



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

TUM School of Education

Professur für Gymnasialpädagogik

---

**Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit  
und des situationalen Interesses unter Berücksichtigung  
individueller und instruktionaler Faktoren**

---

**Magdalena Katja Lenker**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät *TUM School of Education* der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Philosophie (Dr. phil.)**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende:

Prof. Dr. Annette Noschka-Roos

Prüfende/-r der Dissertation:

1. Prof. Dr. Doris Lewalter-Manhart
2. Prof. Dr. Burkhard Priemer,  
Humboldt-Universität zu Berlin

Die Dissertation wurde am 23.07.2018 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät *TUM School of Education* am 25.09.2018 angenommen.

# Zusammenfassung

Die Argumentationsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern sowie deren Interesse, sich mit Naturwissenschaften und naturwissenschaftlichen Argumentationen auseinanderzusetzen, sind wesentliche Bestandteile der naturwissenschaftlichen Grundbildung. Bisherige Studien berichten, dass die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit im Unterricht schwer zu vermitteln ist und die Schülerinnen und Schüler folglich über eine relativ geringe Argumentationsfähigkeit verfügen. Es stellt sich die Frage, wie ein Argumentationstraining in den Unterricht integriert und unter welchen Bedingungen diese Fähigkeit vermittelt werden kann. Es wird angenommen, dass individualisierte Instruktionen das Potenzial haben, die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und auch das situationale Interesse, welches ein relevanter Faktor für den Lernerfolg darstellt, zu fördern.

Der Schwerpunkt dieser Dissertation ist es, die Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts auf die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses zu identifizieren. Hierfür wurden drei Treatments mit unterschiedlich strukturierten Prompts (strukturierte vs. unstrukturierte Prompts vs. keine Prompts) entwickelt. Da es bisher kaum evidenzbasierte Lernumgebungen gibt, die beide Komponenten berücksichtigen, wurde exemplarisch für den Physikunterricht der 10. Klassen an bayerischen Gymnasien die digitale Lernumgebung „ArguKos“ entwickelt, welche fünf Unterrichtseinheiten zum Thema „Schwarze Löcher“ mit einem naturwissenschaftlichen Argumentationstraining kombiniert.

Die berichtete Studie wurde mit Genehmigung des bayerischen Staatsministeriums für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst an sieben bayerischen Gymnasien durchgeführt. Insgesamt nahmen 134 Probanden an der Erhebung teil. Für die Analyse der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit wurden *Concept Cartoons* in einem Pre-Posttest-Design eingesetzt, und während der Bearbeitung der Lernumgebung durch zusätzliche Argumentationsaufgaben mit den jeweiligen Treatments ergänzt. Im Anschluss an die Bearbeitung der jeweiligen „ArguKos“-Unterrichtseinheit beantworteten die Probanden Items zu ihrem situationalen Interesse.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Lernumgebung „ArguKos“ das situationale Interesse der Probanden fördern kann und Lehrkräfte bei der Bearbeitung eine entscheidende Rolle spielen. Die unterschiedlich strukturierten Prompts zeigen keine Effekte auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit. Dies bietet zahlreiche Anknüpfungspunkte für die pädagogische Praxis, wie auch für weitere Forschungsarbeiten.

# Abstract

Students' argumentation skills and their interest in dealing with the natural sciences and scientific arguments are fundamental components of scientific literacy. Studies have reported that the ability to use scientific arguments in class is difficult to convey and that students therefore have relatively low reasoning skills. The question that arises is how argumentation training can be integrated into the school curriculum and under what conditions argumentation skills can be taught. It is assumed that individualised instructions have the potential to promote scientific argumentation skills as well as situational interest, which is a relevant factor for learning success.

The focus of this dissertation is to identify the effects of differently structured prompts on the development of scientific reasoning skills and on the situational interest of learners. For this purpose, three treatments with differently structured prompts (structured vs. unstructured prompts vs. no prompts) were developed. Since there are hardly any evidence-based learning environments that take both components into account, the digital learning environment "ArguKos", was developed as an example for Bavarian tenth-grade physics classes. „ArguKos“ integrates a scientific argumentation training into five teaching units on the subject of "black holes".

