen und Präkonzepte geschaffen werden. Sie liefern einen Hinweis dafür, dass die wissenschaftlich inkorrekte Vorstellung, die in einem ausgewählten Distraktor enthalten ist, gegenüber den anderen von der entsprechenden Person bevorzugt wird. Trotz der bereits guten Evidenzen könnten die inhaltliche und kognitive Validität für weitere Forschungen in diesem Gebiet noch weiter verbessert werden, beispielsweise durch den Einbezug weiterer Lehrpläne anderer Länder, weiterer Experten sowie ebenfalls einer Ergänzung der Think Aloud Studien mit Interviews.

Nach Ausschluss von drei Aufgaben wegen mangelnder Trennschärfe und lokaler stochastischer Abhängigkeit konnte im Hinblick auf die strukturelle Validität in Bezug auf das Vorwissen ein guter Modellfit mit akzeptablen Reliabilitäten erreicht werden. Dies könnte erneut bei einer größeren Stichprobe untersucht werden, die

bereits Unterricht in Kosmologie erhalten hat. Durch die nicht ideale Passung zwischen der Schwierigkeit des Testinstruments und der in dieser Arbeit herangezogenen Stichprobe ohne vorhergehenden Unterricht könnte sich der Modellfit dadurch weiter verbessern. Die zweite Stichprobe (siehe Abschnitt 3.3.3) besaß an dieser Stelle für eine erneute Untersuchung und Vergleich des Modellfits leider keine ausreichende Größe. Darüber hinaus wurde in diesem Zusammenhang ein Hinweis auf die Möglichkeit entdeckt, dass die Struktur des Universums vielleicht nicht zum gleichen eindimensionalen Konstrukt des Grundwissens in Kosmologie gehört. Dieser Aspekt sollte in weiteren Studien detaillierter untersucht werden, um herauszufinden, ob die Struktur des Universums separat betrachtet werden sollte. Sollte sich dies als richtig herausstellen, könnte es nötig sein, dieses Thema genauer in Vorlesungen und Seminaren zu behandeln.

Die Generalisierbarkeit ist häufig einer der schwierigeren Aspekte und entsprechende Einschränkungen wurden bereits dargelegt (siehe Abschnitt 4.2.2). Verschiedene Kriterien werden hierbei erfüllt wie beispielsweise die Verwendung einer hinreichend großen Stichprobe, den Einbezug verschiedener Schultypen sowie die Betrachtung von Schülerinnen und Schülern mit unterschiedlich großem Interesse in Physik und Astronomie. Eine Einschränkung bei der Generalisierbarkeit stellt die Nationalität dar, da diese Studie ausschließlich an deutschen Schulen durchgeführt wurde. Dadurch lassen sich die Ergebnisse nicht auf verschiedene kulturelle Hintergründe verallgemeinern. Hierbei kann insbesondere eine Untersuchung mit weiter gefächerten Stichproben bezüglich fachlichem und kulturellem Hintergrund die Validität in diesem Bereich erhöhen.

Hinsichtlich des externen Aspekts in Bezug auf das Vorwissen wurden Korrelationen zwischen den Personenfähigkeiten auf der einen Seite und dem Interesse in Astronomie und Physik, der letzten Physiknote sowie bereits im Vorfeld vorhandenem Astronomieunterricht auf der anderen Seite untersucht. Die Ergebnisse reflektierten das erwartete Verhalten und scheinen damit folgende Aussage von Messick (1995) zu unterstützen: „[T]he constructs represented in the assessment should rationally account for the external pattern of correlations” (S. 746). Implikationen und potentielle Konsequenzen können an dieser Stelle nur sehr vorsichtig gezogen werden. Das Testinstrument ist wahrscheinlich für Vergleiche von Gruppen und Interventionen im Rahmen von Forschung und zur Evaluation von Lerneinheiten nutzbar. Dennoch wird an dieser Stelle zunächst davon abgeraten, das Testinstrument für Individualdiagnosen zu verwenden. Des Weiteren muss in einer weiteren Studie untersucht werden, inwieweit der Test sensitiv auf ein Pre-Post Design sowie auf universitäre Lehrveranstaltungen reagiert.

5.2.2 Vorwissen und Präkonzepte deutscher Schülerinnen und Schüler

Die Ergebnisse der Anwendung des geschlossenen Testinstruments zeigten große Wissenslücken im Bereich der Kosmologie bei deutschen Schülerinnen und Schülern. Die Wright Map (siehe Abbildung 4.2) der Stichprobe, die keinen Unterricht in Kosmologie erhalten hat, zeigt einen größeren vorhandenen Unterschied zwischen der Aufgabenschwierigkeit und der Personenfähigkeit auf. Dieser wird ein wenig aber signifikant kleiner bei der Betrachtung der Stichprobe, welche Unterricht in Kosmologie erhalten hat (siehe Abbildung 4.9). Dies ist ein erster Hinweis darauf, dass das Testinstrument sensitiv auf Wissenszuwachs reagiert und wahrscheinlich zur Untersuchung der Wirksamkeit von Lerneinheiten eingesetzt werden kann. An dieser Stelle werden die Stichproben unter der Voraussetzung miteinander verglichen, dass die Rahmenbedingungen für beide ähnlich sind. Dies ist für einige Faktoren gegeben, jedoch sind hierbei folgende Aspekte zu berücksichtigen. Die Stichprobengrößen variieren mit $N_1 = 822$ und $N_2 = 48$ sehr stark. Des Weiteren beinhaltet die erste Stichprobe 20 Schulen vier verschiedener Schultypen aus sechs Bundesländern, während die zweite Stichprobe lediglich zwei Kurse einer einzigen Schule enthält. Die Klassenstufen und Altersbereiche sind jedoch einigermaßen vergleichbar. Für eine noch bessere Vergleichbarkeit von Stichproben wäre beispielsweise ein Pre-Post-Design für zukünftige Forschung in diesem Bereich zu empfehlen.

Die Betrachtung der Antwortstruktur zeigt darüber hinaus, dass, bis auf eine Aufgabe, alle Prozentzahlen der richtigen Antworten in einem niedrigen Bereich von 10% bis 35% liegen. Die Aufgaben des Testinstruments decken bereits hauptsächlich nur einführende Themen ab, welche normalerweise nicht sehr tief in die Materie eindringen. Aus diesem Grund ist es schwierig, viele einfachere Aufgaben zu entwickeln, als die bereits verwendeten. Dennoch stellt dieser Aspekt einen weiteren Ansatzpunkt für weitere Forschungen dar, um die Passung des Testinstruments auch für Stichproben ohne vorherigen Unterricht zu verbessern.

Es existieren ebenfalls Hinweise auf viele vorhandene vorunterrichtliche Vorstellungen oder Präkonzepte. Dies wurde bei einer Analyse der Prozentzahlen der entsprechenden Distraktoren deutlich (siehe Abbildungen 4.3 bis 4.8):

- eine bestimmte Menge an Materie und/oder Energie existierte bereits vor dem Urknall
- das Alter des Universums kann nicht bestimmt werden
- dunkle Materie ist Materie in schwarzen Löchern oder Materie aus Antiteilchen
- dunkle Energie ist die Energie der dunklen Materie oder von wachsenden schwarzen Löchern

- die Kollisionen von Himmelskörpern haben das Universum mit der Zeit mehr verändert als die Expansion und Abkühlung

Bezüglich dunkler Materie und Energie scheinen sich die Schülerinnen und Schüler eher durch die Wörter „dunkel“ und „schwarz“ (von schwarzen Löchern) leiten zu lassen, als durch wissenschaftliche Erkenntnisse. Des Weiteren scheinen die Schülerinnen und Schüler nicht mit den Grundpfeilern der Urknalltheorie vertraut zu sein – insbesondere mit der kosmischen Hintergrundstrahlung und den Elementhäufigkeiten. Die Tatsache, dass die Häufigkeiten der Antworten nicht gleichmäßig verteilt sind, ist ein Hinweis darauf, dass die Antwortstruktur nicht durch Raten zustande gekommen ist, sondern durch vorhandene Präkonzepte. Inwieweit diese bereits vor dem Ausfüllen des Fragebogens bei den Schülerinnen und Schülern vorhanden waren oder erst während der Bearbeitung der Aufgaben ad hoc entstanden sind, kann an dieser Stelle nicht abschließend geklärt werden, sondern benötigt weiter führende Untersuchungen speziell zu dieser Fragestellung.

Das Vorwissen basiert hauptsächlich auf informellem Lernen. Die Betrachtung der Schülerinformationen der ersten Stichprobe zeigt, dass lediglich 3% angegeben haben, bereits Kosmologie im Unterricht in irgendeiner Form erhalten zu haben. Jedoch gaben mehr als 80% der Schülerinnen und Schüler und 100% der zweiten Stichprobe an, bereits anderweitig vor dem Test etwas über Kosmologie gesehen, gehört oder gelesen zu haben. Dabei spielten offenbar insbesondere das Fernsehen und das Internet eine große Rolle. Diese Ergebnisse in Kombination mit den Testresultaten lassen vermuten, dass informelle Lerngelegenheiten nicht übermäßig geeignet sind, adäquates Wissen in Kosmologie zu vermitteln. Ihr Beitrag zur Unterstützung des Interesses in Kosmologie muss zwar anerkannt werden, jedoch scheinen viele wissenschaftlich inkorrekte Vorstellungen hervorgerufen zu werden, die anschließend zu Problemen führen können, wenn das Thema im Unterricht behandelt wird.

5.2.3 Verständnisenwicklungsmodell und Ordered Multiple-Choice Aufgaben zur Expansion des Universums

Das Verständnisenwicklungsmodell zur Expansion des Universums basiert auf der Grundlage bisheriger Forschung. Dennoch stellt es zunächst eine Hypothese über die Entwicklung des Schülerverständnisses dar, die weiter getestet und eventuell in einem iterativen Prozess angepasst werden muss. Unter der Annahme, dass die Entwicklung des Verständnisses der Struktur eines solchen Modells folgt, sollten sich Schülerinnen und Schüler in einem oder zwei nebeneinander liegenden Level befinden. Mit der hierfür verwendeten Stichprobe (siehe Abschnitt 3.2.3) konnte mit hohen Interraterreliabilitäten gezeigt werden, dass die meisten der offenen Antworten zu exakt einem Level zugeordnet werden konnten. Lediglich auf drei von 126 Schü-

lerinnen und Schüler traf diese Annahme nicht zu. Ein Beispiel dieser Antworten ist die folgende: „Das Universum expandiert durch Masse, die sich überall ausbreitet. Auch neue Galaxien und so entstehen.“ Hierbei wurde der erste Satz zu Level 3 und der zweite Satz zu Level 1 zugeordnet. An dieser Stelle hätten Interviews sehr wahrscheinlich geholfen herauszufinden, was die zugrundeliegenden Gedankengänge und Vorstellungen hinter dieser Aussage waren und ob der zweite Satz beispielsweise lediglich einen weiteren Gedankengang im Zusammenhang mit weiteren parallel zur Expansion ablaufenden Prozessen dargestellt hat, so dass die Zuordnung präziser hätte durchgeführt werden können.

An dieser Stelle muss ebenfalls noch die prognostische Validität nachgewiesen werden. Es ist noch nicht geklärt, ob die Schülerinnen und Schüler exakt diesen Entwicklungsschritten folgen – was das Überspringen eines Levels nicht ausschließt. Zusätzlich ist es bisher nicht möglich im Vergleich zu anderen Verständnisentwicklungsmodellen wie dem des Schülerverständnisses von der Erde und des Sonnensystems von Briggs et al. (2006) ein Level einer bestimmten Klassenstufe zuzuordnen. Dies ist nicht praktikabel, da die Expansion des Universums als Teil der Kosmologie nicht in allen Lehrplänen vorhanden ist, und wo dies der Fall ist, kann sich dies sehr stark im Inhalt und der Klassenstufe unterscheiden.

Die auf dieser Grundlage entwickelten Ordered Multiple-Choice Aufgaben, welche bei 822 Schülerinnen und Schülern eingesetzt wurden, zeigten, dass die Reihenfolgen der Level denen des Modells entsprechen, die Maxima von Kurven höherer Level liegen entsprechend bei höheren Personenfähigkeiten. Bezüglich der Dominanz der Maxima zeigte sich jedoch kein eindeutiges Bild. Beispielsweise zeigte sich das Level 2 einmal dominant (Aufgabe 11) und einmal in keinem Bereich dominant (Aufgabe 4). Ähnliches gilt für Level 3, welches zwei Mal in einem bestimmten Fähigkeitsbereich dominant erscheint (Aufgaben 11 und 15) und zwei Mal nicht (Aufgaben 4 und 9). Dabei hat Aufgabe 11 im Vergleich zu den anderen OMC Aufgaben relativ gut funktioniert im Hinblick auf die Verläufe der charakteristischen Aufgabenkurven (siehe Abbildung 4.13).

Das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Level in den verschiedenen Aufgaben lässt vermuten, dass die Wahl des Sachverhalts in den entsprechenden Antwortoptionen eine entscheidende Rolle spielt. In Level 2 des Verständnisentwicklungsmodells zur Expansion des Universums beispielsweise soll die Schülerin bzw. der Schüler erkennen, dass ein Zunehmen von Entfernungen in diesem Zusammenhang eine Rolle spielt. In Aufgabe 4 ist dafür in der fünften Antwortoption mit der Vergrößerung der Umlaufbahnen von Planeten ein sehr spezielles Beispiel ausgewählt worden. In Aufgabe 11 hingegen wurde mit der zweiten Antwortoption eine Möglichkeit gewählt, die wesentlich allgemeiner formuliert wurde und mehrere Möglichkeiten in diesem Zusammenhang zulässt: „Bei der Navigation in einer Galaxie muss der Lichtstrahl

ständig seinen Kurs anpassen, da sich alles innerhalb der Galaxie immer weiter voneinander entfernt.“ In Aufgabe 11 wurden scheinbar insgesamt entsprechend gute Beispiele für die verschiedenen Level im entsprechenden Sachzusammenhang ausgewählt, was zu den guten Kurvenverläufen geführt hat. Es scheint also besondere Sorgfalt bei der Entwicklung von OMC Aufgaben hinsichtlich der Wahl konkreter Beispiele für die zugrunde liegenden Level des dahinter stehenden Modells vonnöten zu sein.

An dieser Stelle muss natürlich ebenfalls die geringe Anzahl an OMC Aufgaben berücksichtigt werden, die lediglich eine erste Herangehensweise darstellen können. Außerdem spielt bei diesen Aufgaben der Inhalt und die Formulierung eine große Rolle, wie auch Briggs et al. (2006) zu bedenken gibt: „Even when the theory is sound, items that have been developed according to it may still have unanticipated problems due to how they have been written“ (S. 53).

Dies sind weltweit die ersten OMC Aufgaben zur Expansion des Universums, womit dieser Forschungsbereich erst ganz am Anfang steht. Dementsprechend ist die zukünftige Forschung bei der Weiter- und Neuentwicklung sowohl dieser Aufgaben als auch des zugrundeliegenden Verständnisentwicklungsmodells gefragt. Letzteres stellt eine Hypothese des Schülerverständnisses und dessen Entwicklung dar. Dementsprechend sagen Alonzo und Steedle (2009) ebenfalls: „As such, it expresses a current idea about how student understanding develops, which can – and should – be revised in response to new information about student thinking “ (S. 393). Weitere Iterationen der Überarbeitung dieser beiden Aspekte können dann zukünftig einen Beitrag zu einer besseren Erkenntnis der Verständnisentwicklung des Konzepts der Expansion des Universums von Schülerinnen und Schülern liefern und damit eine Grundlage für entsprechende Unterrichtsplanungen und Untersuchungen zur Wirksamkeit von Interventionen in diesem wichtigen Bereich der Kosmologie bilden.

5.3 Forschungsbeitrag und Ausblick

Diese Arbeit liefert Forschungsbeiträge hinsichtlich mehrerer Aspekte. Das Thema Vorwissen und Präkonzepte in der Kosmologie stellt einen sehr jungen Forschungsbereich mit bisher wenigen Studien und Ergebnissen dar. Gleichzeitig wird diese Forschung jedoch benötigt, wenn Vorhaben wie beispielsweise das von Schecker et al. (2004a), die moderne Physik wie zum Beispiel die Kosmologie mehr in den Unterricht zu integrieren, umgesetzt werden sollen. Sollten die dafür notwendigen Lehrpläne neu bzw. weiter entwickelt werden, bestünde ein noch größerer Bedarf an Untersuchungen hinsichtlich der vorhandenen kognitiven Voraussetzungen von Schülerinnen und Schülern. In diesem Zusammenhang ist es ebenfalls wichtig zu verstehen, ob und wenn ja welche Unterschiede zwischen Ländern existieren, so dass diese bei Un-

terrichtsplanungen entsprechend berücksichtigt werden können. Des Weiteren ist es wichtig für eine Evaluation von Lernstrategien, Mittel beispielsweise in Form entsprechender Tests zur Verfügung zu haben, um möglichst zeiteffizient die Wirksamkeit von Lerneinheiten und Interventionen untersuchen zu können. Dies kann in der Folge zu einer effizienteren Unterrichtsplanung und größeren Erfolgen beim Wissenszuwachs und der Entwicklung langfristiger wissenschaftlich korrekter Vorstellungen führen.

An diese Aspekte knüpft diese Arbeit an, indem sie zunächst einen ersten Ländervergleich der bereits vorhandenen Ergebnisse und Studien durchführt. Dieser bisher erste Versuch, Unterschiede im Vorwissen und von Präkonzepten aufzudecken, zeigt erste Hinweise auf tatsächlich vorhandene Abweichungen in diesem Bereich. Dies wirft die Frage auf, inwieweit Ergebnisse in der Bildungsforschung zwischen Ländern übertragen werden können. Wenn diese nicht direkt übertragbar sind, wie akkurat muss eine Stichprobe beschrieben sein, damit sich die Ergebnisse verallgemeinern und übertragen lassen? Vorhandene signifikante Unterschiede würden implizieren, dass Lehrpläne und Unterrichtsmaterialien eventuell nicht eins zu eins über Ländergrenzen hinweg übertragen werden können, sondern – unter Berücksichtigung der vorhandenen Voraussetzungen – zumindest teilweise angepasst werden müssten. Aufgrund der Probleme bei Vergleichen von Studien mit unterschiedlichen Voraussetzungen insbesondere hinsichtlich Methoden, Fragen und Auswertungen, ist an dieser Stelle die Verwendung eines einheitlichen, objektiven und zeiteffizienten Testinstruments für eine weitere Untersuchung unabdingbar.

In diesem Zusammenhang liefert diese Arbeit ebenfalls erstmals Ergebnisse einer ausführlichen Studie hinsichtlich des Vorwissens und der Präkonzepte von Schülerinnen und Schülern in der Kosmologie in Deutschland auf qualitativer als auch quantitativer Basis. Die Ergebnisse offenbaren große Wissenslücken bei gleichzeitig vorhandenen vielfältigen wissenschaftlich inkorrekten Vorstellungen. Dies scheint zunächst nicht verwunderlich zu sein bei Schülerinnen und Schülern ohne vorherigen Unterricht. Gleichzeitig ist jedoch zu beachten, dass sich in diesem Themenbereich wesentlich mehr und tiefer verankerte Präkonzepte bilden können, als in den meisten anderen Bereichen der Physik. Dies hat seinen Ursprung zum einen in einem überdurchschnittlich hohen vorhandenen Interesse bei gleichzeitiger starker Präsenz des Themengebiets in Medien durch regelmäßige neue Entdeckungen in diesem Fachbereich. Gleichzeitig sind viele Aspekte der Kosmologie vergleichsweise weit von alltäglichen Erfahrungen entfernt, so dass das Zurückgreifen von Schülerinnen und Schülern auf bereits vorhandene Erfahrungen bei dem Prozess der Erkenntnisgewinnung häufig schwierig ist und zu falschen Schlussfolgerungen führen kann, wie beispielsweise der Assoziation des Urknalls mit einer Explosion, bei der Materie im umgebenden Raum verteilt wird.

Einen weiteren Forschungsbeitrag liefert diese Arbeit im Bereich der Verständnisentwicklung des Konzepts der Expansion des Universums. Die Weiterentwicklung eines Verständnisentwicklungsmodells zu diesem Thema sowie die Entwicklung der allerersten Ordered Multiple-Choice Aufgaben hierzu legen die Grundlage für zukünftige Forschungen im Bereich des Verstehens verschiedener Verständnislevel und der generellen Entwicklung hiervon zu einem abstrakteren Konzept in der Kosmologie, welches jedoch gleichzeitig eine der fundamentalen Grundlagen der Urknalltheorie darstellt. Diese Arbeit kann an dieser Stelle nur den ersten Schritt in dieser Richtung darstellen aufgrund fehlender bisheriger Forschung in diesem Bereich. Beispielsweise muss zukünftig noch sowohl die prognostische Validität des Verständnisentwicklungsmodells verifiziert werden, als auch weitere Ordered Multiple-Choice Aufgaben entwickelt und die bereits vorhandenen Aufgaben sowie das Modell eventuell durch einen iterativen Prozess überarbeitet werden.

Schließlich wurde im Verlauf dieser Arbeit das erste geschlossene Testinstrument zur Untersuchung von Vorwissen und Präkonzepten in der Kosmologie entwickelt und evaluiert. Es wurde in einer ersten Large Scale Studie mit deutschen Schülerinnen und Schülern angewendet und offenbart erste vielversprechende Ergebnisse. Dennoch müssen auch hier Einschränkungen erfolgen, da der Test in dieser Form nicht für Individualdiagnosen verwendet werden sollte, die Aufgaben aufgrund der vollständigen Neuentwicklung noch keinen iterativen Prozess durchlaufen haben und das Testinstrument bisher hauptsächlich bei Schülerinnen und Schülern in Deutschland ohne vorherigen Unterricht in Kosmologie eingesetzt wurde. In der Zukunft sollten deswegen ebenfalls sowohl Stichproben aus anderen Ländern mit unterschiedlichen sozialen und kulturellen Hintergründen als auch Stichproben mit bereits erhaltenem Unterricht in Kosmologie herangezogen werden. Letzteres konnte hier lediglich mit einer relativ kleinen Stichprobe realisiert werden, die jedoch bereits geringe aber signifikante Unterschiede aufwies. Dies lässt vermuten, dass das Testinstrument sensitiv auf Wissenszuwachs reagiert und damit in der Lage sein kann, die Wirksamkeit von Lerneinheiten zu untersuchen. Für eine bessere Abdeckung der Personenfähigkeiten sollten ebenfalls einige einfachere Aufgaben entwickelt werden, um eine bessere Passung zwischen Aufgabenschwierigkeit und Personenfähigkeit zu gewährleisten.

Diese Arbeit liefert damit insgesamt einen Forschungsbeitrag zum Schülervorwissen und Präkonzepten in der Kosmologie und deren Large Scale Assessment. Damit werden verschiedene Möglichkeiten für zukünftige Forschungen zu diesem Thema eröffnet. Zum einen können mit einem geschlossenen Testinstrument Gruppenvergleiche insbesondere hinsichtlich objektiver Ländervergleiche durchgeführt werden. Des Weiteren kann die Wirksamkeit von einzelnen Lerneinheiten als auch Vergleiche verschiedener Lerneinheiten untereinander untersucht werden. Bei einer erfolgreichen Umsetzung der besseren Integration moderner Physik in den Unterricht würden

somit Mittel für eine angemessene Unterrichtsplanung und Verfolgung der Lernfortschritte der Schülerinnen und Schüler in der Kosmologie zur Verfügung stehen. Es wäre in der Tat wünschenswert, dass mehr Menschen ein gewisses Grundwissen über Kosmologie erlangen, die größeren Zusammenhänge erkennen und verstehen, wo wir und alles um uns herum herkommen – nicht zuletzt, um unser alltägliches Leben auf unserem kleinen blauen Planeten mehr wertzuschätzen und dadurch eventuell wichtige Entscheidungen die Gesellschaft betreffend zu überdenken. Beenden möchte ich diese Arbeit daher mit folgendem Zitat von Olga Botner, der früheren IceCube Sprecherin, welches sie bei der NSF (National Science Foundation) Live-Presskonferenz über den Durchbruch bei der Multi-Messenger Astronomie mit Neutrino-Detektion und Gammastrahlen-Observation am 12. Juli 2018 sagte:

„Learning about the universe and understanding the nature is the basis of our society, this is what we are building on. If we were not curious about how nature works, how the universe works, we would still be living in caves and be afraid of the thunder.“

Literaturverzeichnis

- Alonzo, A. C. und Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93(3), 389–421.
- American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for Science Literacy - Project 2061*. Oxford University Press.
- Amin, T. G., Smith, C. L. und Wiser, M. (2014). Student Conceptions and Conceptual Change: Three Overlapping Phases of Research. In Ledermann, N. und Abell, S., *Handbook of research on science education Volume II*, 57–81. Routledge.
- Anderson, C. W. (2007). Perspectives on science learning. In Abell, S. K. und Lederman, N. G., *Handbook of research on science education*, 3–30. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Mahwah.
- Aretz, S., Borowski, A. und Schmeling, S. (2016). A fairytale creation or the beginning of everything: Students' pre-instructional conceptions about the Big Bang theory. *Perspectives in Science*, 10, 46–58.
- Aretz, S., Borowski, A. und Schmeling, S. (2017). Development and Evaluation of a Construct Map for the Understanding of the Expansion of the Universe. *Science Education Review Letters*, 2017, 1–8.
- Astronomical Society of the Pacific (2018). Verfügbar unter <https://www.astrosociety.org/education/astronomy-resource-guides/cosmology-the-origin-evolution-ultimate-fate-of-the-universe/>, abgerufen am 12.02.2019.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Ayas, A., Özmen, H. und Çalik, M. (2010). Students' Conceptions of the Particulate Nature of Matter at Secondary and Tertiary Level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 165–184.

- Bailey, J. M. (2006). *Development of a concept inventory to assess students' understanding and reasoning difficulties about the properties and formation of stars*. Dissertation, University of Arizona.
- Bailey, J. M., Coble, K., Cochran, G., Larrieu, D., Sanchez, R. und Cominsky, L. R. (2012). A Multi-Institutional Investigation of Students' Preinstructional Ideas About Cosmology. *Astronomy Education Review*, 11(1).
- Baker, D. und Taylor, P. C. S. (1995). The effect of culture on the learning of science in non-western countries: the results of an integrated research review. *International Journal of Science Education*, 17(6), 695–704.
- Bardar, E. M., Prather, E. E., Brecher, K. und Slater, T. F. (2007). Development and validation of the light and spectroscopy concept inventory. *Astronomy Education Review*, 5(2), 103–113.
- Baumert, J., Bos, W. und Lehmann, R. (2000). *TIMSS/III Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn, Band 2 Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe*. Leske + Budrich.
- Bond, T. G. und Fox, C. M. (2015). *Applying the Rasch model: Fundamental measurement in the human sciences*. Routledge, Taylor and Francis Group.
- Bortz, J. und Döring, H. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. und Cocking, R. R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. National Research Council, Washington, DC.
- Briggs, D. C. und Alonzo, A. C. (2012). The psychometric modeling of ordered multiple-choice item responses for diagnostic assessment with a learning progression. In Alonzo, A. und Gotwals, A. W., *Learning progressions in science: Current challenges and future directions*, 293–316. Rotterdam: Sense Publishers.
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C. und Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11(1), 32–63.
- Cambridge University Press (2014). Cambridge Dictionaries Online. Verfügbar unter <http://dictionary.cambridge.org/de/worterbuch/englisch/preconception>, abgerufen am 12.02.2019.
- Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 629–637.

- Chalmers, R. P. (2012). mirt: A multidimensional item response theory package for the R environment. *Journal of Statistical Software*, 48(6), 1–29.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E. und Anderson, J. H. (1980). Factors Influencing the Learning of Classical Mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074–1079.
- Cohen, R., Eylon, B. und Ganiel, U. (1983). Potential Difference and Current in Simple Electric Circuits: A Study of Students' Concepts. *American Journal of Physics*, 5(5), 407–412.
- Duit, R. (1995). Vorstellungen und Lernen von Physik und Chemie. Zu den Ursachen vieler Lernschwierigkeiten. *PLUS LUCIS. Verein zur Förderung des Physikalischen und Chemischen Unterrichts*, 2, 11–18.
- Duit, R. (2009). *STCSE - Bibliography - Students and teachers conceptions and science learning*. Kiel, Germany: IPN - Leibniz Institute for Science and Mathematics Education.
- Eckstein, S. G., Kozhevnikov, M. und Lesman, T. (1993). *Development of Alternative Conceptions of Motion: A Comparison of Pupils' Responses in Three Countries*. The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Ithaca, NY.
- Erickson, G. L. (1979). Children's Conceptions of Heat and Temperature. *Science Education*, 63(2), 221–230.
- Gómez, E. J., Benarroch, A. und Marín, N. (2006). Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(6), 577–598.
- Grossberg, S. (1982). *Studies of mind and brain*. Dordrecht, Holland: D. Reidel.
- Gunstone, R. und Watts, D. M. (1985). Force and Motion. In Driver, R., Guesne, E. und Tiberghien, A., *Children's Ideas in Science*, 85–104. Open University Press.
- Hadenfeldt, J. C. und Neumann, K. (2012). Die Erfassung des Verständnisses von Materie durch Ordered Multiple Choice Aufgaben. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 317–338.
- Haladyna, T. M., Downing, S. M. und Rodriguez, M. (2002). A review of multiple-choice item-writing guidelines for classroom assessment. *Applied Measurement in Education*, 15(3), 309–334.

- Hansson, L. und Redfors, A. (2006). Swedish Upper Secondary Students' Views of the Origin and Development of the Universe. *Research in Science Education*, 36(4).
- Hartig, J., Frey, A. und Jude, N. (2007). Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. In Moosbrugger, H. und Kelava, A., *Validität*, 135–163. Springer Verlag.
- Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (n.d.). Verfügbar unter <https://www.cfa.harvard.edu/education/curric.html>, abgerufen am 12.02.2019.
- Isa, A. M. und Maskill, R. (1982). A Comparison of Science Word Meaning in the Classrooms of Two Different Countries: Scottish Integrated Science in Scotland and in Malaysia. *British Journal of Educational Psychology*, 52, 188–198.
- Jung, W. (1978). Zum Problem der Schülervorstellungen (1. Teil). *physica didactica*, 5, 125–146.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie*, 34(13), 2–6.
- Kahnt, M. und Thesing, A. (2010). Schülervorstellungen zur Kosmologie. In Höttecke, D., *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik*, 263–265. LIT Verlag Münster.
- Kaiser, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141–151.
- Kane, M. T. (2001). Current concerns in validity theory. *Journal of Educational Measurement*, 38(4), 319–342.
- Kiefer, T., Robitzsch, A. und Wu, M. (2013). TAM Tutorials. Verfügbar unter <http://www.edmeasurementsurveys.com/TAM/Tutorials/>, abgerufen am 12.02.2019.
- Knorr, P., Schramm, K. und Feick, D. (2012). Datenerhebung durch Lautes Denken und Lautes Erinnern in der fremdsprachendidaktischen Empirie. In Doff, S., *Fremdsprachenunterricht empirisch erforschen. Grundlagen - Methoden - Anwendung*, 184–217. Narr Francke Attempto Verlag.
- Kragh, H. (2011). On modern cosmology and its place in science education. *Science & Education*, 20, 343–357.
- Kragh, H. (2012). Cosmology and Science Education: Problems and Promises. *arXiv:1212.1592 [physics.hist-ph]*.

- Kristyanto, S. B. und Berg, E. v. d. (1991). Miskonsepsi siswa SMP dan SMA mengenai suhu dan bahang (Alternative conceptions of heat and temperature of junior and senior secondary students' - in Indonesian). *Kritis*, 5(3), 65–79.
- Kulgemeyer, C. (2010). *Physikalische Kommunikationskompetenz. Modellierung und Diagnostik*. Berlin: Logos.
- Kultusministerkonferenz: Bildungspläne / Lehrpläne der Länder im Internet (2018). Verfügbar unter <https://www.kmk.org/dokumentation-statistik/rechtsvorschriften-lehrplaene/uebersicht-lehrplaene.html>, abgerufen am 12.02.2019.
- Laherto, A. (2013). Informing the development of science exhibitions through educational research. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 3(2), 121–143.
- Larkin, D. (2012). Misconceptions about “misconceptions”: Preservice secondary science teachers’ views on the value and role of student ideas. *Science Education*, 96(5), 927–959.
- Lawson, A. E. (2004). The nature and development of scientific reasoning: a synthetic view. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 307–338.
- Lin, J., Chu, K. und Meng, Y. (2010). Distractor rationale taxonomy: Diagnostic assessment of reading with Ordered Multiple-Choice items. Paper presented at the annual meeting of American Educational Research Association, Denver, Colorado.
- Liu, S. C. (2005). Models of “The Heavens and the Earth”: An Investigation of German and Taiwanese Students’ Alternative Conceptions of the Universe. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3, 295–325.
- Longford, N. T., Holland, P. W. und Thayer, D. T. (1993). Stability of the MH D-DIF statistics across populations. In Holland, P. W. und Wainer, N. H., *Differential item functioning*, 67–113. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lynch, P. P. (1996). Students’ alternative frameworks for the nature of matter: a cross-cultural study of linguistic and cultural interpretations. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(6), 743–752.
- Maskill, R., Cachapuz, A. und Koulaidis, V. (1997). Young pupils’ ideas about the microscopic nature of matter in three different European countries. *International Journal of Science Education*, 19(6), 631–645.

- Maydeu-Olivares, A. (2013a). Goodness-of-fit assessment of Item Response Theory models. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 11(3), 71–101.
- Maydeu-Olivares, A. (2013b). Why should we assess the goodness-of-fit of IRT models? *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 11(3), 127–137.
- Maydeu-Olivares, A. und Joe, H. (2006). Limited information goodness-of-fit testing in multidimensional contingency tables. *Psychometrika*, 71, 713–732.
- Maydeu-Olivares, A. und Joe, H. (2014). Assessing approximate fit in categorical data analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 49(4), 305–328.
- Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. In Mey, G. und Mruck, K., *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*, 601–613. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- McDermott, L. C. und Shaffer, P. (1992). Research as a Guide for Curriculum Development: An Example from Introductory Electricity. Part I: Investigation of Student Understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), 994–1003.
- McREL International (2014). Benchmark Standards Database. Verfügbar unter <http://www2.mcrel.org/compendium/>, abgerufen am 12.02.2019.
- Messick, S. (1995). Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons' responses and performances as scientific inquiry into score meaning. *American Psychologist*, 50(9), 741–749.
- Müller, R., Wodzinski, R. und Hopf, M. (2011). *Schülervorstellungen in der Physik*. Aulis Verlag.
- Nobel Media AB (2019). All Nobel Prizes in Physics. NobelPrize.org. Nobel Media AB. Verfügbar unter <https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-physics/>, abgerufen am 12.02.2019.
- Novotny, J. und Svobodova, J. (2015). The main ideas of cosmology at school. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 190, 281–286.
- Paek, I. (2002). *Investigations of Differential Item Functioning: Comparisons Among Approaches, and Extension to a Multidimensional Context*. Dissertation, University of California, Berkeley.
- Prather, E. E., Slater, T. F. und Offerdahl, E. G. (2003). Hints of a Fundamental Misconception in Cosmology. *Astronomy Education Review*, 1(2), 28–34.

- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Verfügbar unter <http://www.R-project.org/>, abgerufen am 12.02.2019.
- Rasch, G. (1981). *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. The University of Chicago Press.
- Robitzsch, A., Kiefer, T. und Wu, M. (2017). TAM: Test analysis modules. R package version 2.8-21. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=TAM>, abgerufen am 12.02.2019.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie – Testkonstruktion (2. Ausgabe)*. Bern: Huber.
- Schecker, H. (1985). *Das Schülervorverständnis zur Mechanik - Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte*. Dissertation, Universität Bremen.
- Schecker, H., Fischer, H. E. und Wiesner, H. (2004a). Kerncurriculum Physik. In Pitton, A., *Chemie- und Physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung*, 126–128. LIT.
- Schecker, H., Fischer, H. E. und Wiesner, H. (2004b). Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In Tenorth, H.-E., *Kerncurriculum Oberstufe II*. Beltz.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. und Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht – Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Spektrum.
- Schoppmeier, F. (2013). *Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe – Entwicklung und Validierung eines Kompetenzstrukturmodells für den Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen.
- Schreiner, C. und Sjøberg, S. (2004). 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, University of Oslo, Dept. of Teacher Education and School Development*.
- Shipstone, D., Rhöneck, C., Kärrqvist, C., Dupin, J. J., Joshua, S. und Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10(3), 303–316.
- Skolverket: Swedish National Agency for Education (2011). Curriculum for the compulsory school, preschool class and the leisure-time centre 2011. *Stockholm 2011*.

- Skolverket: Swedish National Agency for Education (2012). Upper Secondary School 2011. *Stockholm 2012*.
- Smith, R. M. und Miao, C. Y. (1994). Assessing unidimensionality for Rasch measurement. In Wilson, M., *Objective Measurement: Theory into practice (Vol. 2)*, 316–327. Norwood, NJ: Ablex.
- Smoot, G. F. (2011). Educational aspects of cosmology – Global Cosmology Teachers Academy. *The Role of Astronomy in Society and Culture, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 260, 622–628.
- Springel, V. (2017). Kosmischer Kode – Supercomputer modellieren die Entstehung des Milchstraßensystems. *Sterne und Weltraum*, 9, 32–40.
- Stead, B. F. und Osborne, R. J. (1980). Exploring Science Students’ Concept of Light. *The Australian Science Teachers Journal*, 26(2), 84–90.
- Steinmetz, M., Brüggem, M., Burkert, A., Schinnerer, E., Stutzki, J., Tacconi, L., Wambsganz, J. und Wilms, J. (2017). *Denkschrift 2017 – Perspektiven der Astrophysik in Deutschland 2017-2030*. Astronomische Gesellschaft (AG).
- Svobodova, J., Novotny, J. und Jurmanova, J. (2014). How students learn to teach cosmology. In Pixel, *Conference proceedings. New perspectives in science education*, 468–472. libreriauniversitaria.it Edizioni, 2014.
- Thijs, G. D. und Van den Berg, E. (1995). Cultural Factors in the Origin and Remediation of Alternative Conceptions in Physics. *Science & Education*, 3(317–347).
- Trouille, L. E., Coble, K., Cochran, G., Bailey, J. M., Camarillo, C. T., Nickerson, M. und Cominsky, L. R. (2013). Investigating Student Ideas About Cosmology III: Big Bang Theory, Expansion, Age, and History of the Universe. *Astronomy Education Review*, 12(1).
- Trump, S. (2011). *Mathematik in der Physik der Sekundarstufe III!?: Eine Benennung notwendiger mathematischer Fertigkeiten für einen flexiblen Umgang mit Mathematik beim Lösen physikalisch-mathematischer Probleme im Rahmen der Schul- und Hochschulbildung sowie eine systematische Analyse zur notwendigen Mathematik in der Physik der Sekundarstufe II*. Dissertation, Universität Potsdam.
- Trumper, R., Raviolo, A. und Shnersch, A. (2000). A cross-cultural survey of conceptions of energy among elementary school teachers in training - empirical results from Israel and Argentina. *Teaching and Teacher Education*, 16, 697–714.

- van den Berg, E. und Sundaru (1990). Student Ideas on the Velocity of Light. *The Australian Science Teachers Journal*, 36(2), 72–75.
- van Someren, M. W., Barnard, Y. F. und Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method. A practical guide to modelling cognitive processes*. Academic Press.
- Viering, T., Neumann, K. und Fischer, H. E. (2011). Kompetenzentwicklung am Beispiel des Energiekonzepts. In Höttecke, D., *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie*, 196–198. Münster: LIT-Verlag.
- Wallace, C. S. (2011). *An Investigation into Introductory Astronomy Students' Difficulties with Cosmology and the Development, Validation, and Efficacy of a New Suite of Cosmology Lecture-Tutorials*. Dissertation, University of Colorado at Boulder.
- Willoughby, S. D. und Metz, A. (2009). Exploring gender differences with different gain calculations in astronomy and biology. *American Journal of Physics*, 77(7), 651–657.
- Wilson, M. (2005). *Constructing Measures – An item response modeling approach*. Taylor & Francis Group.
- Wilson, M. (2009). Measuring Progressions: Assessment Structures Underlying a Learning Progression. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 716–730.
- Wodzinski, R. (1996). *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*. LIT Verlag Münster.
- Wright, B. D. (1996). Local dependency, correlations and principal components. *Rasch Measurement Transactions*, 10(3), 509–511.

A. Anhang

A.1 Testinstrument

Im Folgenden sind die 20 entwickelten geschlossenen Fragen des Testinstruments zu finden. Darunter befinden sich 15 konventionelle Multiple-Choice Aufgaben zu verschiedenen Themen der Kosmologie sowie fünf Ordered Multiple-Choice Aufgaben zur Expansion des Universums (Aufgaben 4, 5, 9, 11, and 15). Die wissenschaftlich richtige Antwortmöglichkeit ist fett gedruckt. Bei den OMC Aufgaben sind zusätzlich die verschiedenen Level der möglichen Antwortoptionen auf der Grundlage des Verständnisentwicklungsmodells angegeben. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Stichprobe ohne vorherigen Unterricht und sind auf eine Nachkommastelle gerundet. Die addierten Prozentzahlen bei einer Aufgabe ergeben normalerweise nicht genau 100% aufgrund von fehlenden Antworten.