The dissertation describes an extensive study that was conducted at seven Bavarian secondary schools with the approval of the Bavarian State Ministry of Education and Culture, Science and the Arts. A total of 134 participants took part in the survey. Students' argumentation skills were measured in two separate ways: through an assignment involving concept cartoons in a pretest-posttest design and by successive argumentation tasks carried out while working in ArguKos. After completing the respective "ArguKos" teaching unit, the participants answered questions on their situational interest

The results show that the learning environment "ArguKos" can promote students' the situational interest of the test participants and that teachers play a crucial role in adequately applying the ArguKos in the classroom. However, no effect of the differently structured prompts on the scientific argumentation skills were found. For this the study also offers numerous starting points for educational practice, as well as for further research.

## **Danksagung**

In den vergangenen Jahren wurde ich von vielen wunderbaren Menschen auf meinem „Dissertationsweg“ begleitet. Auf dieser Seite möchte ich meinem Dank Ausdruck verleihen.

Allen voran möchte ich Frau Prof. Dr. Doris Lewalter danken. Neben ihrer umfangreichen Betreuung, ihrer hilfreichen Rückmeldungen und der tatkräftigen Unterstützung möchte ich mich für ihr Vertrauen und ihre offenen Ohren bedanken! Danke, dass Du mir diese Arbeit ermöglicht hast!

Einen großen Dank möchte ich auch meinem Mentor, Herrn Prof. Dr. Burkhard Priemer, aussprechen, der mich kontinuierlich auf dem „Dissertationsweg“ begleitet hat. Danke für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und deine wertvollen Ratschläge.

Ebenfalls möchte ich mich bei der Hans-Böckler-Stiftung bedanken, die mir für die Promotion erneut ihr Vertrauen ausgesprochen hat und mir durch die Förderung den Weg zur Dissertation geebnet hat.

Für viele inspirierende Mittagspausen, Diskussionen, Feedbacks und Unterstützungen möchte ich an dieser Stelle meinen Kolleginnen Stephanie Moser und Sarah Kellberg danken. Ein besonderer Dank gilt Katrin Neubauer, die für mich vieles passend gemacht hat, und Sielle Phelan, die mich schon als studentische Hilfskraft inspiriert hat.

Ein großer Dank gilt den Lehrkräften sowie den Schülerinnen und Schülern, die sich bereiterklärten, an meiner Studie teilzunehmen. Ebenfalls möchte ich den studentischen Hilfskräften Erik Schmölling, Philip Denkovski, Aya Csizmazia und Selina Suarez für ihre tatkräftige Unterstützung danken mit der sie zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch an meine Familie richten. Dank gilt meiner Schwester Maria, die immer für eine Überraschung gut ist und mich wachsen lässt. Meinen Schwiegereltern Birgit und Siegfried möchte ich fürs Rückendecken und -stärken danken. Sie haben mir den Weg mit Rat, Tat und vielen Rechtschreibkorrekturen sehr erleichtert. Für unzählige Rundum-sorglos-Versorgungen während des Weges möchte ich meinem Opa Heinz und meinem Onkel Jochen danken!

Meinen Freunden möchte ich für die vielen gemeinsamen Abende, Unternehmungen, das kontinuierliche Interesse an meiner Arbeit und den immer wieder gefundenen Humor danken!

Nicht zuletzt danke ich meinem Ehemann Martin für die Liebe und die guten Taten.

*Magdalena Lenker, Juli 2018*

Für Opa.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	12
2. Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit .....	18
2.1. Definition der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit .....	18
2.2. Die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit für den Unterricht.....	20
2.2.1. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit als Teil der naturwissenschaftlichen Grundbildung nach PISA .....	20
2.2.1.1. Teilkompetenzen in der PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung.....	22
2.2.1.2. Kontexte in der PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung .....	23
2.2.1.3. Wissen und motivationale Orientierung in der PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung.....	23
2.2.2. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit in den Bildungsstandards und im Lehrplan für das Fach Physik .....	24
2.2.3. Argumentationsaufgaben im Unterricht .....	27
2.2.3.1. Argumentationsaufgaben .....	27
2.2.3.2. Concept Cartoons .....	28
2.2.3.3. Arten des Argumentierens.....	28
2.3. Operationalisierung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit.....	29
2.3.1. Möglichkeiten zur Operationalisierung von Argumenten .....	29
2.3.1.1. Inhalt als Bewertungskriterium.....	30
2.3.1.2. Begründung als Bewertungskriterium .....	30
2.3.1.3. Struktur als Bewertungskriterium .....	31
2.3.2. Das Argumentationsschema nach Toulmin .....	32
2.3.2.1. Charakterisierung des Argumentationsschemas nach Toulmin .....	32
2.3.2.2. Adaptionen des Argumentationsschemas nach Toulmin.....	34
2.4. Zusammenfassung .....	37
3. Individuelle, situationale und instruktionale Faktoren bei der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit .....	39
3.1. Physikalisches Grundverständnis .....	40
3.2. Situationales Interesse und Autonomie- und Kompetenzerleben.....	41
3.2.1. Situationales Interesse.....	42
3.2.2. Autonomie- und Kompetenzerleben ( <i>basic needs</i> ).....	46
3.3. Instruktionale Faktoren.....	48