1. Denke an den Urknall. Welches der folgenden Dinge wurde als Folge dieses Ereignisses als Erstes anschließend gebildet?
 - a) Sterne (9,7%)
 - b) Erde (6,2%)
 - c) **Raum (59,6%)**
 - d) Leben (1,6%)
 - e) Galaxien (21,7%)
2. Welche der folgenden Aussagen trifft zu? Die Urknalltheorie ist ...
 - a) ... eine physikalische Theorie bisher ohne Belege. (19,5%)
 - b) ... **eine durch Beobachtungen gestützte physikalische Theorie. (21,9%)**

- c) ... eine bereits physikalisch bewiesene Theorie. (12,5%)
- d) ... eine physikalische Theorie, die nicht bewiesen werden kann. (24,5%)
- e) ... eine physikalische Theorie, die die Gravitation und Quantentheorie vereinigt. (19,8%)

Lasse für folgendes Gedankenexperiment einmal außer Acht, dass wir uns nicht mit Lichtgeschwindigkeit bewegen können und wir eine endliche Lebensdauer haben.

3. Du bist mit einem Raumschiff unterwegs und willst zu einem Punkt des Universums, wo keine Galaxien mehr in Flugrichtung vor dir sind. Ist das möglich?
 - a) **Nein, das Universum ist voll mit Galaxien und besitzt keinen Rand. (24,0%)**
 - b) Nein, jeder Ort im Universum ist in einer Galaxie. (5,5%)
 - c) Ja, hinter dem Rand des Universums sind keine Galaxien mehr vorhanden. (9,6%)
 - d) Ja, Galaxien gibt es nur in unserer näheren Nachbarschaft. (1,6%)
 - e) Nein, es gibt unendlich viele Galaxien und es entstehen ständig neue. (57,4%)
4. Wir leben in einem sich ausdehnenden Universum. Welche der folgenden Aussagen ist richtig? Das Universum wächst immer weiter durch ...
 - a) ... die technischen Fortschritte und neues Wissen. (Level 1; 3,3%)
 - b) **... die Ausdehnung des Raums im Universum. (Level 4; 64,0%)**
 - c) ... die Ausbreitung von allen Galaxien in den Raum. (Level 3; 18,1%)
 - d) ... die Neuentstehung von Himmelskörpern. (Level 1; 10,6%)
 - e) ... die Vergrößerung der Umlaufbahnen von Planeten. (Level 2; 2,2%)
5. Begründung: (von Frage 4):
 - a) Durch die Kreisbewegung um Sterne wandern die Planeten immer weiter weg und die Abstände vergrößern sich. (Level 2; 4,1%)
 - b) Durch die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Galaxien bewegen sie sich in alle Richtungen in den Raum hinein. (Level 3; 20,4%)
 - c) **Durch das Ausdehnen des Raums selbst nimmt er alle Galaxien mit, wodurch sie sich immer weiter voneinander entfernen. (Level 4; 52,3%)**

- d) Durch immer bessere Teleskope und schnellere Computer dehnt sich das Wissen über unser Universum aus. (Level 1; 7,8%)
 - e) Durch Materieansammlungen entstehen neue Himmelskörper, die mehr Raum in Anspruch nehmen. (Level 1; 13,5%)
6. Welche der folgenden Dinge geben einen Hinweis auf die Richtigkeit unseres heutigen Verständnisses der Entwicklung des Universums?
- a) Die Existenz der heutigen Lebewesen und die Evolution. (24,9%)
 - b) **Die Ausdehnung des gesamten Universums. (31,6%)**
 - c) Wissenschaftliche Dokumentationen in den Medien. (4,3%)
 - d) Es gibt keine unterstützenden Hinweise. (8,6%)
 - e) Kollisionen von Meteoriten und Kometen im Universum. (28,0%)

Die Fragen 7), 8) und 9) beziehen sich auf die folgende Situation: Zwei sehr weit voneinander entfernte Galaxien X und Y gehören zu einem sich ausdehnenden Universum. Bewohner der Galaxie X sehen heute in Galaxie Y einen Stern explodieren. Sie finden heraus, dass das Licht dieser Explosion 8 Milliarden Jahre bis zu ihnen gebraucht hat. Dabei ist ein Lichtjahr die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt.

7. Wie weit sind Galaxie X und Galaxie Y heute voneinander entfernt, wenn Galaxie X den explodierenden Stern sieht?
- a) Weniger als 8 Milliarden Lichtjahre. (6,0%)
 - b) Genau 8 Milliarden Lichtjahre. (27,1%)
 - c) **Mehr als 8 Milliarden Lichtjahre. (34,7%)**
 - d) Das hängt von den Geschwindigkeiten der Galaxien im Raum ab. (18,9%)
 - e) Es existieren nicht genug Informationen, um das beantworten zu können. (12,4%)
8. Wie weit waren Galaxie X und Galaxie Y damals voneinander entfernt, als der Stern in Galaxie Y explodierte?
- a) **Weniger als 8 Milliarden Lichtjahre. (26,2%)**
 - b) Genau 8 Milliarden Lichtjahre. (33,5%)
 - c) Mehr als 8 Milliarden Lichtjahre. (8,9%)
 - d) Das hängt von den Geschwindigkeiten der Galaxien im Raum ab. (15,5%)
 - e) Es existieren nicht genug Informationen, um das beantworten zu können. (15,3%)

9. Begründung (von Frage 8):

- a) Der Abstand der beiden Galaxien ändert sich im Wesentlichen nicht im Laufe der Zeit. (Level 1; 10,1%)
- b) Beide Galaxien breiten sich durch ihre Bewegungen im Raum in verschiedene Richtungen aus. (Level 3; 20,8%)
- c) **Durch die Raumausdehnung vergrößert sich der Abstand der beiden Galaxien. (Level 4; 39,8%)**
- d) Man weiß nicht, wie sich die Geschwindigkeiten der beiden Galaxien mit der Zeit verändert haben. (Level 1; 23,0%)
- e) Beide Galaxien bewegen sich durch die Gravitation mit der Zeit aufeinander zu. (Level 1; 4,6%)

10. Was verbindest du am ehesten mit „dunkler Materie“?

- a) Raum zwischen Himmelskörpern (4,0%)
- b) Materie in Schwarzen Löchern (34,9%)
- c) Materie aus Antiteilchen (32,2%)
- d) Reste von Sternexplosionen (6,9%)
- e) **Nicht sichtbare Materie (20,4%)**

11. Stell dir einen Lichtstrahl vor, der durch das Universum reist. Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

- a) Die Reise des Lichtstrahls von Galaxie zu Galaxie dauert immer länger, da sich die Galaxien immer tiefer in den Raum hinein bewegen. (Level 3; 25,3%)
- b) Bei der Navigation in einer Galaxie muss der Lichtstrahl ständig seinen Kurs anpassen, da sich alles innerhalb einer Galaxie immer weiter voneinander entfernt. (Level 2; 40,3%)
- c) Der Lichtstrahl erstellt eine Karte des Universums, die man ohne weitere Berechnungen in der Zukunft verwenden kann. (Level 1; 5,2%)
- d) Der Lichtstrahl kann fast überall hingelangen, nur nicht zum Zentrum des Universums, da sich alles von dort weg in den Raum hinein bewegt. (Level 3; 15,9%)
- e) **Mit der Zeit verändert sich die Farbe des Lichtstrahls, da sich der Raum immer weiter ausdehnt. (Level 5; 11,2%)**

12. Der Urknall ist ein entscheidendes Ereignis in der Vergangenheit, welcher bis zu unserer heutigen Existenz führte. Spannend ist, was davor war. Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft ...
- a) ... existierte ein leerer Raum ohne Materie. (14,6%)
 - b) ... existierte vorher nichts. (14,5%)
 - c) ... existierten kleinste Materieteilchen und Energie. (42,1%)
 - d) **... kann man dies durch Beobachtungen nicht beantworten. (20,2%)**
 - e) ... existierte ein anderes Universum. (7,3%)
13. Welche Kombinationen von Beobachtungen unterstützen die Urknalltheorie am besten?
- a) neu entstehende Himmelskörper, explodierende Sterne und die Expansion (44,8%)
 - b) Dokumentationen im Fernsehen, Fachliteratur und andere Medien (2,1%)
 - c) physikalische Theorien, Experimente in Labors und Teilchenbeschleuniger (29,2%)
 - d) **die Elementhäufigkeiten, die Expansion und die kosmische Hintergrundstrahlung (14,1%)**
 - e) Funde von Fossilien, Vulkane und die verschiedenen Erdschichten (7,5%)
14. Wie schätzt du das Alter des Universums ein?
- a) Etwa 1 Milliarde Jahre. (0,7%)
 - b) **Etwa 15 Milliarden Jahre. (21,4%)**
 - c) Etwa 150 Milliarden Jahre. (30,4%)
 - d) Das Universum ist unendlich alt und existiert schon immer. (11,6%)
 - e) Das Alter kann man nicht bestimmen, man weiß es daher nicht. (34,9%)
15. Häufig wird davon gesprochen, dass sich das Universum ausdehnt. Was passiert, wenn ein Lichtsignal zu einer zu diesem Zeitpunkt 700 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie reist?
- a) Es kommt nach 700 Millionen Jahren dort an, da es mit Lichtgeschwindigkeit fliegt. (Level 1; 10,9%)
 - b) Es benötigt weniger als 700 Millionen Jahre um dort anzukommen, da sich alles mit der Zeit aufgrund der Gravitation aufeinander zu bewegt. (Level 1; 6,7%)

- c) Es benötigt mehr als 700 Millionen Jahre um dort anzukommen, da die Entfernung der Galaxie durch ihre Bewegung im Raum in der Zwischenzeit zugenommen hat. (Level 3; 34,2%)
 - d) **Es benötigt mehr als 700 Millionen Jahre um dort anzukommen, da die Entfernung nicht innerhalb aber zwischen den Galaxien aufgrund der Ausdehnung des Raums in der Zwischenzeit zugenommen hat. (Level 5; 38,8%)**
 - e) Es wird nie dort ankommen, da sich der Raum zu schnell ausdehnt, als dass es die Galaxie je erreichen könnte. (Level 4; 7,5%)
16. Betrachte das Universum als Gesamtes. Wodurch hat es sich mit der Zeit am meisten verändert?
- a) Durch Kollisionen von Himmelskörpern ist Materie verteilt worden. (41,7%)
 - b) Die Durchmesser von Sonnensystemen sind immer größer geworden. (5,5%)
 - c) Die Rate der Neuentstehung von Sternen und Planeten ist gewachsen. (16,7%)
 - d) **Das Universum ist gewachsen und hat sich immer weiter abgekühlt. (28,0%)**
 - e) Das Universum hat sich im Wesentlichen nicht verändert. (6,8%)
17. Im Universum beobachten wir hauptsächlich Wasserstoff (ca. 75%) und Helium (ca. 25%). Liefert diese Beobachtung einen Beitrag zur Unterstützung der Urknalltheorie?
- a) **Ja, da die Theorie genau die beobachteten Prozentzahlen vorhersagt. (14,7%)**
 - b) Nein, dabei helfen nur Forschungsergebnisse insbesondere an Teilchenbeschleunigern. (30,1%)
 - c) Nein, dabei helfen nur Beobachtungen der Bildung verschiedener Himmelskörper wie Planeten. (20,3%)
 - d) Nein, dafür braucht man die Datierung von Fossilien und Gesteinsschichten auf der Erde. (7,1%)
 - e) Nein, es gibt momentan keine unterstützenden Beobachtungen in diesem Zusammenhang. (25,1%)

18. Gibt es ein Zentrum des Universums?
- a) **Nein. Der Urknall war überall. (10,6%)**
 - b) Ja. Aber es bewegt sich ständig. (17,8%)
 - c) Ja. Es ist aber aufgrund der großen Entfernung nicht erreichbar. (17,2%)
 - d) Ja. Das Zentrum ist überall, da das Universum unendlich groß ist. (21,4%)
 - e) Vielleicht. Es ist noch nicht erforscht, ob es ein Zentrum gibt oder nicht. (31,3%)
19. Was ist denn eigentlich diese kosmische Hintergrundstrahlung? Sie ist die Strahlung ...
- a) ... aus der Erdatmosphäre, erzeugt durch den Eintritt von Meteoren. (6,5%)
 - b) ... von Prozessen im Universum, bei denen radioaktive Stoffe produziert werden. (26,5%)
 - c) ... von der Sonne, erzeugt durch die inneren Fusionsprozesse. (24,3%)
 - d) ... von Schwarzen Löchern, wenn Materie in sie hinein fällt. (15,6%)
 - e) **... aus der Frühzeit des Universums als sich neutrale Atome bildeten. (23,8%)**
20. Was verbindest du am ehesten mit „dunkler Energie“?
- a) Energie von Gravitationswellen (5,6%)
 - b) **Energie der beschleunigten Ausdehnung des Raums (11,3%)**
 - c) Energie der Dunklen Materie (49,5%)
 - d) Energie von wachsenden Schwarzen Löchern (26,4%)
 - e) Energie aus der der Urknall entstand (4,4%)

A.2 Artikel und Tagungsbandbeiträge

A.2.1 Artikel

Aretz, S., Borowski, A. und Schmeling, S. (2016). A fairytale creation or the beginning of everything: Students' pre-instructional conceptions about the Big Bang theory. *Perspectives in Science*, 10 (S. 46-58). DOI: 10.1016/j.pisc.2016.08.003

Aretz, S., Borowski, A. und Schmeling, S. (2017). Development and Evaluation of a Construct Map for the Understanding of the Expansion of the Universe. *Science Education Review Letters*, Volume 2017 (S. 1-8). DOI: 10.18452/8216

Perspectives in Science (2016) 10, 46–58



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/pisc



A fairytale creation or the beginning of everything: Students' pre-instructional conceptions about the Big Bang theory



Sarah Aretz^{a,b,*}, Andreas Borowski^b, Sascha Schmeling^a

^a CERN, 1211 Genève 23, Switzerland

^b University of Potsdam, Department of Physics and Astronomy, Karl-Liebknecht-Str. 24/25, 14476 Potsdam-Golm, Germany

Received 11 February 2016; received in revised form 22 July 2016; accepted 10 August 2016
Available online 14 October 2016

KEYWORDS

Big Bang theory;
Cosmology;
Students'
pre-instructional
conceptions;
Open-ended
questionnaire;
Qualitative data
analysis;
Transferability of
results

Summary The beginning of the universe, the Big Bang, being an important subdomain in cosmology, marks the very beginning of space and time. Therefore, it has formed the modern scientific worldview. Transferring this to students through science teaching is a frequent request in science literacy discussion (e.g., [American Association for the Advancement of Science, 1993](#); [Schecker et al., 2004](#)).

However, it is not yet clear in science education if students' conceptions about the Big Bang vary by nationality, and therefore, if it is possible to apply the same teaching modules to students from different countries, who may have diverse social and cultural backgrounds and different curricula. These conceptions with which students enter the classroom were investigated in our study. We implemented an open-ended questionnaire survey in Germany, with questions based on recent U.S. studies. The results clearly showed, with high interrater reliabilities, widespread misconceptions like the Big Bang being an explosion of preexisting matter into empty space or the universe having a centre. Furthermore, a comparison of results from researchers in the USA, Sweden and Germany allowed us to identify differences in students' conceptions between the countries. Our findings appear to indicate that German students have slightly better pre-instructional conceptions about the Big Bang theory.

© 2016 Published by Elsevier GmbH. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introduction

A commonly used and important research method in the field of science education for building teaching modules in different subjects is the prior investigation of students' conceptions ([Ausubel, 1968](#); [Anderson, 2007](#)). These must be

* Corresponding author at: CERN, 1211 Genève 23, Switzerland.
E-mail address: sarah.aretz@cern.ch (S. Aretz).

taken seriously and should be used as the basis for developing teaching modules to help students move toward a better understanding of the current knowledge in science. Since it is often stated that the student's mind is not a blank slate on which new information can just be written (e.g. Bransford et al., 2000), we can help students and support them in effective learning by building upon their existing conceptions. As an example, in the U.S. teaching materials "designed to help [...] science teachers assess their students' existing conceptions and incorporate knowledge of them into planning lessons" are regularly published by the National Science Teachers Association (Larkin, 2012, p. 928).

On behalf of the ministers of education and cultural affairs of the German states, Schecker et al. (2004) suggested recommendations for designing physics lessons for upper secondary schools. These suggestions contain the development of a deepened understanding of the modern worldview including astrophysics and cosmology as core content of physics education in upper secondary school. Apparently, there is a need for education development concerning better approaches for teaching certain topics in modern physics such as cosmology (Schecker et al., 2004). Furthermore, the interest of young people in the domain of astrophysics and cosmology is above-average as stated in the Relevance of Science Education (ROSE) study (Schreiner and Sjøberg, 2004). One result is students' strikingly high interest in astrophysics and the universe, irrespective of their country or gender. In addition, teaching about scientific working methods and the concepts of Nature of Science (NOS) can be well illustrated by means of cosmology. For example the interaction between experimental and theoretical physics concerning the pillars of the Big Bang theory can be demonstrated, that is, how theory is adjusted according to observations or how experimental data are proving predictions already made by theory. A second example is the use of combinations of different disciplines of physics to make predictions and receive results. To discover the expansion of the universe, distances have to be measured, spectra have to be analyzed and hence the velocities of the galaxies calculated, by which they are moving away from us due to expanding space. For this optical physics, atomic physics, relativistic elements and astrophysics for stellar evolution (to gain distances e.g., for pulsating stars or supernovae) is needed. Cosmology is one of the very few areas in physics, where you cannot perform any direct experiments. Nevertheless, many discoveries have been made due to the successful interaction of various areas of physics. Furthermore, this area shows the change and provisional nature of scientific worldviews. Our knowledge is not fixed but changes constantly with new discoveries. All these various aspects therefore show the relevance of cosmology in education.

CERN – one of the world's largest international research centres focused on particle physics – also places great importance on education. Given that the Big Bang theory strongly influences the modern scientific worldview, and cosmology represents the connection between particle physics and astrophysics, CERN intends to develop a teaching module for cosmology in different languages. But what are the students' pre-instructional conceptions in that area and is it possible to use the same module in different countries?

The Big Bang has little to do with everyday life, therefore, it can be expected that a wide range of ideas will be formed. Currently, there is a lack of scientific research concerning students' pre-instructional conceptions in cosmology. The results of our study will help to fill this gap and to build a teaching module for cosmology.

Research background

The importance of students' conceptions

A student's conception is an idea of a fact, process or concept she or he has, based on experiences in everyday life, instruction, media and so on. A pre-instructional conception or preconception is "an idea or opinion formed before enough information is available to form it correctly" (Cambridge University Press, 2014). The study of students' conceptions and their change is a wide field of research, as demonstrated by a regularly updated bibliography containing thousands of publications (Duit, 2009). This field has developed into a focus in physics education research (Schecker, 1985; Bransford et al., 2000; Larkin, 2012). In the opening pages of his textbook on educational psychology Ausubel (1968) wrote: "If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly" (p. vi). Even young children cannot be considered as "tabula rasa", therefore, ideas cannot just be imparted; for the development of learning provisions the learner's whole cognitive organization should be known (Jung, 1978). Students entering the classroom normally have already developed deeply embedded conceptions constructed on the basis of everyday experience and informal learning, from sources such as TV, Internet, books or other printed media. Most of these conceptions are not consistent with the scientific view – one origin of many learning difficulties (Duit, 1995; Amin et al., 2014). Duit is stating further that learning chemistry and physics means to actively build knowledge upon the existing conceptions: students can only "see" something new through the filter of already known and familiar things. Furthermore, Duit said that there are also conceptions which are invented "ad hoc", when students are confronted with something new. Nevertheless, these conceptions also have to be taken seriously.

In the last decades, many studies have been conducted in that field of research in physics, mainly on the conceptions of mechanics, energy, electricity and magnetism, heat and temperature, optics and the nature of matter (e.g., Champagne et al., 1980; Gunstone and Watts, 1985; Erickson, 1979; Kristyanto and Berg, 1991; Stead and Osborne, 1980; van den Berg and Osborne, 1990; Cohen et al., 1983; McDermott and Shaffer, 1992; Ayas et al., 2010; Gómez et al., 2006). Müller et al. (2011) present a summary of German literature of students' conceptions in the different areas of physics mentioned above. Furthermore, there are cross-cultural studies such as Trumper et al. (2000), Eckstein et al. (1993), Lynch (1996), Shipstone et al. (1988) and Liu (2005). In general, students' conceptions mostly seem to be similar across countries. "The reported cross-cultural results indicate the similarity of types of alternative

conceptions, not so much their relative *frequencies* in a population of students" (Thijs and Van den Berg, 1995, p. 327). Still it does not seem to be completely clear yet how much influence the cultural background or language really has on the development of concepts and science learning. On the one hand, there are statements like "... culture and differences in man-made aspects of the environment may have only limited influence on the formation or construction of certain physics conceptions" (Thijs and Van den Berg, 1995, pp. 325/326), and on the other hand, "... a student's cultural background is likely to affect their ability to fully comprehend and manipulate scientific concepts" (Baker and Taylor, 1995, p. 698). Therefore, below the issues "culture" and "language" as well as cross-cultural studies will be addressed a little deeper.

Looking at the issue "language", it seems to be uncontroversial that it "has a significant effect on concept interpretation and, therefore, on the learning of science" and "scientific concepts are best learned and understood in the students' mother tongue" (Baker and Taylor, 1995, p. 696). Everyday language can complicate the development of scientifically approved concepts. For example, it includes conceptions, which do not correspond to the modern worldview such as "the sun rises". Sometimes terms are used in physics, which have a different meaning in everyday language, for example, "force" or "energy" (Jung, 1986).

Regarding cultural factors such as the environment, traditional values and beliefs or social structures, they seem to be "very important in the science learning and teaching process" (Thijs and Van den Berg, 1995, p. 329). There are indications that "concept development in school science is affected strongly by social influences, especially students' socially determined preconceptions and predilections. This intuitive life-world knowledge is constructed during students' early childhood socialization and enculturation by significant others" (Baker and Taylor, 1995, p. 697).

Predominantly, cross-cultural studies show the same students' conceptions regardless of their country. Trumper et al. (2000), for example, reported minor differences when comparing the students' conceptions of energy in Israel and Argentina and concluded that the students' conceptions "appear to be independent of the particular culture in which they live" (p. 709). Yet, some cross-cultural studies indicate the existence of differences between countries. In a comparison between Scotland and Malaysia in their students' use of science word meanings covering a range of fundamental concepts (e.g., temperature and liquid), differences are revealed, and seemed "most likely to be brought about by cultural effects rather than by, for example, an ability factor" (Isa and Maskill, 1982, p. 198). Furthermore, as reported in the cross-cultural study of students' alternative frameworks for the nature of matter of Lynch (1996), "[t]he evidence from this study and from previous studies in the series would suggest that many alternative frameworks are linguistically and/or culturally determined" (p. 750). Concerning the development of alternative conceptions of motion in Australia, England and Israel, Eckstein et al. (1993) reported that the same categories of answers could be found in all three countries but the development of concepts of motion showed "substantial differences between Australia and England on the one hand, and Israel on the other hand" (p. 38). Maskill et al. (1997) investigated young pupils' ideas

about the microscopic nature of matter in the UK, Portugal and Greece. Comparing the data of the three countries, they found that "there are clear cultural differences in the other dimensions of meaning attached to the words tested" (p. 641). Looking at a survey dealing with alternative conceptions of the universe of German and Taiwanese students before instruction, Liu (2005) found that there are some differences revealed. First the results indicated that "the students presented their ideas in a consistent manner, regardless of their cultural backgrounds" (p. 295). However, as "for the difference between the sample of two countries, the German students show more intention... to explain astronomical phenomena than their Taiwanese counterparts, and thereby presented more precise models with stronger explanatory power" (p. 295). As to where the students developed their pre-instructional conceptions from of the earth model, Liu said that "they seem to have frequently received the relevant information from various sources (TV, books, parents, peers, etc.)" (p. 322).

Therefore, this informal learning could influence the development of pre-instructional conceptions in topics (e.g., cosmology), which are further away from everyday life and where no other "learning possibility" – especially no instruction, for example, by a teacher – is provided. This factor might be different depending on the country and could hence lead to cross-cultural differences. This is in contrast to other fields of physics, where there seems to be no significant indications of differences concerning pre-instructional conceptions and cultural factors only seem to have an impact on the effectiveness of instruction in remedying wrong concepts. Preconceptions which have very early roots in childhood and are "related to sensory experiences, as most physics preconceptions... might be universal", but those as in cosmology should develop later and such conceptions "are more susceptible to linguistic and cultural influences" (Thijs and Van den Berg, 1995, p. 339). Subsequently, for cross-cultural teaching modules, it is possible "that teaching materials designed for children whose thoughts and ideas have developed in one culture will be inappropriate for children in another" (Isa and Maskill, 1982, p. 188).

Knowing the students' conceptions: what to do with it? Jung (1986) spoke about direct and indirect help for the teacher. Indirect help is, for example, the possibility for a teacher, to prepare himself in much more detail for a dialogue with a student, in which he or she can give the student insights into the relations between everyday knowledge and scientific knowledge. This might be necessary to prevent a relapse into alternative pre-instructional conceptions after instruction. Direct help is, according to Jung, to adjust instruction based on the students' conceptions. This is realizable in three different ways. The teacher can choose such conceptions as connections, which barely collide or do not collide at all with the scientific view. As an example for this, Jung suggested starting with solar cells as an inexhaustible voltage source instead of batteries while teaching electricity. Students' widespread conceptions of batteries include the idea of stored electricity in batteries, which is then being consumed. In order to avoid this source of misconception, it is advisable to start differently. Another possibility is to directly confront students with the different incompatible perspectives, for example, with an unexpected result of

an experiment. The third approach is the tactic of reinterpretation. The teacher starts with the students' conception and brings about a comprehensive restructuring (conceptual change). Students' conceptions are not changed by a single correct explanation, instead it is a process, which can continue for several years. Another option to incorporate students' conceptions into the classroom is an appropriate selection and implementation of instructional media, specific tasks, or examples (Wodzinski, 1996).

Students' conceptions in cosmology

So far, research in cosmology in the age range from high school to the beginning of university or college has been limited to the U.S. (Prather et al., 2003; Wallace, 2011; Bailey et al., 2012; Trouille et al., 2013) and two studies in Germany (Kahnt and Thesing, 2010) and Sweden (Hansson and Redfors, 2006). At present, no comparable survey of students' conceptual cosmology knowledge exists (Wallace, 2011).

Prather et al.'s (2003) study of misconceptions of cosmology prior to instruction involved 961 students including 607 from middle school, 177 from high school (male-only), and 177 from college. They were asked if they had heard about the Big Bang theory and, if so, to describe it. For the question about what existed or occurred just before the Big Bang, a different group of 133 college students were asked the same question, also prior to instruction. The answers were then analyzed inductively. The results showed that 42% of high school and 51% of college students (numbers rounded to the nearest percent) saw the Big Bang theory as a theory describing the creation of the universe; 24% in both groups saw the Big Bang as a theory describing the creation of planetary systems and furthermore, 29% and 42% respectively, believed that the Big Bang was an explosion of some kind. Furthermore, 69% of the 133 college students believed that some configuration of matter existed before the Big Bang. There were clearly differences in these results because of the age differences in the sample. A difficulty in using the results of the high school and college students for a comparison with those of our study was due to some missing data in a more detailed presentation of the categories found as well as the fact that the high school sample consisted only of males.

More than 2300 students in three different terms of the general education introductory astronomy course (Astro 101) took part in the extensive study of Wallace (2011). Every item under consideration for this study was answered by about 560 students. Scoring rubrics were constructed when they had collected all the responses, so they "are therefore based on a detailed, iterative, qualitative analysis of actual student responses" (Wallace, 2011, p. 68). The results revealed common misconceptions like the Big Bang being an explosion of preexisting matter into empty space or that all matter flies away from a centre into already existing regions of space. Additionally, some students considered the "expansion of the universe" as an increase of knowledge caused by new discoveries.

In another U.S. study (Bailey et al., 2012), between 219 and 239 students — respectively of Astro 101 and introductory cosmology courses in college or university — answered some of the questions considered for our study. The answers

were then analyzed in an "iterative, constant comparative process of open coding" (Bailey et al., 2012, p. 7). Furthermore, similar to the results in Wallace's study, about 50% of the students in Bailey et al.'s study stated that the Big Bang was an explosion of some kind; a minority (5%) also said the Big Bang theory was the dinosaur extinction event. Concerning the evidence for the Big Bang theory, about 15% mentioned the expansion, just 1% the Cosmic Microwave Background, and none the third pillar (abundances of the elements). A significant minority (8%) chose "authority", such as a teacher or scientific media, as evidence. When asked how the universe changes over time, if at all, 31% mentioned the expansion of the universe. Furthermore, more students (21%) said the universe has always existed, or its age being infinite, than those (11%) who gave its right age of 13–15 billion years.

The most recent study in the U.S. in this area was by Trouille et al. (2013) questioning students in introductory astronomy courses. A mixed methods approach was used including interviews, exam questions and homework essays. In the data analysis procedure they "carried out an iterative process of thematic coding to generate a comprehensive list of themes" (Trouille et al., 2013, p. 5). Trouille et al.'s study also revealed some misconceptions such as the Big Bang being an explosion, the Big Bang theory describing the creation of planets and/or the solar system or the universe having always existed.

There were several difficulties concerning a comparison between the results of Trouille et al.'s study and those of our study reported in this article. First of all, different methods were used and the questions for the pre-course homework essays were not separated into different items, so that the students did not have to address all of them. Therefore, only those answers that were addressing that special topic were taken into account for the statistics. Second, some results were obtained after instruction; and for the homework essays, different sources could have been used, and therefore, the results did not necessarily represent the students' conceptions. Third, the sample size was not very large, so it is questionable how representative the results really were.

In the German study by Kahnt and Thesing (2010) 710 students from 7th to 12th grades (of about 12–18 years old) took part. A system of categories was built and 80% of all answers could be categorized with Cohen's Kappa value of 0.77 for interrater agreement (see Bortz and Döring, 2006). About 32% of all the answers to the questions associated with the Big Bang, included the idea of an explosion. While estimating the age of the universe, about 31–41% of the students (depending on their age) stated that the universe has always existed. Unfortunately, there were very few details specified and many results of the answers to the questions were not shown. Additionally, the variance in students' age was quite large, and therefore, their conceptions might change while becoming older as the results concerning the age of the universe already indicated.

The Swedish study of Hansson and Redfors (2006) included 88 students of the last year of upper-secondary school (of normally 18–19 years old). Categories were then constructed inductively. Sixty-three percent of the students mentioned the expansion or growing of the universe as a change and 32% stated that the universe has always existed.

Unfortunately, the questions asked differed slightly from those in the U.S. studies and it is not clear, if some students already have received instruction in cosmological topics before. Furthermore, it was a specific sample since all of the students were attending the natural science program within which all of them chose the most advanced regular physics course.

So there are clearly difficulties when comparing the different results due to the samples with varying age and instructional background, and differing questions and categories, as well as varying methods. Nevertheless, there is a slight indication that differences in students' cosmological conceptions between countries exist, suggesting the need for a continual, systematic investigation. This can provide information about the range of ideas and answer the question of whether there is a need to vary teaching modules for different countries. If the frequencies of the categories in the answers differed significantly, different sequences in a teaching unit as well as different focuses can, for example, be applied, because there is normally only limited time for every topic in school or university. In that manner, it could also be important to know, if some categories only appear in certain countries, in order to create carefully designed instructional sequences.

Research questions and design

The current state of research appears as rather inconclusive, which can result from the following: the use of different questionnaires, differing samples, and differences in informal learning. The third aspect was not investigated, but only the first two aspects were considered, in this study. In order to investigate the assumption, that students' conceptions in cosmology might differ between countries, another representative country had to be chosen, for comparison with the U.S. studies, which were by far the most detailed ones (see last section of this article). For no particular reason, as it could have been any other country, Germany was chosen for the comparison in our study. Only one country was picked because otherwise either the same sample size was needed or variance would have been brought in causing additional effects, which are not easy controllable. Therefore, the following research questions for our study can be derived:

- (1) What are the German students' conceptions about the Big Bang theory?
- (2) Can the results of the German study of [Kahnt and Thesing \(2010\)](#) be replicated?
- (3) To what extent do the German students' conceptions differ from those in other countries?

Sample

We collected and analyzed the data taken from 11th- and 12th-grade classes (16–20 years old) in German schools before any instruction took place, if at all, because the teaching module is intended for students of that age group. Furthermore, this sample of students allows a comparison with other studies because their age differs not too much from students starting college or university. One hundred

twenty-six students aged 16–20 from six classes in schools in three different federal states in Germany took part in the study. Among the schools were five Gymnasiums and a comprehensive school (Gesamtschule). More information about the German school system and school types can be found in [TIMSS Encyclopedia \(2007\)](#).

Questionnaire development

To approach the first research question, eight different open-ended questions were selected, which focused on the Big Bang and the evolution of the universe, since this is one of the major themes in cosmology. For comparability and to answer the third research question, the questions were taken from a larger sample of questions out of four U.S. studies ([Prather et al., 2003](#); [Wallace, 2011](#); [Bailey et al., 2012](#); [Trouille et al., 2013](#)). They were translated into German and then cross-checked by two experts. Shown below is the complete adapted questionnaire for our study in its original form in English:

1. Think about the Big Bang theory and answer the following ([Bailey et al., 2012](#)):
 - (a) Explain the Big Bang theory in your own words.
 - (b) Describe what evidence you think supports the Big Bang theory.
2. Describe what existed or occurred just before the Big Bang ([Prather et al., 2003](#)).
3. Describe how you think the universe changes over time, if at all ([Bailey et al., 2012](#)).
4. Explain, in as much detail as possible, what astronomers mean when they say "the universe is expanding" ([Wallace, 2011](#)).
5. What is the age of the universe? ([Trouille et al., 2013](#))
6. If you could travel to any location in the universe, could you ever see the centre of the universe? Explain your reasoning ([Wallace, 2011](#)).
7. If you could travel to any location in the universe, could you go to a place where there would be no galaxies in front of you? Explain your reasoning ([Wallace, 2011](#)).

The students were asked to complete the questionnaire using their knowledge and/or their ideas in normal class situations under the supervision of their teacher. They should also briefly indicate when they could not provide any answer at all. Completing a questionnaire took between 5 and 30 min with an average of about 14 min (the time was clocked in one of the six classes).

Questionnaire – parameters

Qualitative analysis techniques ([Mayring, 2010](#)) were used for the analysis and interpretation of the students' responses. A disjoint set of categories was developed on the basis of the students' answers, meaning that the categories are independent of each other so that a statement fitting into one category do not fit automatically into another. However, answers can fit into different categories simultaneously, because open answers (answers to open-ended questions) usually include more than one statement. A

Table 1 Number of categories, statements and mean statements per student for each question.

Question	Number of categories	Number of statements	Mean number of statements per student
1a	22	388	3.1
1b	13	150	1.2
2	13	231	1.8
3	13	280	2.2
4	11	191	1.4
5	10	160	1.3
6	16	342	2.7
7	12	266	2.1

statement can be a part of a sentence or a whole sentence, depending on its meaning and the student's linguistic ability. Table 1 shows the number of categories, the number of statements, and the mean number of statements per student for each question.

For example, the answer (translated): "Something has caused a huge explosion so that galaxies could form." contains two statements and is classified into the categories 'Explosion' as well as 'Formation of galaxies'. The percentage of a category corresponds to the proportion of students who mentioned it in their answers. Very often, one answer contained more than one statement and, therefore, could fit into more than one category. Thus, the sum of percentages of all categories of one question usually exceeds 100%. This data analysis procedure in this study was the same as the one used by other researchers, such as Bailey et al. (2012), to allow for comparability.

Comparison of the coding of all open answers with a second coder showed high interrater reliabilities (for more information about the latter see for example Bortz and Döring (2006)). Overall, the range of Cohen's Kappa values was [0.83–1] with three categories having values between [0.74–0.79]. Tables 2 and 3 provide the value of Cohen's Kappa for the categories stated in this article. The categories are presented in the same order as in the following Tables 4–12, which represent the results and are in descending order of percentages except for Table 12 showing the age of the universe. Only the major or most interesting categories are listed here in this article. The answers to Question 2 and 3 could have given better insights with subsequent interviews and therefore are not shown here. For Questions 6 and 7 the most interesting results are shown. For the other questions, all categories with 10% or more are shown plus categories, which revealed some differences in comparison with other studies. For Question 1b, we took 5% and more, because there are not many categories with high percentage values.

Results

Tables 4–8 show the results of the questionnaire survey in our study, including the confidence interval of 95%, which

Table 2 Cohen's Kappa for the different categories of the open-ended questionnaire.

Open-ended questions	Categories	Cohen's Kappa
(1a)	Formation/development of the universe	1
	Explosion of some kind	1
	Formation of celestial bodies, solar systems, galaxies	1
	Collision of particles or bigger objects	0.87–1 ^a
	Expansion of the universe	1
	Formation of particles, atoms, elements	1
	Others (e.g., supernovae)	0.79
	Explicitly talking about a "bang"	0.97
	Existence/release of energy	1
	No answer/idea	1
	Beginning/formation of space and time	1
	Talking about religious aspects/god	1
	No answer/idea	1
	Expansion/Redshift	1
(1b)	Others including non-scientific answers	0.95
	Simulation of the Big Bang in accelerators/experiments	1
	Existence or knowledge about celestial bodies	1
	Cosmic Microwave Background	1
	Logic (e.g., "We exist")	1
	Formation/existence of life, evolution	1
	Observations on earth (e.g., volcanos, fossils)	1
	There is no evidence	1
	Authority (e.g., teacher or scientific media)	1

^a Combination of two categories, therefore two values of Cohen's Kappa.

is derived from the results of six participating schools after Bortz and Döring (2006) as follows:

$$z_{2.5\%} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1.96 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n^2}}.$$

All percentages are rounded to the nearest percent. Clearly most of the confidence intervals are quite wide. This is due to the small sample size from six participating schools each with a single class which contained between 18 and 27 students. Therefore, the results from class to class can differ greatly. As a consequence, working with 95% confidence intervals, the expected significant differences are very low and all interpretations have to be done carefully.

Table 3 Cohen's Kappa for the different categories of the open-ended questionnaire.

Open-ended questions	Categories	Cohen's Kappa
4	Expansion, size of the universe increases over time	0.94
	No answer/idea	1
	Non-scientific answers	0.90
	New discoveries/new knowledge	0.96
	Dilation of space	0.96
	Expansion of matter	0.86
	Single objects are moving apart from each other	0.88
	Others (e.g., energy, gas)	0.88
	Formation of celestial bodies or galaxies	0.94
5	A few billion years	1
	13–15 billion years	1
	One trillion years and more	1
	Inaccurate time specification	0.92
	Always existed/age infinite	0.94
	One cannot determine/know	1
	No answer/idea	1
6 & 7	The universe has a centre	0.98
	The universe has no centre	0.94
	The universe has an edge	1

Concerning the first research question, [Tables 4–8](#) show many conceptions, German students in the sample of our study had about the Big Bang theory. Almost 40% had one of the correct ideas about the Big Bang theory: the formation or development of the universe (see [Table 4](#)). However, almost a third referred to the Big Bang as an explosion. It seems that many of these German students had the conception of a collision of already existing particles or bigger objects (22%), which then led to the Big Bang and expansion of matter into empty space. On the other hand, 7% explicitly mentioned the beginning or formation of space and time; this is not a negligible percentage.

Concerning the evidence for the Big Bang theory (see [Table 5](#)), every fifth student talked about the expansion or redshift, one of the three pillars. Six percent mentioned the Cosmic Microwave Background but no student seemed to have heard of the third evidence, the abundances of the elements in the universe. It is very striking that almost 40% could not provide an answer at all. The category "Simulation of the Big Bang in accelerators/experiments" appearing only in this study might be due to the fact, that the questionnaire was coming from CERN, with which the students might have drawn some connection while answering Question 1b.

When asked the question "Explain, in as much detail as possible, what astronomers mean when they say 'the universe is expanding'." (see [Table 6](#)), 43% stated that the size of the universe increases over time and even 12% talked

Table 4 Associations with the Big Bang theory (answers to question 1a).

Categories	Percentage responses	Confidence interval
Formation/development of the universe	39%	$\pm 11\%$
Explosion of some kind	30%	$\pm 8\%$
Formation of celestial bodies, solar systems, galaxies	28%	$\pm 8\%$
Collision of particles or bigger objects	22%	$\pm 7\%$
Expansion of the universe	19%	$\pm 7\%$
Formation of particles, atoms, elements	18%	$\pm 8\%$
Others (e.g., supernovae)	15%	$\pm 8\%$
Explicitly talking about a "bang"	14%	$\pm 4\%$
Existence/release of energy	12%	$\pm 12\%$
No answer/idea	10%	$\pm 7\%$
Beginning/formation of space and time	7%	$\pm 7\%$
Talking about religious aspects/god	2%	$\pm 2\%$

Table 5 Evidence for the Big Bang theory (answers to question 1b).

Categories	Percentage responses	Confidence interval
No answer/idea	39%	$\pm 9\%$
Expansion/Redshift	20%	$\pm 11\%$
Others including non-scientific answers	16%	$\pm 6\%$
Simulation of the Big Bang in accelerators/experiments	9%	$\pm 3\%$
Existence or knowledge about celestial bodies	7%	$\pm 3\%$
Cosmic Microwave Background	6%	$\pm 5\%$
Logic (e.g., "We exist")	6%	$\pm 6\%$
Formation/existence of life, evolution	5%	$\pm 2\%$
Observations on earth (e.g., volcanos, fossils)	5%	$\pm 6\%$
There is no evidence	1%	$\pm 2\%$
Authority (e.g., teacher or scientific media)	1%	$\pm 1\%$

about dilation of space, which is already a rather abstract concept. But nevertheless, 13% believed that 'expansion' is connected to new discoveries and knowledge in science – an obvious misconception.

Table 6 Meaning of "the universe is expanding" (answers to question 4).