3.3.1. Instruktionen im Unterricht .....	48
3.3.2. Prompts .....	50
3.5. Zusammenfassung .....	52
4. Die Lernumgebung „ArguKos“ .....	54
4.1. Entwicklung der Lernumgebung „ArguKos“ .....	54
4.1.1. Lernplattform „mebis“ .....	55
4.1.2. Zusammenarbeit mit Fachlehrkräften .....	57
4.1.3. Das Thema „Schwarze Löcher“ im Lehrplan der 10. Klasse an bayerischen Gymnasien .....	57
4.2. Aufbau der Lerneinheiten und Vorstellung der Inhalte.....	58
4.2.1. Unterrichtseinheit 1: Wie funktioniert naturwissenschaftliches Argumentieren? .....	59
4.2.2. Unterrichtseinheit 2: Was ist Gravitation und das Teilchenmodell des Lichts? .....	61
4.2.3. Unterrichtseinheit 3: Licht kann durch Gravitation abgelenkt werden .....	62
4.2.4. Unterrichtseinheit 4: Entstehung und Eigenschaft eines schwarzen Lochs... 63	
4.2.5. Unterrichtseinheit 5: Berechnung des Schwarzschildradius.....	64
5. Fragestellungen und Hypothesen .....	65
6. Methodik .....	74
6.1. Untersuchungsdesign.....	74
6.2. Charakteristika der Stichprobe .....	76
6.3. Erhebungsinstrumente .....	77
6.3.1. Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit .....	80
6.3.1.1. Vor- und Nachbefragung mittels <i>Concept Cartoons</i> .....	80
6.3.1.2. Begleiterhebung mittels Argumentationsaufgaben .....	83
6.3.1.3 Einsatz von unterschiedlich strukturierten Prompts bei den Argumentationsaufgaben .....	85
6.3.2. Physikalisches Grundverständnis .....	87
6.3.3. Situationsbedingte Merkmale .....	88
6.3.3.1. Situationales Interesse.....	89
6.3.3.2. Erleben von Autonomie und Kompetenz.....	91
6.3.4. Weitere Variablen.....	94
6.4. Umgang mit fehlenden Werten .....	100
6.5. Datenanalyse .....	101
6.5.1. Analyse der naturwissenschaftlichen Argumente.....	102
6.5.1.1. Kodiermanual „ArguKos“ .....	102

6.5.1.2. Die Güte des Kodiermanuals .....	103
6.5.1.3. Auswertung der Argumente .....	104
6.5.2. Analyse des physikalischen Grundverständnisses.....	104
6.5.3. Eingesetzte Analyseverfahren zur Beantwortung der Forschungsfragen....	105
7. Ergebnisse .....	107
7.1. Deskriptive Ergebnisse.....	107
7.1.1. Lernplattform „mebis“ .....	107
7.1.2. Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ .....	108
7.2. Charakteristika der Teilstichprobe Ü6 .....	109
7.3. Die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses (Forschungsfrage 1).....	111
7.4. Auswirkungen instruktionaler, individueller und situationaler Faktoren auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfragen 2.1. – 2.6.) ....	114
7.4.1. Die Auswirkung unterschiedlich strukturierter Prompts auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.1.).....	114
7.4.2. Die Auswirkungen des unterschiedlichen physikalischen Grundverständnisses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.2.).	116
7.4.3. Die Auswirkungen von unterschiedlich strukturierter Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit? (Forschungsfrage 2.3.) .....	119
7.4.4. Die Auswirkungen von unterschiedlichem situationalen Interesses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.4.).....	121
7.4.5. Der Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.5.).....	122
7.4.6. Die Auswirkungen von unterschiedlichem Autonomie- und Kompetenzerleben auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.6.) .....	122
7.4.7. Der Zusammenhang zwischen dem Autonomie- und Kompetenzerleben und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.7.).....	123
7.5. Auswirkungen von unterschiedlich strukturierter Prompts auf das situationale Interesse und das Autonomie- und Kompetenzerleben (Forschungsfragen 3.1. – 3.5) .....	124
7.5.1. Die Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das situationale Interesse (Forschungsfrage 3.1.).....	124
7.5.2. Die Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben (Forschungsfrage 3.2.).....	125
7.5.3. Die Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das situationale Interesse? (Forschungsfrage 3.3.) .....	127