Categories	Percentage responses	Confidence interval
Expansion, size of the universe increases over time	43%	$\pm 16\%$
No answer/idea	19%	$\pm 7\%$
Non-scientific answers	14%	$\pm 6\%$
New discoveries/new knowledge	13%	$\pm 7\%$
Dilation of space	12%	$\pm 7\%$
Expansion of matter	12%	$\pm 7\%$
Single objects are moving apart from each other	11%	$\pm 7\%$
Others (e.g., energy, gas)	10%	$\pm 6\%$
Formation of celestial bodies or galaxies	6%	$\pm 4\%$

Table 7 Age of the universe (answers to question 5).

Categories	Percentage responses	Confidence interval
A few billion years	18%	$\pm 6\%$
13–15 billion years	21%	$\pm 14\%$
One trillion years and more	10%	$\pm 5\%$
Inaccurate time specification	12%	$\pm 7\%$
Always existed/age infinite	6%	$\pm 4\%$
One cannot determine/know	12%	$\pm 8\%$
No answer/idea	10%	$\pm 7\%$

Table 8 Structure of the universe (answers to question 6 and 7).

Categories	Percentage responses	Confidence interval
The universe has a centre	52%	$\pm 7\%$
The universe has no centre	17%	$\pm 6\%$
The universe has an edge	14%	$\pm 5\%$

Concerning the age of the universe (see Table 7), 21% stated an acceptable age (13–15 billion years). Only a small percentage of German students (6%) believed the age being infinite, but at the same time, 12% mentioned that one cannot know or determine the age of the universe. Furthermore, when asked if one could go to a place where there would be no galaxies in front when being able to travel to any location in the universe, around 14% of the German students had the idea of the universe having an edge (see Table 8).

It was also revealed that about 52% of the German students believed the universe has a centre, only 17% stated there is no centre.

Tables 9–12 show this study's results in comparison with those of other previous studies in Germany and the U.S. A comparison is not always possible, because the other studies did not necessarily have used exactly the same categories or questions; or these were not fully mentioned, if at all. In that case, no percentage is provided in our comparison and a dash indicates that there is no possible comparison. In none of the studies, errors are given, only percentage values are provided. They are also rounded to the nearest percent.

To answer the second research question is slightly more difficult. The results of Kahnt and Thesing (2010) can only partly be replicated in our study. The proportion of German students' thinking of the Big Bang as an explosion is very similar with about 30% (see Table 9). The percentage of the association of 'formation/development of the universe' with the Big Bang is also comparable, although there is a slightly greater difference. For the results concerning the students' mention of the expansion of the universe (see Table 9) or the age of the universe being infinite (see Table 12) the difference is much more. Furthermore, the category 'formation of the earth' did not appear at all in this study but there was a large percentage in Kahnt and Thesing's study with about 27%. Unfortunately, not many results can be compared because there are not enough reported details concerning the questions, categories, differences in age or definitions of categories, nor are the reported results complete.

While some results are similar, there is an indication of the differences in students' conceptions across the countries (third research question). Concerning the category 'formation or development of the universe' in Table 9, the percentages vary only slightly, being a little higher in Prather et al.'s (2003) and Wallace's (2011) studies. In Prather et al.'s study, only the data from high school and college is considered here for comparison to ensure comparability concerning the age of the samples. The misconception of the Big Bang being an explosion of some kind is widespread, although the percentages are higher among American students. The lower percentages given in Prather et al.'s as well as in Trouille et al.'s studies compared to Wallace's and Bailey et al.'s studies might be due to the following reasons. The participants in Prather et al.'s study were mixed college students while half were entirely high school males, and some other studies indicated a gender gap in students' conceptions in mathematics and science (e.g., Willoughby and Metz, 2009). The data of Trouille et al.'s (2013) study were from homework essays written by the students not being under supervision of a teacher; and therefore, there was the possibility of students using different sources, which did not necessarily represent their own opinions. The much higher percentage values in Wallace's and Bailey et al.'s studies (53% and 50%, respectively) about the Big Bang as 'an explosion of some kind' compared to the students in two German studies (about 30%) (see Table 9) are not inside the calculated confidence interval [22%; 38%] for that category (see Table 4). Therefore, it is very likely that this difference is not coincidental.

While about twice as many German students as American students mentioned a collision of particles or bigger objects, a higher proportion of German students explicitly

Table 9 Associations with the Big Bang theory (answers to question 1a).

Categories	Kahnt and Thesing (2010) DE	Prather et al. (2003) US	Wallace (2011) US	Bailey et al. (2012) US	Trouille et al. (2013) US	This study (2015) DE
Formation/development of the universe	~ ^a 25–34% ^b	42–51% ^c	44%	33%	77% ^d	39%
Explosion of some kind	~ ¹ 32%	29–42% ^c	53%	50%	35% ^d	30%
Formation of celestial bodies, solar systems, galaxies	~ ¹ 17–44% ^b	24%	—	26%	8% ^d	28%
Collision of particles or bigger objects	—	—	—	9–11% ^b	4% ^d	22%
Expansion of the universe	~ ^a 6%	—	12%	9%	15% ^d	19%
Formation of particles, atoms, elements	—	—	7%	6%	—	18%
Others (e.g., supernovae)	—	20–21% ^c	6%	7%	—	15%
Explicitly talking about a “bang”	—	—	—	—	—	14%
Existence/release of energy	—	—	—	—	—	12%
No answer/idea	—	6–14% ^c	3–6% ^b	13%	—	10%
Beginning/formation of space and time	—	—	2%	1%	—	7%
Talking about religious aspects/god	~ ^a 4%	—	—	—	54% ^d	2%

Note. DE = Germany; US = U.S.

^a Approximation is due to illegibility of histograms.

^b Percent range due to the combination of different categories, where it is not clear if there is an overlap.

^c Percent range due to participants differing in age.

^d Comparison is limited due to the applied method (homework essays).

mentioned the correct association of the beginning or formation of space and time when talking about the Big Bang, although the percentage of the category ‘Beginning or formation of space and time’ varies greatly among the different classes in this study. Furthermore, this study shows the highest percentage of students talking about the expansion of the universe (19%) in comparison with the other studies. The percentage values of the other studies (except Trouille et al.’s study) are lying outside or just on the edge of the confidence interval of [12%; 26%]. Noticeable is also that about three times as many German students in this study (18%) who mentioned the formation of particles, atoms and/or elements as the U.S. students in Wallace’s (7%) and Bailey et al.’s (6%) studies with those values being again outside of the confidence interval of [10%; 26%] (see Tables 4 and 9). The category ‘talking about religious aspects/god’ was only mentioned in Trouille et al.’s study. It is stunning to find that 54% of students in Trouille et al.’s study mentioned it in their homework essays but only 2% of German students in this study did.

Concerning the evidence for the Big Bang theory (see Table 10), German students seem to have slightly better conceptions based on the mean in the categories ‘Expansion/Redshift’ and ‘Cosmic Microwave Background’ – two of the three pillars of the Big Bang theory. ‘Authority’ is a category being mentioned just by one student in this study because scientific media is part of it. Nevertheless, an authority such as a teacher is only brought up in Bailey et al.’s study as well as 6% believing that no evidence exists

in contrast to only one German student stating that. The percentages for these two categories in Bailey et al.’s study are also outside of the corresponding calculated confidence intervals (see Table 5). However, it is striking to find that the third evidence of the Big Bang theory (abundances of the elements in the universe) is mentioned in none of the studies and about one third of the students in two studies cannot provide an answer at all.

Similar differences can be found looking at the meaning of an expanding universe (see Table 11). The percentage of German students, who mention the scientifically correct categories ‘Expansion, size of universe increases over time’ and ‘Dilation of space’, is slightly higher compared to U.S. students, whereas the percentage of German students in the scientifically incorrect categories ‘New discoveries/new knowledge’ and ‘Formation of celestial bodies or galaxies’ is lower. The idea of ‘the expanding universe meaning new discoveries or knowledge’, seems to be a common misconception in both countries with remarkable proportions of 19% (U.S.) and 13% (Germany). In addition, 19% of the German students in this study stated to have no idea or did not give an answer at all – many more than those in Wallace’s study (see Table 11).

Concerning the age of the universe (see Table 12), about twice as many German students in this study who stated an acceptable age (13–15 billion years) as the American students studied by Bailey et al. who did this, although all the values of this category are still inside the confidence interval of [7%; 35%]. Additionally, a remarkable small

Table 10 Evidence for the Big Bang theory (answers to question 1b).

Categories	Bailey et al. (2012) US	This study (2015) DE
No answer	33%	39%
Expansion/Redshift	15–16% ^a	20%
Others including non-scientific answers	31–33% ^a	16%
Simulation of the Big Bang in accelerators/experiments	—	9%
Existence or knowledge about celestial bodies	12%	7%
Cosmic Microwave Background	1%	6%
Logic (e.g., "We exist")	4%	6%
Formation/existence of life, evolution	6%	5%
Observations on earth (e.g., volcanos, fossils)	≥5% ^b	5%
There is no evidence	6%	1%
Authority (e.g., teacher or scientific media)	8%	1%

Note. US = U.S.; DE = Germany

^a Percent range due to the combination of different categories, where it is not clear if there is an overlap.

^b Category in Bailey et al. (2012) included only fossils.

proportion of German students in this study (6%), compared to those in the U.S. studies, believed the age being infinite. It is remarkable that 33% of the U.S. students in Trouille et al.'s study mentioned an infinite age in their homework essays, although they could have used several sources. It is

Table 11 Meaning of "the universe is expanding" (answers to question 4).

Categories	Wallace (2011) US	This study (2015) DE
Expansion, size of universe increases over time	28–38% ^a	43%
No answer/idea	3–5% ^a	19%
Non-scientific answers	1%	14%
New discoveries/new knowledge	19%	13%
Dilation of space	3%	12%
Expansion of matter	—	12%
Single objects are moving apart from each other	—	11%
Others (e.g., energy, gas)	7%	10%
Formation of celestial bodies or galaxies	14%	6%

Note. US = U.S.; DE = Germany

^a Percentage range from the combination of different categories, where it is not clear if there is an overlap.

also very striking to find that all four percentages for this category in the other studies are clearly outside of the confidence interval [2%; 10%] (see Table 7); and therefore, the differences here are very likely not coincidental. Nevertheless, 13% of the students in this study still believed that one cannot know or determine the age of the universe – another obvious misconception.

Table 12 Age of the universe (answers to question 5).

Categories	Kahnt and Thesing (2010) DE	Hansson and Redfors (2006) SE	Bailey et al. (2012) US	Trouille et al. (2013) US	This study (2015) DE
A few billion years	—	—	18%	18% ^a	18%
13–15 billion years	—	—	11%	30% ^a	21%
One trillion years and more	—	—	8%	10% ^a	10%
Inaccurate time specification	—	—	11%	—	12%
Always existed/age infinite	~ ^b 31–41% ^{c, d}	32% ^e	21%	33% ^a	6%
One cannot determine/know	—	—	—	3% ^a	12%
No answer/idea	—	—	29%	—	10%

Note. DE = Germany; SE = Sweden; US = U.S.

^a Comparison is limited due to the applied method (homework essays).

^b Approximation is due to illegibility of histograms.

^c Percent range due to participants differing in age.

^d Comparison is limited due to the lack of knowledge of the exact question.

^e Percentage refers to the students' "own view" and not their stated "physics view".

Discussion

This study was first aimed at revealing students' pre-instructional conceptions around the Big Bang theory. The results shown above can answer the first research question. There clearly exist widespread misconceptions including, for example, the association of the Big Bang with an explosion of some kind, that the Big Bang was caused by a collision of particles or bigger objects, or that the 'expansion of the universe' refers to new discoveries and/or knowledge. Furthermore, only about every fifth student stated the correct age of the universe or the expansion as one of the three pieces of evidence for the Big Bang theory, and almost 40% could not provide any evidence at all. That clearly indicates a lack of knowledge concerning the pillars of the Big Bang theory, which is the basis of our modern worldview and could also give insights into Nature of Science (NOS), as already stated in this article. One reason why none of the students mentioned the abundance of elements as an evidence for the Big Bang theory could be that this requires a previous knowledge of nuclear physics and nucleosynthesis, and basics of the chemical composition of the universe. For students in high school or even at the beginning of university, this is often not the case. Nevertheless, one has to take into account the small sample size in this study, which can just give a hint of German students' existing conceptions (see the Results section and Tables 4–8).

The second research question cannot be answered conclusively. The results of Kahnt and Thesing's study could only be partly replicated but some results differed quite much from those in this study, such as the students' mention of 'expansion' when asked about the Big Bang theory or their statement that the universe has always existed. However, a comparison is not that easy. Kahnt and Thesing's sample had a large range in age; and furthermore, there are not enough details about the published questions, categories, and definitions of categories to enable us to make comparisons in more detail.

The third research question deals with the investigation of the differences in students' conceptions across different countries. As has already been said, students' pre-instructional conceptions are mainly coming from informal learning. Therefore, it has to be investigated in different cultures, where there might be different informal learning possibilities. As pointed out above, there is an indication of some differences by nationality, for example, when comparing the percentage of students' mention of the age of the universe being infinite, or the slight differences concerning the evidence for the Big Bang theory. For the latter, it appears that German students have slightly better pre-instructional conceptions.

However, one has to be careful with interpretations since there are some limitations for an objective comparison. First of all, no uniform survey instrument yet exists in this area and the questions and categories or the definitions of the categories are not always identical or not even known at all. Additionally, the percentages vary greatly across the different classes and semesters in university. Furthermore, the composition of the samples in the different studies vary by age and background. Moreover, the difference of the results between the studies could also at least partly be explained by the time differences of the different surveys, which took

place from the beginning of the 21st century (Prather et al., 2003) up to 2015 (this study). During that time, the way people acquire information on modern science has greatly changed, mainly because of new ways of communication based on the Internet and also better accessibility to information with smartphones, tablets and so on. In addition to this, cosmology is a relatively 'newborn' precision science, which has been evolving rapidly in the last decade and will most likely continue to evolve in the coming years as well, and so will the people's knowledge about cosmology. However, there are indications of some existing differences in students' conceptions in cosmology across the countries, which warrant exploration in more detail. Therefore, I want to end this section with the last sentence in the report of Maskill et al.'s (1997) study:

"Research carried out on any restricted cultural group, as most educational research is... needs to be interpreted very cautiously before being generalised across cultural boundaries" (p. 644).

Conclusions and outlook

The results of this study reported here reveal many different and some widespread pre-instructional conceptions of German students around the Big Bang theory. There is clearly a range of ideas, which students had formed already in their environment probably mostly by informal learning, since normally there was not any instruction for these students so far. This aspect should be investigated further. The Big Bang being an explosion or the age of the universe being infinite are just some of the major misconceptions students have across different countries, for example, the U.S. Also notable is the lack of ideas in some aspects, for example, ideas concerning the evidence for the Big Bang theory. These outcomes should be taken into account when preparing cosmology lessons. Teachers should be aware of that problem to be able to plan lessons accordingly. However, the sample size in this study was small and a larger sample size is needed to confirm our findings.

There is also an indication of some country differences between the U.S. and Germany, which should be analyzed in more detail. This aspect raises the question of the transferability of results in educational research between different countries. If students' conceptions are not directly transferable, how accurately must a sample need to be described in order for the results to be generalisable and transferable? In order to investigate this question, researchers need more details and the exclusion of factors such as the use of different questionnaires or time differences between surveys, as well as a standardized test. Therefore, the next step is the development of a closed test instrument on the basis of the study's results. These closed items do not require a text production but 'only' the selection or assignment of statements, for example, by marking in multiple-choice items. They are economical concerning implementation and evaluation, and therefore, are especially suitable for larger samples. This test will then be applied in studies in several countries with larger samples to ensure the comparability of the results between countries.

Conflict of interest

None of the authors have any conflict of interest.

Acknowledgments

This study is sponsored by the Wolfgang Gentner Programme of the Federal Ministry of Education and Research, Germany.

References

- American Association for the Advancement of Science, 1993. *Benchmarks for Science Literacy – Project 2061*. Oxford University Press.
- Amin, T., Smith, C., Wiser, M., 2014. Student conceptions and conceptual change: three overlapping phases of research. In: Ledermann, N.G., Abell, S.K. (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*. pp. 57–81.
- Anderson, C., 2007. Perspectives on science learning. In: Abell, S.K., Lederman, N.G. (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Mahwah, pp. 3–30.
- Ausubel, D., 1968. *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart, and Winston, New York.
- Ayas, A., Özmen, H., Çalik, M., 2010. Students' conceptions of the particulate nature of matter at secondary and tertiary level. *Int. J. Sci. Math. Educ.* 8, 165–184.
- Bailey, J.M., Coble, K., Cochran, G., Larrieu, D., Sanchez, R., Cominsky, L.R., 2012. A multi-institutional investigation of students: preinstructional ideas about cosmology. *Astron. Educ. Rev.* 11 (1), <http://dx.doi.org/10.3847/AER2012029>.
- Baker, D., Taylor, P., 1995. The effect of culture on the learning of science in non-western countries: the results of an integrated research review. *Int. J. Sci. Educ.* 17, 695–704.
- Bortz, J., Döring, H., 2006. *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Bransford, J.D., Brown, A.L., Cocking, R.R., 2000. *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. National Research Council, Washington, DC.
2014. Cambridge Dictionaries Online. Cambridge University Press <http://dictionary.cambridge.org/de/worterbuch/englisch/preconception>.
- Champagne, A.B., Klopfer, L.E., Anderson, J.H., 1980. Factors influencing the learning of classical mechanics. *Am. J. Phys.* 48, 1074–1079.
- Cohen, R., Eylon, B., Ganiel, U., 1983. Potential difference and current in simple electric circuits: a study of students' concepts. *Am. J. Phys.* 5, 407–412.
- Duit, R., 1995. Vorstellungen und Lernen von Physik und Chemie. Zu den Ursachen vieler Lernschwierigkeiten. PLUS LUCIS. Ver. Förd. Phys. Chem. Unterr. 2, 11–18.
- Duit, R., 2009. STCSE—Bibliography—Students and Teachers Conceptions and Science Learning. IPN – Leibniz Institute for Science and Mathematics Education, Kiel, Germany.
- Eckstein, S., Kozhevnikov, M., Lesman, T., 1993. Development of alternative conceptions of motion: a comparison of pupils' responses in three countries. In: *The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Ithaca, NY.
- Erickson, G.L., 1979. Children's conceptions of heat and temperature. *Sci. Educ.* 63, 221–230.
- Gómez, E.J., Benarroch, A., Marín, 2006. Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter. *J. Res. Sci. Teach.* 43, 577–598.
- Gunstone, R., Watts, D., 1985. Force and motion. In: Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A. (Eds.), *Children's Ideas in Science*. pp. 85–104.
- Hansson, L., Redfors, A., 2006. Swedish upper secondary students. Views of the origin and development of the universe. *Res. Sci. Educ.* 36 (4), <http://dx.doi.org/10.1007/s11165-005-9009-y>.
- Isla, A., Maskill, R., 1982. A comparison of science word meaning in the classrooms of two different countries: Scottish integrated science in Scotland and in Malaysia. *Br. J. Educ. Psychol.* 52, 188–198.
- Jung, W., 1978. Zum Problem der Schülervorstellungen (1.Teil). *Phys. Didact.* 5, 125–146.
- Jung, W., 1986. Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Nat. Unterr. Phys. Chem.* 34, 2–6.
- Kahnt, M., Thesing, A., 2010. Schülervorstellungen zur Kosmologie. In: Höttecke, D. (Ed.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik*. LIT Verlag Münster, pp. 263–265.
- Kristyanto, S.B., Berg, E.v.d., 1991. Miskonsepsi siswa SMP dan SMA mengenai suhu dan bahang (Alternative conceptions of heat and temperature of junior and senior secondary students'). *Kritis* 5, 65–79 (in Indonesian).
- Larkin, D., 2012. Misconceptions about "misconceptions": pre-service secondary science teachers' views on the value and role of student ideas. *Sci. Educ.* 96 (5), 927–959, <http://dx.doi.org/10.1002/sce.21022>.
- Liu, S.C., 2005. Models of "The Heavens and the Earth": an investigation of German and Taiwanese students' alternative conceptions of the universe. *Int. J. Sci. Math. Educ.* 3, 295–325.
- Lynch, P., 1996. Students' alternative frameworks for the nature of matter: a cross-cultural study of linguistic and cultural interpretations. *Int. J. Sci. Math. Educ.* 18, 743–752.
- Maskill, R., Cachapuz, A., Koulaidis, V., 1997. Young pupils' ideas about the microscopic nature of matter in three different European countries. *Int. J. Sci. Educ.* 19, 631–645.
- Mayring, P., 2010. Qualitative Inhaltsanalyse. In: Mey, G., Muck, K. (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, pp. 601–613, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-531-92052-8_42.
- McDermott, L.C., Shaffer, P., 1992. Research as a guide for curriculum development: an example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *Am. J. Phys.* 60, 994–1003.
- Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M., 2011. *Schülervorstellungen in der Physik*. Aulis Verlag.
- Prather, E.E., Slater, T.F., Offerdahl, E.G., 2003. Hints of a fundamental misconception in cosmology. *Astron. Educ. Rev.* 1 (2), 28–34, <http://dx.doi.org/10.3847/AER2002003>.
- Schecker, H., 1985. Das Schülervorverständnis zur Mechanik – Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte (Ph.D. thesis). Universität Bremen.
- Schecker, H., Fischer, H.E., Wiesner, H., 2004. Kerncurriculum Physik. In: Pitton, A. (Ed.), *Chemie- und Physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung*. pp. 126–128.
- Schecker, H., Fischer, H.E., Wiesner, H., 2004. Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In: Tenorth, H.-E. (Ed.), *Kerncurriculum Oberstufe II*.
- Schreiner, C., Sjöberg, S., 2004. 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 Didact.*, University of Oslo, Dept. of Teacher Education and School Development.
- Shipstone, D., Rhöneck, C., Kärrqvist, C., Dupin, J.J., Joshua, S., Licht, P., 1988. A study of students' understanding of electricity in five European countries. *Int. J. Sci. Educ.* 10, 303–316.

- Stead, B.F., Osborne, R.J., 1980. Exploring science students' concept of light. *Aust. Sci. Teach. J.* 26, 84–90.
- Thijs, G., Van den Berg, E., 1995. Cultural factors in the origin and remediation of alternative conceptions in physics. *Sci. Educ.*, 3.
- TIMSS 2007 Encyclopedia, 2008. A guide to mathematics and science education around the world, vol. 1. Mullis, I.V.S. and Martin, M.O. and Olson, J.F. and Berger, D.M. and Milne, D. and Stanco, G.M. (Eds.). Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- Trouille, L.E., Coble, K., Cochran, G., Bailey, J.M., Camarillo, C.T., Nickerson, M., Cominsky, L.R., 2013. Investigating student ideas about cosmology III: Big Bang theory, expansion, age, and history of the universe. *Astron. Educ. Rev.* 12 (1).
- Trumper, R., Raviolo, A., Shnersch, A., 2000. A cross-cultural survey of conceptions of energy among elementary school teachers in training – empirical results from Israel and Argentina. *Teach. Teach. Educ.* 16, 697–714.
- van den Berg, E., Sundaru, 1990. Student ideas on the velocity of light. *Aust. Sci. Teach. J.* 36, 72–75.
- Wallace, C.S., 2011. *An Investigation into Introductory Astronomy Students' Difficulties with Cosmology and the Development, Validation, and Efficacy of a New Suite of Cosmology Lecture-Tutorials* (Ph.D. thesis). University of Colorado at Boulder.
- Willoughby, S.D., Metz, A., 2009. Exploring gender differences with different gain calculations in astronomy and biology. *Am. J. Phys.* 77 (7), 651–657, <http://dx.doi.org/10.1119/1.3133087>.
- Wodzinski, R., 1996. *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*. LIT Verlag Münster.

Science Education Review Letters

Development and Evaluation of a Construct Map for the Understanding of the Expansion of the Universe

Sarah Aretz^{a,b*}, Andreas Borowski^b and Sascha Schmeling^a

^a CERN, 1211 Genève 23, Switzerland

^b University of Potsdam, Department of Physics and Astronomy, Karl-Liebknecht-Str. 24/25, 14476 Potsdam-Golm, Germany

* Corresponding author: sarah.aretz@cern.ch

Received 16th December 2016, Accepted 3rd March 2017

Abstract

The expansion of the universe is one of three pillars of the Big Bang theory and, therefore, an important aspect in cosmology. How the understanding hereof, including the complex concept of an expanding space, is developing, is not yet completely understood. On the basis of a hypothesis of a different study, which constructed a first structural setup of student understanding in this field, we developed it further to be able to reflect students' processes of understanding the concept of an expanding universe. The assignment of open answers of N=126 German students from 11th- and 12th-grade classes (16-20 years old) showed a good classification of these students into this construct with high interrater reliabilities.

Keywords

Construct map, expansion of the universe, cosmology, students' conceptions, learning progression

Introduction

Modern physics should be more integrated into the classroom and, apparently, better approaches for teaching certain topics such as cosmology are needed (Schecker et al., 2004). Understanding the "underpinnings of the Universe can deepen students' sense of wonder and help them appreciate where they come from" (Trouille et al., 2013, p. 1). Cosmology is a very active area of research and the interest of young people is above average as stated in the Relevance of Science Education (ROSE) study (Schreiner and Sjöberg, 2004). A core content in cosmology is the expansion of the universe as one of three pillars of the Big Bang theory, the most successful standard model in cosmology. The idea of a not static universe is "funda-

mental to modern cosmology" (Wallace, 2011, p. 34) and determines significantly the evolution of the universe and, therefore, has formed our modern scientific worldview. And transferring this to students through science teaching is a frequent request in science literacy discussion (e.g., American Association for the Advancement of Science, 1993; Schecker et al., 2004). But the development of students' understanding of an expanding universe is not yet completely understood. To improve this situation, the first step is usually the development of a construct map. A first attempt of a structural setup was done by Wallace (2011). In our study we developed this idea further. On the basis of open answers of N=126 German students from 11th- and 12th- grade classes (16-20 years old)

we developed a construct map for the concept of an expanding universe.

Theoretical Background

The general idea of a construct map is that the development of students' understanding of a concept or characteristic follows a hierarchical order with different levels building up on each other. So a construct map is "a well thought out and researched ordering of qualitatively different levels of performance" (Wilson, 2009, p. 718) and is "designed to help conceptualize how assessments can be constructed to relate to theories of cognition" (p. 717). The different consecutive levels represent a certain level of understanding and include – except the highest level usually – related misconceptions. Examples of construct maps are for instance the model of student understanding of matter (Hadenfeldt & Neumann, 2012), of force and motion (Alonzo & Steedle, 2009), of earth in the solar system (Briggs et al., 2006) and of reading (Lin et al., 2010).

The Berkeley Evaluation and Assessment Research (BEAR) Center develops, among other things, learning progressions. "The core of all of these developments has been the construct map, which is the first building block in the BEAR Assessment System" (Wilson, 2009, p. 716). Furthermore, a key element in the acquisition of scientific literacy is a structured transmission on the basis of central concepts of the respective subject. The systematic teaching requires models of the development of students' understanding (Hadenfeldt & Neumann, 2012). Such construct maps may "ultimately provide the detail needed for teachers to track student thinking over the course of instructional units" (Alonzo & Steedle, 2009, p. 392).

Although there are a few studies investigating different aspects of cosmology such as the age of the universe, associations with the Big Bang or evidence for the Big Bang theory (e.g., Prath-

er et al., 2003; Trouille et al., 2013), there has been very little research about students' understanding of the expansion of the universe in particular. The only present study in this area, which also includes a first attempt of a structural setup of student understanding, is that of Wallace (2011). Students at the beginning of university were asked about the meaning of an expanding universe. About one third of the students actually associated it with a universe increasing in size over time. But other major categories found are 'movements or increasing distances of single objects' and 'formation/creation of new things'. Very striking is a surprisingly large percentage (about 20%) of students stating an association with new discoveries and/or knowledge and not with the universe physically increasing in size, let alone with the expansion of space itself. The latter only being mentioned from just a few percent of the students. Wallace's construct map for the expansion of the universe and the Big Bang is shown in an abbreviated version in Table 1.

Wallace's scoring rubrics for the question about the expansion of the universe include some more details. Level 1 includes students not knowing the universe is expanding, whereas this is the case in level 2. In levels 3 and 4 the concept of an expanding space is already included with the difference in thinking that all objects and not only galaxies move away from one another in level 3. However, this model includes an additional focus on the structure of the universe including the aspects 'center' and 'edge of the universe' as well as the misconception of the Big Bang being an explosion, although it is not clear if there is a correlation. In addition, students were only assigned to the best fitting level. There was no investigation on how well students' responses fit into the construct map concerning how many levels in total fit to one open answer. An open answer can include many different aspects and, thus, could in general be assigned to several levels and not only one. Yet the major focus of the study did

Table 1: Wallace's construct map for the expansion of the universe and the Big Bang (abbreviated version).

Level of construct map	1	2	3	4
Universe is physically expanding in size over time	X	✓	✓	✓
Only galaxies are moving apart from one another due to expansion	–	X	X	✓
Universe has no center	○	X	✓	✓
Universe has no edge	○	X	✓	✓
Big Bang as the beginning of expansion (not an explosion)	X	X	○	✓

Explanation of symbols: Student states aspect... ✓: correctly X: incorrectly ○: correctly or incorrectly.

not lie on the development and evaluation of construct maps.

Research Questions

As shown above, Wallace's structural setup of student understanding of the expansion of the universe is not yet tested with respect to a well working assignment of students into the existing levels. The students were assigned to the best fitting level, but their answers could in general fit into more than one level. In addition, it is not clear if there is a correlation between the structural aspects 'center' and 'edge of the universe' and space expansion (see Table 1). That raises the following questions:

1. Is it possible to assign the students to just one or else two adjacent levels on the basis of a further developed and potentially adjusted construct map?
2. Is there a correlation between the misconceptions of the universe having an edge and/or center and the concept of an expanding space?

In order to answer these questions we explored students' open answers to the same question as in Wallace's study.

Method

The study is the re-analysis of data collected in a prior study on students' conceptions of the Big Bang theory (Aretz et al., 2016). Because the basis of construct maps are usually students' conceptions (e.g., Alonzo & Steedle, 2009), in this study we are looking again on part of the data concerning a new aspect, the development of students' understanding of the concept of an expanding universe. One of the questions of the questionnaire in our previous study was taken from Wallace (2011). The students were asked about the meaning of an expanding universe and their open answers enabled us to carry out the intended research.

Sample

Data taken from 11th- and 12th- grade classes (16-20 years old) in German schools was analyzed. The distribution of grades and age of the N=126 students is shown in Table 2. The data was collected from six classes in schools in three different federal states in Germany. Among the schools were five Gymnasiums and one comprehensive school (Gesamtschule). More information about the German school system and school types can be found in TIMSS 2007 Encyclopedia (2008). The distribution of students in age (but also not too large in terms of comparison), gender (about one third were female) and different parts of Germany as well as the number of participating schools represent a good basis for generalizing the obtained results.

Data collection and analysis procedures

The students were asked to answer the following question using their knowledge and/or their ideas: "Explain, in as much detail as possible, what astronomers mean when they say "the universe is expanding"." The students should also briefly indicate when they could not provide any answer at all. The survey was implemented in normal class situations under the supervision of the teacher. The data was analyzed in three steps:

1. Qualitative analysis techniques (Mayring, 2010) were used to develop a set of categories inductively. Each open answer included usually more than one statement, which were the smallest coding units. A statement can be a whole sentence or just a part of a sentence, depending on its meaning and the student's linguistic ability. The following example (translated into English) includes two statements: "Some galaxies are moving apart from each other and the universe gets cooler." Each statement was assigned to exactly one category also by an additional rater with a range of Cohen's Kappa values of [0.88–1]. In the case of the example the two statements were assigned to the cate-

Table 2: Grades and age distribution of our sample of N=126 students.

Age	16	17	18	19	20
11 th grade	9,5%	12,7%	4,0%	0%	0%
12 th grade	0,8%	15,8%	23,8%	8,7%	3,2%
Not specified ¹	21,4%				

1 There is no data available on the students' age from one of the six schools.

gories 'Expansion of matter' and 'Cooling of the universe' (for more details see Aretz et al., 2016). With Wallace's first attempt of a construct map at hand, we used our developed system of categories to develop the hypothesis about students' development of understanding further in more detail and with the focus on the expansion of the universe. In the next step this so built construct map, which represents actually a hypothesis about the different levels of students' mastery, although it is partly based on previous research, was tested with the help of the open answers.

2. In the second step all statements in the students' 126 open answers were assigned to the levels of the construct map. Subsequently two additional raters assigned the open answers before a comparison of the various coding was performed.

3. Finally it was analyzed to what extent the levels of the construct map fit to the students' answers. Because an open answer could consist of several statements, one open answer could be assigned to more than one level of the construct map. If the levels fit well, students should be situated in just one or else two adjacent levels of the construct map.

Results

The open answers of the students showed interesting conceptions concerning the meaning of an expanding universe. There existed associations with the formation of celestial bodies or orbits of planets growing over time. Many students were talking about the universe growing in size, some in the sense of an expanding space and others in the sense of matter moving in space (away from an explosion). One of the most surprising concepts was the association of expansion with new discoveries or knowledge, respectively. On the basis of the obtained categories from the students' responses of our sample and the construct map for the expansion of the universe and the Big Bang of Wallace (2011) we developed a more detailed and modified construct map with five levels as well as a level zero, which only applies for open answers (see Table 3).

The student's understanding is defined at each level. In addition, the reference of common errors in levels one to four helps to clarify the difference between levels, which indicate existing misconceptions in the corresponding level.

Only the highest level (level 5) is free of misconceptions and represents expert like thinking with a scientific understanding of the concept "expansion of the universe". In level one, students connect the expanding universe to anything else but a universe growing in size or increasing distances. In level two students are aware of at least some distances becoming larger, whereas in level three they have already the idea of the whole universe growing in size. But in these levels there is no concept of an expanding space included yet. This changes in levels four and five. In level four students already know that space itself is expanding, but they still have misconceptions like space is expanding everywhere, even inside galaxies. Level five finally represents the current scientifically approved understanding of the underlying concept. At this point students have to show a deeper understanding of expansion by including at least one of the three mentioned aspects and, at the same time, not stating any misconceptions. The following students' responses (translated into English) show examples of answers from our study fitting into the corresponding category:

Level 0: "Unfortunately I can't answer that."

Level 1: "An expansion of the universe exists when 2 or more comets come together to a bigger planet."

Level 2: "That means that the distance between planets and stars is growing."

Level 3: "The matter of the Big Bang is moving in nothing by the explosion."

Level 4: "The space itself pulls somehow apart."

Level 5: "The astronomers mean by that the expansion of space, which started with the Big Bang. A proof for that is the redshift of distant galaxies. If the expansion will go on forever I don't know, but there is nothing outside of the space (so the universe)."

In comparison to Wallace's hypothesis on students' development of understanding, we modified his construct map as follows. We largely took over his levels 0 (included only in his scoring rubrics), 1 and 2, included another level between his levels 1 and 2 and replaced his levels 3 and 4 with two modified ones based on ideas emerging on the basis of our student responses. These showed an intermediate step in their thinking, e.g. by talking only about single distances becoming larger (see level 2 as the result). These kinds of statements include already the idea of a physical expansion of some kind with some objects moving apart from each other.

Table 3: Construct map for the expansion of the universe.

Level	Description
5	Expert like thinking: Student knows the concept of an expanding space without mentioning scientifically incorrect conceptions and is able to explain correctly at least one of the following aspects: • The whole universe growing in size without having an edge or center • Galaxies remaining their size; expansion of space affects only space between galaxies • Effects on electromagnetic waves (redshift)
4	Advanced thinking: Student knows that expansion means the universe is growing in size due to space expanding itself. Common Error: Space is expanding everywhere, even between stars in galaxies. Common Error: Expansion doesn't affect the light coming from objects in the universe.
3	Everyday experiences in large scale: Student recognizes that expansion means the whole universe is growing in size. However, student believes it is due to matter moving in not changing space. Common Error: The explosion of the Big Bang distributes all matter into the universe.
2	Everyday experiences in small scale: Student recognizes that expansion means distances becoming larger. However, student believes that distances between all different kinds of objects are getting larger and/or only single objects are affected. Common Error: Some stars are moving away from each other. Common Error: Orbits are changing and distances between planets are growing.
1	Guessing: Student does not recognize the connection with a universe growing in size and/or distances becoming larger. Common Error: New discoveries expand our knowledge of the universe. Common Error: Expansion means formation of new objects like stars.
0	Tabula Rasa: Student provides no answer at all, states to have no idea or writes something unrelated to the question.

er, although yet without the conception of the whole universe being affected. In addition, we put emphasis on the differentiation between the idea of an expanding space in comparison to the idea of an expanding universe due to matter moving in space in our two highest levels 4 and 5, which wasn't clearly said in Wallace's construct map, but only mentioned in some of his explanations. For example one student's answer shown in his study, which was assigned to his level 3, didn't include any clear mentioning of space expanding itself (p. 365), but was still placed there. Furthermore, beside the expansion itself, Wallace used mainly the aspects 'center' and 'edge' of the universe for a differentiation of the levels (see Table 1). However, our data showed no connection between the idea of the universe having an edge or a center and the concept of an expanding universe. Instead the vast majority of students' in our study having been ranked even level 4 or 5 still showed the conception of the universe having a center, sometimes also or only in their

answers to other questions of our previous study. For this reason we used this factor only as one possible aspect in level 5 to show a deeper understanding of the concept of an expanding space.

With this developed construct map at hand, the open answers of the 126 students were assigned to the different levels described above by two additional raters without providing further text than the explanations in the construct map. Comparison of the coding showed high interrater reliabilities. Overall, the range of Cohen's Kappa values was [0.94-1] (comparison with first rater) and [0.77-1] (comparison with second rater).

Finally we analyzed the fitting between the levels of the construct map and the students' answers. Because an open answer can include more than one statement, it was possible to assign more than one level to one open answer. Twelve of these answers couldn't be assigned at

all. One example hereof is (translated): “It develops by and by...”. From the remaining 114 students, 91,2% could be assigned in each case to exactly one level of the construct map (see Table 4). The number of statements per student ranged from one to six with most of them providing up to three statements. Seven open answers (6,1%) included statements of adjacent levels of the construct map. Three answers (2,6%) were assigned to level one and three.

Discussion

In this study we described at first the development of a construct map for the concept of an

Also new galaxies etc. form”. The first sentence was assigned to level 3 and the second one to level 1. Here, interviews most likely would have helped to figure out in more detail, what the students’ underlying thinking was behind that statement, and then maybe he or she could have been assigned differently.

Despite the first success with this construct map, it still has to be validated with a larger sample size. Furthermore, the prognostic validation is not yet verifiable. Currently it is not yet clear if students follow exactly along these developmental stages – what doesn’t exclude skipping one level in between. In addition, in

Table 4: Assignment of students’ open answers to the levels of the construct map.

Level of construct map	5	4	3	2	1	0	1/2	2/3	3/4	1/3
Absolute number of students	1	9	36	13	18	27	3	3	1	3
Corresponding Percentage ¹	1%	8%	32%	11%	16%	24%	3%	3%	1%	3%

1 Based on the 114 assignable open answers, rounded to the nearest percent (therefore, the sum is not exactly 100%).

expanding universe. Although it is based on previous research, this construct map is still a hypothesis of the development of students’ understanding and therefore needs to be tested further and eventually also adjusted in an iterative process. With our sample we were able to show that, with high interrater reliabilities, most of the students’ open answers could be assigned to exactly one of the levels of the construct map. Although in some cases this is trivial due to just one existing statement per student, taken out the students in level 0, who stated to have no idea, about 50% of the remaining students occurring in Table 4 provided more than one statement. The following assignment by two additional raters showed promising results for the application of the construct map, which, nevertheless, should be verified again with a larger sample size.

If one assumes that the progression of understanding is following the structure of a construct map, students should be situated in just one or else two adjacent levels. We showed that this seems to be the case for the vast majority of our sample. Only three students didn’t fit into this assumption. One example of these three answers is the following (translated): “The universe increases due to mass which expands.

comparison to other construct maps, like the one for students understanding of “Earth and the Solar System (ESS)” (Briggs et al., 2006), it is not possible to assign a level of the construct map presented here to a certain grade. This is not feasible because the expansion of the universe belonging to cosmology is not part of all curricula and where it is, it can differ very much in content and grade. Therefore, students are assumed to have their knowledge or ideas, respectively, mainly from informal learning (Aretz et al., 2016). A construct map as well as a learning progression is an assumption about student thinking and it’s development and as such “expresses a current idea [...], which can – and should – be revised in response to new information about student thinking” (Alonzo & Steedle, 2009, p. 393).

Conclusions and outlook

The construct map presented in this article for the concept of an expanding universe seems to be promising. Although it could still be revised in the future on the basis of new research in that area, the construct map can now fulfill several purposes. It illustrates the progression of student thinking and, therefore, it can be used as the basis for the development of learning

progressions in that field. This construct map could be one of several construct maps for a learning progression in cosmology. Details and illustration about potential relationships between construct maps and learning progressions are shown for example in Wilson (2009). Where this field of physics is part of the curricula it might even be possible to assign the levels of the construct map to certain grades, which would also be very helpful for designing learning progressions.

In addition, the construct map can serve directly for systematic teaching by providing a tool for instructors to plan their lessons accordingly. It can make them aware of students' thinking and prepare them for existing misconceptions. Furthermore, the construct map can serve as the basis for the construction of assessments, which will allow instructors to evaluate their students' current level of understanding as well as the progression during instruction. This construct map allows for example the development of Ordered Multiple-Choice Items (OMC) – the second principle according to Wilson (2009) of the BEAR Assessment System. Because each answer option in these OMC items corresponds to one level of the construct map they will provide more diagnostic information closer to open ended items without losing the efficiency of conventional MC items. The application of tests including such items makes it possible to assess students' cognitive level of understanding in teaching environments in a quick way, to follow students' progression along the way and to improve instruction and its outcome.