7.5.4. Die Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnisses auf das Autonomie- und Kompetenzerleben (Forschungsfrage 3.4.).....	128
7.5.5. Der Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und dem Erleben von Autonomie und Kompetenz (Forschungsfrage 3.5.).....	129
8. Diskussion.....	130
8.1. „Null findings“ und deren Bedeutung .....	130
8.2. Zusammenfassende Diskussion zentraler Befunde .....	131
8.2.1. Physikalisches Grundverständnis .....	132
8.2.2. Situationale Interesse und Autonomie- und Kompetenzerleben .....	133
8.2.2.1. Situationales Interesse.....	134
8.2.2.2. Autonomie- und Kompetenzerleben .....	135
8.2.2.3. Situationales Interesse und Autonomie- und Kompetenzerleben .....	137
8.2.3. Prompts.....	138
8.2.3.1. Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit .....	138
8.2.3.2. Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das situationale Interesse .....	140
8.2.3.3. Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben .....	141
8.2.3.4. Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnisses auf das Autonomie- und Kompetenzerleben .....	143
8.2.4. Die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses .....	146
8.2.4.1. Die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit .....	146
8.2.4.2. Die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung des situationalen Interesses .....	150
8.3. Ökologische Validität und Limitationen .....	152
8.3.1. Ökologische Validität .....	152
8.3.2. Limitationen.....	152
8.4. Implikationen für die pädagogische Praxis und die weitere Forschung.....	154
8.5. Fazit.....	157
9. Literaturverzeichnis .....	158
10. Anhang.....	173
Anhang 1: „ArguKos“ Unterrichtsmaterial .....	173

Anhang 1.1. Unterrichtseinheit 1 .....	176
Anhang 1.2. Unterrichtseinheit 2 .....	181
Anhang 1.3. Unterrichtseinheit 3 .....	187
Anhang 1.4. Unterrichtseinheit 4 .....	192
Anhang 1.5. Unterrichtseinheit 5 .....	197
Anhang 2: Informationen zur Durchführung der Studie .....	203
Anhang 2.1. Handbuch für Lehrkräfte (Inhaltsverzeichnis) .....	203
Anhang 2.2. Exemplarischer Ablauf der <i>Kick-Off</i> -Veranstaltungen .....	205
Anhang 3: Vorbefragung .....	206
Anhang 4: Begleitbefragung .....	220
Anhang 5: Nachbefragung .....	224
Anhang 6: Kodiermanual „ArguKos“ .....	231
Anhang 7: Charakteristika der Teilstichprobe U6 .....	248

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung (Schiepe-Tiska et al., 2013) .....	22
Abbildung 2: Toulmins Argumentationsschema .....	33
Abbildung 3: Basisschema von Toulmins Argumentationsschema.....	37
Abbildung 4: Modell der Interessengeneese (Krapp, 1998; Krapp et al., 2014) .....	44
Abbildung 5: Startseite der Lernplattform „mebis“ .....	56
Abbildung 6: Steckbrief „ArguKos – Argumentieren lernen in der Kosmologie“ .....	58
Abbildung 7: ArguKos – Startseite des Kurses mit einem Bild der Spiral Galaxy M81	60
Abbildung 8: ArguKos – Ausschnitt des Advanced Organizers in der 2. Unterrichtseinheit .....	61
Abbildung 9: ArguKos - Ausschnitt des Lernmaterials zur 3. Unterrichtseinheit.....	62
Abbildung 10: ArguKos - Argumentationsaufgabe der 4. Unterrichtseinheit .....	63
Abbildung 11: ArguKos- Zusammenfassung des Projekts und Ausblick.....	64
Abbildung 12: Untersuchungsdesign der empirischen Studie .....	75
Abbildung 13: <i>Concept Cartoon</i> „Berg und Tal" .....	81
Abbildung 14: <i>Concept Cartoon</i> „Die Kugelbahn" .....	82
Abbildung 15: <i>Concept Cartoon</i> „Die Schneemänner" .....	83
Abbildung 16: ArguKos - Unterrichtseinheiten zur Erhebung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit.....	83
Abbildung 17: Beispielitem aus dem Test zum physikalischen Grundverständnis (Ludwig, 2017; Zander, 2016).....	88
Abbildung 18: Verteilung der Stichprobe auf die Teilstichproben Ü6/U6.....	110
Abbildung 19: Boxplot zur Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit für die Teilstichproben „U6“ und „Ü6“ .....	113
Abbildung 20: Wright-Map des physikalischen Grundverständnisses .....	117
Abbildung 21: Teilstichprobe für Forschungsfrage 2.2. ....	118
Abbildung 22: Neun Teilstichproben für Forschungsfrage 2.3. ....	120