Acknowledgements

This study is sponsored by the Wolfgang Gentner Programme of the Federal Ministry of Education and Research, Germany.

References

- Alonzo, A.C. & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93 (3), S. 389-421.
- American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for Science Literacy - Project 2061*. Oxford University Press.
- Aretz, S., Borowski, A., Schmeling, S. (2016). A fairytale creation or the beginning of everything: Students' pre-instructional conceptions about the Big Bang theory. *Perspectives in Science*, 10, pp. 46-58, DOI: 10.1016/j.pisc.2016.08.003
- Briggs, D. C., & Alonzo, A. C. (2012). The psychometric modeling of ordered multiple-choice item responses for diagnostic assessment with a learning progression. In A. Alonzo & A. W. Gotwals (Eds.), *Learning progressions in science: Current challenges and future directions* (pp. 293–316). Rotterdam: Sense Publishers.
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C., & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11(1), pp. 32-63.
- Hadenfeldt, J. C. & Neumann, K. (2012). Die Erfassung des Verständnisses von Materie durch Ordered Multiple Choice Aufgaben. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 18, pp. 317-338.
- Lin, J., Chu, K. & Meng, Y. (2010). Distractor rationale taxonomy: Diagnostic assessment of reading with Ordered Multiple-Choice items. Paper presented at the annual meeting of American Educational Research Association, Denver, Colorado.
- Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. In Mey, G. & Mruck, K. (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (pp. 601-613). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Prather, E. E., Slater, T. F & Offerdahl, E. G. (2003). Hints of a fundamental misconception in cosmology. *Astronomy Education Review* 1(2), pp. 28-34.

Schecker, H., Fischer, H.E., Wiesner, H. (2004). Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe, in: Kerncurriculum Oberstufe II. Tenorth, H.-E.

Schreiner, C. & Sjøberg, S. (2004). 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, University of Oslo, Dept. of Teacher Education and School Development.

TIMSS 2007 Encyclopedia (2008). A guide to mathematics and science education around the world, volume 1. Mullis, I.V.S. and Martin, M.O. and Olson, J.F. and Berger, D.M. and Milne, D. and Stanco, G.M. (Eds.). Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.

Trouille, L. E., Coble, K., Cochran, G. L., Bailey, J. M., Camarillo, C. T., Nickerson, M. D. & Cominsky, L. R. (2013). Investigating student ideas about cosmology III: Big Bang theory, expansion, age, and history of the universe. *Astronomy Education Review* 12(1).

Wallace, C.S., 2011. An Investigation into Introductory Astronomy Students' Difficulties with Cosmology and the Development, Validation, and Efficacy of a New Suite of Cosmology Lecture-Tutorials. Ph.D. thesis. University of Colorado at Boulder.

Wilson, M., 2009. Measuring Progressions: Assessment Structures Underlying a Learning Progression. *Journal of Research in Science Teaching* 46 (6), pp. 716-730.

A.2.2 Tagungsbandbeiträge

Aretz, S., Schmeling, S. und Borowski, A. (2015). Internationale Voraussetzungen zum Urknall. In: S. Bernholt (Ed.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014*, 507-509. Kiel: IPN.

Aretz, S., Borowski, A. und Schmeling, S. (2016). Schülervorstellungen zur Urknalltheorie. In: C. Maurer (Ed.), *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015*, 596-598. Universität Regensburg.

Aretz, S., Borowski, A. und Schmeling, S. (2017). Entwicklung und Evaluation eines Modells zur Erstellung von OMC Aufgaben zur Expansion des Universums. In: C. Maurer (Ed.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016*, 584-587. Universität Regensburg.

Sarah Aretz^{1,2}
 Sascha Schmeling¹
 Andreas Borowski²

¹CERN
²Universität Potsdam

Internationale Voraussetzungen zum Urknall

Motivation

Der Urknall markiert den Beginn von Raum und Zeit und allem, was wir kennen. Er ist die „Geburt“ unseres heutigen bekannten Universums und hat damit unser modernes Weltbild geprägt. Gerade diese Vermittlung eines modernen Weltbilds ist ein häufig genannter Wunsch in der Physikdidaktik (Schecker, Fischer & Wiesner, 2004a). Im Auftrag der Kultusministerkonferenz haben Schecker, Fischer und Wiesner Empfehlungen für die Gestaltung des Physikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe gegeben. Diese Empfehlungen beinhalten die Entwicklung eines vertieften Verständnisses des modernen Weltbilds inklusive der Astrophysik und Kosmologie (u. a.) als inhaltlicher Kern physikalischer Bildung in der gymnasialen Oberstufe. Die Kosmologie ist für die moderne Physik sehr wichtig aber es besteht noch Handlungsbedarf: „Curriculumbezogene Forschungs- und Entwicklungsbedarfe bestehen besonders hinsichtlich [...] der Behandlung bestimmter Gebiete der modernen Physik (z. B. Kosmologie) [...]“. Schecker, Fischer & Wiesner (2004b) weisen darauf hin, dass „Fragen, insbesondere aus der Kosmologie nach Ursprung und Ende des Universums, [...] trotz ihrer wissenschaftlichen Aktualität im öffentlichen Bewusstsein noch wenig präsent [sind]“, aber gleichzeitig die „Frage nach dem Aufbau der Welt im Großen und der Stellung des Menschen im Kosmos [...] bis heute eine der großen und faszinierenden Fragen ist“. Auch die Betrachtung der Vergabe von Nobelpreisen in der Physik belegt die Bedeutung der Kosmologie. 1978 wurde der Physik-Nobelpreis an Arno Penzias und Robert Wilson für die Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung (einer der Belege der Urknalltheorie) vergeben sowie 2006 an John Mather und George Smoot für die Untersuchung dieser. Im Jahr 2011 erhielten Saul Perlmutter, Brian Schmidt und Adam Riess den Nobelpreis für die Entdeckung der beschleunigten Expansion des Universums. Hinzu kommt, dass das Interesse von Jugendlichen im Bereich der Astrophysik und Kosmologie überdurchschnittlich hoch ist (Schreiner & Sjøberg, 2004). Ein Ergebnis der ROSE-Studie (The Relevance of Science Education) ist ein auffallend hohes Interesse an Astrophysik und Universum, das sowohl länder- als auch geschlechterübergreifend ist. Die obigen Punkte zeigen somit die Relevanz des Themas „Kosmologie“ in der gymnasialen Oberstufe.

Standort CERN

Im Bereich der Wissenschaftskommunikation am CERN (Educational Outreach) soll eine Lernsequenz im Bereich der Kosmologie entwickelt werden, welche, wenn möglich, für verschiedene Mitgliedsstaaten kompatibel sein soll. Grundlage jeder Lernsequenz sind die Schülervoraussetzungen. Aus diesem Grund sollen die Schülervoraussetzungen und häufige Fehlvorstellungen in verschiedenen Ländern erhoben und als Grundlage für eine Lerneinheit verwendet werden. Der Standort CERN bietet sich dafür in besonderem Maße aufgrund der Kontakte zu vielen Ländern weltweit an. Hier kann sowohl ein effizienter Austausch mit Physikern als auch mit Besuchern aus aller Welt – insbesondere Schulklassen – stattfinden.

Auswahl innerhalb der Kosmologie

Die Kosmologie beschreibt den Ursprung, die Entwicklung und die Struktur des Universums als Ganzes und verbindet die beobachtende Astronomie mit der Teilchenphysik. Ausgehend von der Urknalltheorie kann die momentane Physik die zu Beginn stattfindenden Prozesse

ab einer Zeit von etwa 10^{-44} s nach dem Urknall beschreiben (sogenannte Planck-Zeit). Für die Zeit davor gibt es bisher keine konsistente Theorie der Quantengravitation, welche die Quantenphysik und die allgemeine Relativitätstheorie vereinigen soll. Die Mathematik kann die zu Beginn vorhandene Singularität nicht beschreiben, da die Krümmung der Raumzeit dort unendlich wird. Zusammenfassend beinhaltet die Kosmologie die Phase des Urknalls, die Grundpfeiler der Urknalltheorie (Expansion des Universums, Nukleosynthese und kosmische Hintergrundstrahlung), die Strukturbildung im Universum und die Beobachtung der großräumigen Strukturen, wobei auch Dunkle Materie und Energie, Quasare und Gravitationslinseneffekt eine Rolle spielen sowie die Zukunft des Universums. Das gesamte Themengebiet ist bei Weitem zu umfangreich für eine Lerneinheit, sodass eine Beschränkung auf einen Teilbereich nötig ist. Da die Kosmologie eine Art Geschichte des Universums darstellt, ist es sinnvoll, am Beginn von allem anzufangen. Für einige Aspekte wie zum Beispiel die Entwicklung der heute vorhandenen großräumigen Strukturen ist ein Verständnis der zu Beginn vorliegenden physikalischen Bedingungen notwendig. Darüber hinaus tauchen der Urknall und die Grundpfeiler als häufigste genannte Punkte im Bereich der Kosmologie in deutschen Lehrplänen auf. Das „Urknallmodell“ wird im Kerncurriculum Physik (Schecker, Fischer & Wiesner, 2004a, S. 194) auch explizit unter dem Punkt „Grundlagen des modernen physikalischen Weltbilds“ aufgeführt. Aus diesen Gründen fokussiert die Studie auf die Themen „Urknall“ und „Urknalltheorie“.

Aktueller Forschungsstand zu Schülervoraussetzungen zum Thema „Urknall“

Studien zu diesem Thema gibt es momentan aus Deutschland, Schweden und den USA. Schülervorstellungen zum Urknall sind in „Deutschland bisher noch weitgehend unerforscht“ (Kahnt & Thesing, 2010). Die Studie untersucht Assoziationen zum Urknall, Vorstellungen zum Alter und einem Zentrum des Universums. Etwa ein Drittel assoziiert den Urknall mit einer Explosion, über 20 % glauben, es existierte bereits etwas vor dem Urknall, und der Urknall wird eher mit der Entstehung der Erde als mit der Entstehung des Universums verbunden. In der Studie aus Schweden (Hansson & Redfors, 2006) werden Schüler und Schülerinnen im letzten Jahr der „upper-secondary school“, vergleichbar mit Schülern kurz vor dem Abitur (18 bis 19 Jahre alt), befragt. Ergebnisse sind die Assoziation des Urknalls mit einer Explosion bzw. mit einem das ganze Universum betreffenden Ereignis, dem Glauben der Existenz von Materie vor dem Urknall sowie der schon immer vorhandenen Existenz des Universums. Jedoch bezieht sich diese Studie auf eine spezielle Schülergruppe besonders naturwissenschaftlich interessierter Schüler und beinhaltet wenig bzw. unklare Statistiken. Des Weiteren wird in beiden Studien der Aspekt „Belege der Urknalltheorie“ nicht untersucht. In den USA gibt es im Bereich der Kosmologie eine Studie aus dem Jahr 2003 (Prather, Slater & Offerdahl, 2002) sowie aktuelle Studien aus den Jahren 2012 (Wallace, Prather & Duncan, 2012; Bailey et al., 2012) und 2013 (Trouille et al., 2013). Die neueren Studien beziehen sich ausschließlich auf Studenten. Die Studien weisen verschiedene Vorstellungen auf, beispielsweise die Assoziation des Urknalls als Explosion, der Urknall als Entstehung von Sternen, Galaxien usw. oder die Vorstellung, dass keine Belege für die Urknalltheorie existieren. Die Fragen bzw. Statistiken variieren innerhalb der Studien.

Forschungsfragen

Mögliche Ursachen für die teilweise unterschiedlichen Ergebnisse bzw. Statistiken kann zum einen die Verwendung unterschiedlicher Instrumente und Stichproben sein. Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass die unterschiedlichen Vorstellungen länderspezifisch sind. Daraus ergeben sich die Forschungsfragen:

- Welche Schülervoraussetzungen sind international im Bereich des Urknalls vorhanden?
- Inwieweit unterscheiden sich die Schülervorstellungen im Bereich des Urknalls zwischen verschiedenen Ländern?

Design

Als Grundlage der Studie dienen die bereits entwickelten und getesteten offenen Fragen der aktuellen Studie aus den USA (Trouille, 2013). Diese offenen Fragen sollen zunächst ins Deutsche übersetzt und in einer ersten Erhebung an deutschsprachigen Schulen eingesetzt werden. Die Übersetzung soll mithilfe eines Muttersprachlers (Native Speaker) in beiden Sprachen (Deutsch und Englisch) erfolgen. Es werden zunächst die Antworten mehrerer Schüler pro Schulklasse analysiert bis eine Sättigung eintritt. Anhand der Ergebnisse soll ein geschlossenes Testinstrument entwickelt werden. Über die Schülerantworten sollen die Distraktoren gefunden werden mit fünf Fragen pro Skala. Das geschlossene Testinstrument wird zunächst mit deutschsprachigen Schülern getestet und anschließend in mehrere Sprachen übersetzt werden. Dabei soll Englisch der zentrale Ausgangspunkt bei der Übersetzung sein. Ausgehend davon soll die Übersetzung in weitere Sprachen anhand verschiedener Native Speaker durchgeführt werden. Eine Rückübersetzung ins Englische soll dabei zeigen, ob die Formulierungen den gewünschten Inhalt vermitteln. Darauf aufbauend sollen die geschlossenen Fragen bei Schüler und Schülerinnen mehrerer Länder zum Einsatz kommen. Die Evaluation soll zum einen die Schülervoraussetzungen aufzeigen sowie einen Vergleich der Wissensvoraussetzungen und Fehlvorstellungen im Bereich des Urknalls und seinen Belegen zwischen den verschiedenen Ländern ermöglichen.

Literatur

- Bailey, J.M. et al. (2012). A Multi-Institutional Investigation of Students' Preinstructional Ideas About Cosmology. *Astronomy Education Review*, 11
- Hansson, L. & Redfors, A. (2006). Swedish Upper Secondary Students' Views of the Origin and Development of the Universe. *Research in Science Education*, 36, 355-379
- Kahnt, M. & Thesing, A. (2010). Schülervorstellungen zur Kosmologie. In Höttecke, D. (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik*. 263-265
- Prather, E.E., Slater, T.F. & Offerdahl, E.G. (2002). Hints of a Fundamental Misconception in Cosmology. *Astronomy Education Review*, 1, 28-34
- Schecker, H., Fischer, H. E. & Wiesner, H. (2004a). Kerncurriculum Physik. In: A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung* (S. 126-128). Münster: LIT-Verlag.
- Schecker, H., Fischer, H.E. & Wiesner, H. (2004b). Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In Tenorth, H.-E. (Hrsg.), *Kerncurriculum Oberstufe II*.
- Schreiner, C. & Sjöberg, S. (2004). *The Relevance of Science Education. Sowing the Seeds of ROSE*. Oslo: Acta Didactica
- Trouille, L.E. Et al. (2013). Investigating Student Ideas About Cosmology III: Big Bang Theory, Expansion, Age, and History of the Universe. *Astronomy Education Review*, 12
- Wallace, C.S., Prather, E.E. & Douglas, K.D. (2012). A Study of General Education Astronomy Students' Understandings of Cosmology. Part IV. Common Difficulties Students Experience with Cosmology. *Astronomy Education Review*, 11

Sarah Aretz^{1,2}
Andreas Borowski²
Sascha Schmeling¹

¹CERN
²Universität Potsdam

Schülervorstellungen zur Urknalltheorie

Motivation

Der Urknall markiert den Beginn von Raum und Zeit und allem, was wir kennen. Er ist die „Geburt“ unseres heutigen bekannten Universums und hat damit unser modernes Weltbild geprägt. Gerade diese Vermittlung eines modernen Weltbilds ist ein häufig genannter Wunsch in der Physikdidaktik (Schecker, Fischer & Wiesner, 2004).

Im Bereich der Wissenschaftskommunikation am CERN (Educational Outreach) soll eine Lernsequenz im Bereich der Kosmologie entwickelt werden, welche, wenn möglich, für verschiedene Mitgliedsstaaten kompatibel sein soll. Eine häufig verwendete und wichtige Methode bei der Entwicklung von Unterrichtsmodulen ist die vorherige Untersuchung von Schülervorstellungen (Ausubel, 1968; Anderson, 2007).

Forschungsfragen

Die wenigen vorhandenen Studien in diesem Bereich – darunter eine in Deutschland (Kahnt & Thesing, 2010), eine in Schweden (Hansson & Redfors, 2006) und vier in den USA (Prather et al., 2003; Wallace, 2011; Bailey et al., 2012; Trouille et al., 2013) – deuten bereits erste Unterschiede zwischen den Ländern an. Dies könnte auf zum Teil unterschiedliche Stichproben und Erhebungsinstrumente zurückzuführen sein. Bisher existieren länderübergreifend keine vergleichbaren Studien zu diesem Thema. Daraus ergibt sich die Frage, ob die unterschiedlichen Ergebnisse länderbedingt oder Artefakte der Messung sind. Hieraus leiten sich die Forschungsfragen dieser Studie ab:

- Welche Schülervoraussetzungen sind bei deutschen Schülerinnen und Schülern vor jeglichem Unterricht vorhanden?
- Können die Ergebnisse der Studie von Kahnt & Thesing (2010) reproduziert werden und inwieweit unterscheiden sich diese Vorstellungen mit denen anderer Länder?

Design

Zur Beantwortung der Fragen wurden Schülervorstellungen in einer zur amerikanischen Literatur vergleichbaren Stichprobe erhoben. Als Grundlage dieser Studie dienen mehrere der bereits entwickelten und getesteten offenen Fragen der vier amerikanischen Studien. Diese wurden zunächst ins Deutsche übersetzt und in einer ersten Erhebung in sechs Klassen verschiedener deutscher Schulen aus drei Bundesländern eingesetzt. Insgesamt haben 126 Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 11 und 12 an der Studie teilgenommen.

Methode

Anhand der offenen Schülerantworten wurde induktiv ein Kategoriensystem entwickelt. Alle Antworten wurden in disjunkte Kategorien eingeordnet, wobei eine Schülerantwort auf verschiedene Kategorien passen kann. Beispielsweise die Schülerantwort „Irgendwas hat eine riesige Explosion verursacht, wodurch die Galaxien entstanden sind.“ wird in die Kategorien 'Explosion' sowie 'Entstehung von Galaxien' eingeordnet. Daher ergibt die Summe aller Prozentangaben nicht 100%. Die Prozentangaben beziehen sich auf den Anteil der Schüler und Schülerinnen, welche die entsprechende Kategorie genannt haben. Ein Vergleich mit anderen Studien wird nur gezogen, sofern die Fragestellung bzw. die Kategorien vorhanden und vergleichbar sind.

Ergebnisse

Die folgenden zwei Tabellen stellen Ergebnisse ausgewählter aber repräsentativer Bereiche und Antwortmöglichkeiten der Studie dar.

Assoziationen zur Urknalltheorie	Kahnt & Thesing (D 2010)	Wallace (USA 2011)	Bailey et al. (USA 2012)	Eigene Studie (D 2015)
Stichprobengröße	710	~ 580	219	126
Explosion irgendeiner Art	~ ^a 32%	54%	50%	30%
Kollision von Teilchen oder Objekten	–	–	9-11% ^b	22%
Entstehung/Entwicklung des Universums	~ ^a 25-34% ^b	45%	33%	39%
Expansion des Universums	~ ^a 6%	13%	9%	19%
Beginn/Entstehung von Raum und Zeit	–	–	1%	7%

Tabelle 1: Assoziationen zur Urknalltheorie

a: Schätzung aufgrund der Unleserlichkeit des Histogramms

b: Prozentbereich aufgrund der Kombination verschiedener Kategorien, bei denen nicht klar ist, ob ein Überlapp vorhanden ist

Alter des Universums	Hansson & Redfors (SE 2006)	Bailey et al. (USA 2012)	Eigene Studie (D 2015)
Stichprobengröße	88	239	126
Einige Milliarden Jahre	–	18%	17%
13-15 Milliarden Jahre	–	11%	21%
Es existiert schon immer / ist unendlich alt	~ ^a 14-33% ^b	21%	6%

Tabelle 2: Alter des Universums

a: Schätzung aufgrund der Unleserlichkeit des Histogramms

b: Prozentbereich aufgrund der Unterscheidung von physikalischer und eigener Sichtweise

Die Ergebnisse zeigen weitverbreitete Schülerfehlvorstellungen wie beispielsweise den Explosionsgedanken beim Urknall (Tabelle 1) von bereits existierender Materie in den leeren Raum oder die Existenz eines Zentrums des Universums (52%). Ein Großteil der deutschen Schülerinnen und Schüler (39%) kennt keinen einzigen der drei Grundpfeiler der Urknalltheorie (Expansion des Universums, kosmische Hintergrundstrahlung, primordiale Nukleosynthese). Die Ergebnisse aus Deutschland konnten teilweise reproduziert werden, allerdings wesentlich detaillierter. Bei einem Vergleich zwischen den Ländern zeigen sich erste Unterschiede. Beispielsweise assoziiert etwa ein Drittel aller deutschen Schülerinnen und Schüler eine Explosion mit dem Urknall, während dies bei etwa der Hälfte aller amerikanischen Studentinnen und Studenten der Fall ist (Tabelle 1). Es zeigt sich, dass deutsche Schülerinnen und Schüler im Ländervergleich teilweise eine leicht bessere Vorstellung bzw. ein leicht besseres Vorwissen rund um die Urknalltheorie besitzen. Es verknüpfen zum Beispiel mehr deutsche Schülerinnen und Schüler explizit die Entstehung von Raum und Zeit mit dem Urknall (Tabelle 1). Auch bei der Frage nach dem Alter des Universums liegen im Vergleich mit amerikanischen Studentinnen und Studenten etwa

doppelt so viele Antworten von ihnen im richtigen Altersbereich von 13 bis 15 Milliarden Jahren, während in den USA ein wesentlich höherer Anteil ähnlich wie bei schwedischen Schülerinnen und Schülern glaubt, dass das Universum schon immer existiert hat bzw. unendlich alt ist (Tabelle 2).

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen typische Schülervorstellungen zur Urknalltheorie und deuten unter Berücksichtigung der kleinen Stichprobe erste Unterschiede zwischen den Ländern an. Dies legt eine systematische weitere Untersuchung nahe, um diese Unterschiede detaillierter untersuchen zu können. Dafür wird aus den offenen Schülerantworten ein einheitliches Testinstrument entwickelt und nach anschließender Validierung international mit größeren Stichproben eingesetzt. Die Evaluation soll zum einen die Schülervorstellungen möglichst detailliert aufzeigen sowie einen Vergleich der Wissensvoraussetzungen und Fehlvorstellungen zur Urknalltheorie zwischen den verschiedenen Ländern ermöglichen.

Literatur

- Anderson, C. (2007). Perspectives on science learning. In: Abell, S.K., Lederman, N.G. (Eds.), Handbook of research on science education. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Mahwah, 3-30
- Ausubel, D. (1968). Educational psychology: A cognitive view. New York: Holt, Rinehart, and Winston
- Bailey, J.M. et al. (2012). A multi-institutional investigation of students' preinstructional ideas about cosmology. *Astronomy Education Review*, 11 (1)
- 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
- Kahnt, M. & Thesing, A. (2010). Schülervorstellungen zur Kosmologie. In Höttecke, D. (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik*. 263-265
- Prather, E.E., Slater, T.F. & Offerdahl, E.G. (2003). Hints of a fundamental misconception in cosmology. *Astronomy Education Review*, 1 (2), 28-34
- Schecker, H., Fischer, H. E. & Wiesner, H. (2004). Kerncurriculum Physik. In A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung*, S. 126-128
- Trouille, L.E. et al. (2013). Investigating student ideas about cosmology III: Big Bang Theory, expansion, age, and history of the Universe. *Astronomy Education Review*, 12 (1)
- Wallace, C.S. (2011). An investigation into introductory astronomy students' difficulties with cosmology and the development, validation and efficacy of a new suite of cosmology lecture-tutorials. Ph.D. Thesis. University of Colorado at Boulder.

Sarah Aretz^{1,2}Andreas Borowski²Sascha Schmeling¹¹CERN²Universität Potsdam

Entwicklung und Evaluation eines Modells zur Erstellung von OMC Aufgaben zur Expansion des Universums

Motivation

Moderne Physik sollte mehr Einzug in die Klassenräume nehmen, jedoch besteht laut Schecker et al. (2004) ein Bedarf an besseren Herangehensweisen für das Unterrichten bestimmter Themen wie beispielsweise Kosmologie. Die Entwicklung unseres Universums vom Urknall bis heute, knapp 14 Milliarden Jahre später, wird momentan am präzisesten durch die Urknalltheorie beschrieben – das heutzutage erfolgreichste Standardmodell der Kosmologie. Ein zentraler Inhalt in diesem Bereich ist die Expansion des Universums als einer der drei Grundpfeiler der Urknalltheorie. Wie sich jedoch das Verständnis der Bedeutung der Ausdehnung des Universums von Schülerinnen und Schülern entwickelt, ist bisher noch nicht vollständig verstanden. Zur großflächigen Untersuchung der vorhandenen Wissensbestände von Schülerinnen und Schülern, für einen sinnvollen und effektiv anknüpfenden Unterricht, ist die vorherige Entwicklung eines Verständnisentwicklungsmodells notwendig. Auf dessen Grundlage können Ordered Multiple Choice Aufgaben zur effektiven Erhebung der Wissensbestände entwickelt werden.

Theorie: Verständnisentwicklungsmodelle und Ordered Multiple Choice Aufgaben

Die zugrunde liegende Idee bei Verständnisentwicklungsmodellen ist die, dass das Verständnis von Schülerinnen und Schülern eines Konzepts oder einer Eigenschaft einer hierarchischen Struktur folgt. Dabei existieren verschiedene aufeinander aufbauende Niveaustufen, die jeweils ein bestimmtes Verständnisniveau widerspiegeln und bis auf das höchste Niveau verschiedene Fehlvorstellungen beinhalten. Beispiele für solche Modelle sind u.a. das Modell der Verständnisentwicklung von Materie (Hadenfeldt & Neumann, 2012), von Kraft und Bewegung (Alonzo & Steedle, 2009), zum System Erde-Sonne (Briggs et al., 2006) oder des Leseverstehens (Lin et al., 2010). Die einzige vorhandene Studie im Bereich der Expansion des Universums, die einen ersten Versuch eines strukturellen Aufbaus des Verständnisses hiervon beinhaltet, ist diejenige von Wallace (2011). Allerdings beinhaltet dieses Modell einen zusätzlichen Fokus auf der Fehlvorstellung des Urknalls als Explosion sowie der Struktur des Universums mit den Aspekten „Zentrum“ und „Rand des Universums“. Des Weiteren ist die explizite Darstellung von typischen Fehlvorstellungen nicht sehr detailliert. Der Fokus der Arbeit liegt jedoch auch nicht auf der Entwicklung und Validierung von Verständnisentwicklungsmodellen.

Auf der Grundlage eines solchen Modells können anschließend sogenannte Ordered Multiple Choice (OMC) Aufgaben entwickelt werden. Diese wurden erstmals von Briggs et al. (2006) vorgeschlagen als ein mögliches Instrument zur empirischen Validierung solcher Modelle. Dabei entspricht jede Antwortmöglichkeit in einer einzelnen Aufgabe einer Stufe des Entwicklungsmodells. Die richtige Antwortoption markiert das höchste Niveau in der Aufgabe, welche nicht dem höchsten Niveau des Modells entsprechen muss. Außerdem müssen nicht alle Niveaus in einer Aufgabe repräsentiert sein. Diese speziellen Multiple Choice Aufgaben besitzen die gleiche Effizienz bei der Auswertung wie traditionelle Multiple Choice (TMC) Aufgaben, jedoch können gleichzeitig mehr diagnostische Informationen gewonnen werden. Die wenigen vorhandenen Studien, die sich mit OMC Aufgaben beschäftigen (siehe die vier oben genannten Arbeiten zur Verständnisentwicklung), zeigen Vorteile im Vergleich zu TMC Aufgaben. Lehrkräfte

können mit ihnen auf effiziente Weise das Voranschreiten der Schülerinnen und Schüler in der Verständnisentwicklung erfassen (Hadenfeldt & Neumann, 2012) und OMC Aufgaben bergen ein großes Potential für Feedback bezüglich der vorhandenen Verständnisniveaus sowie beim Aufzeigen von Schwachstellen (Lin et al., 2010). Nach Alonzo & Steedle (2009) sind ihre entwickelten OMC Aufgaben zu Kraft und Bewegung sogar besser geeignet, Verständnisniveaus der Schülerinnen und Schüler einzuschätzen, als offene Aufgaben.

Ziel

Aufbauend auf offenen Aufgaben zur Expansion des Universums soll ein valides Modell zur Verständnisentwicklung zu diesem Thema erstellt werden. Auf dieser Grundlage sollen anschließend OMC Aufgaben zur Validierung des Modells sowie zur effektiven Erhebung der Wissensbestände entwickelt werden.

Design und Methode

Zur Beantwortung der Frage wurden Schülervorstellungen zur Urknalltheorie mit einem offenen Fragebogen erhoben. Dieser wurde in einer ersten Erhebung in sechs Klassen verschiedener deutscher Schulen aus drei Bundesländern eingesetzt. Insgesamt haben 126 Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 11 und 12 an der Studie teilgenommen. Anschließend wurden die verschiedenen vorhandenen Schülervorstellungen und Verständnisniveaus zur Expansion des Universums herausgearbeitet. Auf Grundlage der offenen Antworten wurde schließlich ein Verständnisentwicklungsmodell erstellt, evaluiert und darauf basierend OMC Aufgaben entwickelt.

Modell zur Expansion des Universums

Die folgende Tabelle zeigt das aus den offenen Antworten entwickelte Verständnisentwicklungsmodell zur Expansion des Universums. Neben der Beschreibung der verschiedenen Verständnisniveaus werden typische Fehlvorstellungen aufgeführt.

Niveau	Beschreibung
5	SuS^a kennen das Konzept der Raumausdehnung ohne falsche Aussagen zu nennen und erwähnen mindestens einen der folgenden Aspekte: • das Wachstum des gesamten Universums ohne Rand und Zentrum • Galaxien bleiben konstant in ihrer Größe; die Raumausdehnung wirkt nur zwischen den Galaxien • die Effekte auf elektromagnetische Strahlung (Rotverschiebung)
4	SuS wissen, dass Ausdehnung ein Wachstum der Größe des Universums aufgrund der Raumausdehnung bedeutet. Typischer Fehler: Der Raum dehnt sich überall aus, auch zwischen Sternen in Galaxien. Typischer Fehler: Dies hat keinen Einfluss auf das Licht, das von Objekten im Universum kommt.
3	SuS erkennen, dass Ausdehnung ein Wachstum der Größe des ganzen Universums bedeutet. Jedoch glaubt sie/er, dass dies aufgrund von sich ausbreitender Materie in einen nicht veränderlichen Raum geschieht. Typischer Fehler: Die Explosion des Urknalls verteilt alle Materie im Universum.
2	SuS erkennen, dass Ausdehnung ein Zunehmen von Entfernungen bedeutet. Jedoch glaubt sie/er, dass Entfernungen zwischen allen Arten von Objekten größer werden und/oder dass nur einzelne Objekte betroffen sind. Typischer Fehler: Einige Sterne bewegen sich voneinander weg.

	Typischer Fehler: Umlaufbahnen verändern sich und Abstände zwischen Planeten wachsen.
1	SuS erkennen nicht die Verbindung zu einem in seiner Größe wachsenden Universum und/oder größer werdenden Abständen. Typischer Fehler: Neue Entdeckungen vergrößern unser Wissen über das Universum. Typischer Fehler: Ausdehnung bedeutet die Entstehung neuer Objekte wie Sterne.
0	SuS geben keine Antwort, geben an, keine Idee zu haben oder schreiben etwas nicht auf die Frage Bezogenes.

a: Schülerinnen und Schüler

Tab. 1: Verständnisentwicklungsmodell zur Expansion des Universums

Alle 126 offenen Antworten wurden von insgesamt drei Ratern zu den verschiedenen Stufen dieses Modells zugeordnet mit einer Übereinstimmung von Cohens Kappa von [0.77-1]. Dabei konnten 116 Schülerinnen und Schüler zu jeweils einem bestimmten Niveau sowie sieben zu zwei aufeinander folgenden Niveaus zugeordnet werden. Lediglich drei Schülerinnen und Schüler wurden den Niveaus eins und drei zugeordnet.

Entwicklung von OMC Aufgaben

Auf der Grundlage des oben beschriebenen Verständnisentwicklungsmodells wurden anschließend OMC Aufgaben entwickelt. Diese wurden von zwei Experten inhaltlich überprüft und die unterschiedlichen Antwortoptionen im Anschluss von drei Ratern den Stufen des Modells zugeordnet. Nach leichten Abänderungen von 20% der Antwortoptionen für eine bessere Eindeutigkeit bei der Zuordnung, wurde eine Übereinstimmung mit den Ratern von 100% erreicht.

Diskussion und Ausblick

Diese Studie stellt zum einen ein Verständnisentwicklungsmodell zur Expansion des Universums vor mit einer ersten Validierung anhand einer kleineren Stichprobe. Es konnten alle bis auf drei Schülerinnen und Schüler zu einem oder zu zwei aufeinander folgenden Niveaus zugeordnet werden. Bei den drei Schülerinnen und Schülern hätte ein Interview eventuell Aufschluss darüber geben können, ob die Zuordnung der offenen Antworten zu den Verständnisniveaus korrekt eingeschätzt wurde. Außerdem ist eine größere Stichprobe mit der Möglichkeit von Interviews zur Verifizierung des vorhandenen Verständnisniveaus wünschenswert. Des Weiteren ist noch zu überprüfen, ob sich das Verständnis von Schülerinnen und Schülern entlang des hier vorgestellten Modells tatsächlich hierarchisch entwickelt.

Zum anderen werden die auf dieser Grundlage erstellten OMC Aufgaben vorgestellt, die inhaltlich validiert und deren Antwortoptionen erfolgreich den verschiedenen Stufen des Modells zugeordnet werden konnten. In einem nächsten Schritt werden diese Aufgaben zunächst in einer Think Aloud Studie mit Schülerinnen und Schülern getestet und anschließend in einer größeren deutschsprachigen Stichprobe erprobt. Nach dieser Validierung und einer Übersetzung in mehrere Sprachen werden die OMC Aufgaben schließlich international in einer größeren Stichprobe eingesetzt. Die Evaluation soll zum einen die Schülervorstellungen und Verständnisniveaus möglichst detailliert aufzeigen sowie einen Vergleich der Wissensvoraussetzungen und Fehlvorstellungen zwischen den verschiedenen Ländern ermöglichen.

Literatur

- Alonzo, A. C. & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93 (3), S. 389-421.
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C. & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11(1), S. 32-63.
- Hadenfeldt, J. C. & Neumann, K. (2012). Die Erfassung des Verständnisses von Materie durch Ordered Multiple Choice Aufgaben. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 18, S. 317-338.
- Lin, J., Chu, K. & Meng, Y. (2010). Distractor Rationale Taxonomy: Diagnostic Assessment of Reading with Ordered Multiple-Choice Items. Artikel vorgestellt auf dem jährlichen Treffen der AERA, Denver, Colorado.
- Schecker, H., Fischer, H. E. & Wiesner, H. (2004). Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe, in: *Kerncurriculum Oberstufe II*. Tenorth, H.-E.
- Wallace, C.S. (2011). An investigation into introductory astronomy students' difficulties with cosmology and the development, validation and efficacy of a new suite of cosmology lecture-tutorials. Ph.D. Thesis. University of Colorado at Boulder.

Danksagung

Zunächst möchte ich Professor Dr. Andreas Borowski sehr herzlich für seine Betreuung, Ratschläge und die kontinuierliche Unterstützung während der gesamten Dauer des Projekts danken. Trotz dabei zu überwindender Ländergrenzen funktionierte dies wunderbar und ich werde sehr gerne an diese Zeit zurückdenken. Weiterer Dank gilt meinem Mentor Dr. Sascha Schmeling für die Möglichkeit, dieses spannende Projekt am CERN durchgeführt haben zu können. Des Weiteren danke ich ebenfalls sehr herzlich Dr. habil. Christoph Kulgemeyer und Professor Dr. Helmut Prechtel für die Begutachtung der Dissertation sowie Matias Bargheer für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Besonderer Dank geht auch an Dr. David Buschhüter für die großartige Kollaboration und Unterstützung insbesondere in der zweiten Hälfte des Projekts. Ich habe dabei sehr viel gelernt und konnte mich zumindest mit einem kleinen Crash-Kurs in Kosmologie revanchieren. Natürlich wäre dieses Projekt ebenfalls nicht möglich gewesen ohne die Hilfe der studentischen Hilfskräfte Regine Welzel und Daniel Milow. Auch Joost Massolt möchte ich herzlich danken für seine Hilfe beim Fragebogen-Wahnsinn. Darüber hinaus möchte ich der gesamten Arbeitsgruppe für ihre Hilfe und Unterstützung danken sowie für die schönen Zeiten in Potsdam, am CERN und auf Konferenzen, ohne die es nicht das Gleiche gewesen wäre: Anna Nowak, Sven Liepertz, Uta Magdans, Beatrice Unger, Patrick Enkrott, Jirka Müller und Peter Ackermann.

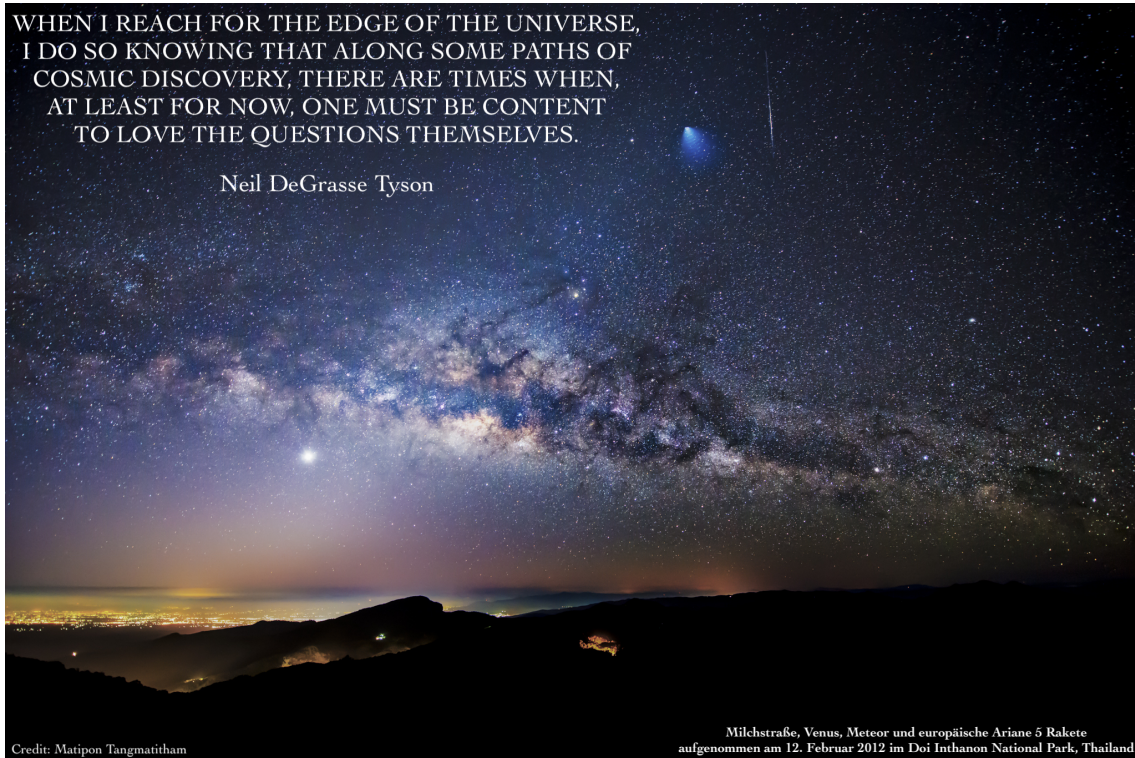
Weiterer Dank geht an alle meine Freunde und Kollegen am CERN, die meine Zeit noch angenehmer und abwechslungsreicher gemacht haben – die Zeit verflog einfach viel zu schnell. Hierbei möchte ich insbesondere Alexandra Jansky und Branislav Ristic hervorheben, die sich mutig der Expansion des Universums gestellt haben. Außerdem möchte ich dem James Bond Office danken, die mich freundlicherweise zu Beginn „adoptiert“ haben, darunter: Jenny, Karo, Christian, Daniel, Jens, Timon und die ebenfalls adoptierte Steffi. Ihr habt mich sofort aufgenommen und liebevoll über all die Jahre geneckt, bis ich schließlich als letzte übrig blieb. Auf dass unser weltweit hungriger Haufen uns auch in Zukunft über alle Ländergrenzen hinweg zusammenhält. Und natürlich vielen Dank an alle anderen, die mich unter-

stützt, mit mir gelitten und mich wieder aufgemuntert haben. Ohne dies hätte ich dieses Projekt nicht zu Ende bringen können.

Schließlich möchte ich noch meiner Mutter für ihre Unterstützung und ihr Interesse danken. Dieses Mal habe ich nicht nur nach den Sternen gegriffen, sondern sogar darüber hinaus...

WHEN I REACH FOR THE EDGE OF THE UNIVERSE,
I DO SO KNOWING THAT ALONG SOME PATHS OF
COSMIC DISCOVERY, THERE ARE TIMES WHEN,
AT LEAST FOR NOW, ONE MUST BE CONTENT
TO LOVE THE QUESTIONS THEMSELVES.

Neil DeGrasse Tyson



Credit: Matipon Tangmatitham

Milchstraße, Venus, Meteor und europäische Ariane 5 Rakete
aufgenommen am 12. Februar 2012 im Doi Inthanon National Park, Thailand