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Erhebungsinstrumente .....	79
Tabelle 2: Kennwerte der Items zum situationalen Interesse (Catch).....	90
Tabelle 3: Kennwerte der Items zum situationalen Interesse (Hold).....	91
Tabelle 4: Kennwerte der Items zum Erleben von Kompetenz .....	92
Tabelle 5: Kennwerte der Items zum Erleben von Autonomie.....	93
Tabelle 6: Kennwerte der Items zu Freude und Interesse an den Naturwissenschaften .	95
Tabelle 7: Kennwerte der Items zur Naturwissenschaftlichen Selbstwirksamkeitserwartung .....	96
Tabelle 8: Kennwerte der Items zum schulfachspezifischem Interesse.....	97
Tabelle 9: Kennwerte der Items zur Selbstregulation .....	98
Tabelle 10: Kennwerte der Items zu Freude und Interesse am Arbeiten mit dem Computer .....	98
Tabelle 11: Kennwerte der Items zur Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung.....	99
Tabelle 12: Übersicht der Kappa-Werte für die einzelnen Kodierungsschritte .....	104
Tabelle 13: Asymptotische Signifikanz der Teilstichprobe Ü6 .....	111
Tabelle 14: Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollgruppe bei der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (UE 1, 3 & 5).....	115
Tabelle 15: Vergleich des Einflusses der Treatments A, B und C.....	116
Tabelle 16: Auswirkungen von unterschiedlichem physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Vor- & Nachbefragung) ...	118
Tabelle 17: Auswirkungen von unterschiedlichem physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (UE 1, 3 & 5).....	119
Tabelle 18: Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit .....	121
Tabelle 19: Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bei unterschiedlichem situationalen Interesse.....	122
Tabelle 20: Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bei unterschiedlichem motivational-relevantem Erleben (UE 1.3 und 5).....	123
Tabelle 21: Auswirkungen der unterschiedlich strukturierten Prompts auf das situationale Interesse.....	124
Tabelle 22: Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das zusammengefasste Autonomie- und Kompetenzerleben.....	125
Tabelle 23: Detaillierte Analyse der Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben .....	126
Tabelle 24: Auswirkungen der unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das situationale Interesse.....	127
Tabelle 25: Einfluss der unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das Autonomie- und Kompetenzerleben ...	129

# 1. Einleitung

Das Argumentieren ist eine wichtige Kompetenz, um als mündiger Bürger beziehungsweise mündige Bürgerin am gesellschaftlichen Leben zu partizipieren. Bei der Vermittlung dieser Kompetenz kommt der Schule eine tragende Rolle zu. Denn im Rahmen der schulischen Ausbildung von Schülerinnen und Schülern sollen ihnen neben (Fach-)Wissen auch Kompetenzen vermittelt werden (Weinert, 2001; Willems, 2011).

Neben dem Deutschunterricht sind vor allem die naturwissenschaftlichen Fächer besonders geeignet, die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit zu vermitteln. Die zu konstruierenden Argumente können sich auf gewonnene Daten oder Evidenzen beziehen und erlauben den Schülerinnen und Schülern so klare Schlussfolgerungen ziehen zu können. Durch die Evidenzen bieten die naturwissenschaftlichen Fächer eine nachvollziehbare und transparente Argumentationsgrundlage. Darüber hinaus erfüllt die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit, die Fähigkeit Argumente zu naturwissenschaftlichen Phänomenen zu konstruieren und zu kritisieren (Osborne, Simon, Christodoulou, Howell-Richardson, & Richardson, 2013), im Naturwissenschaftsunterricht – vor allem im Physikunterricht, auf den sich diese Arbeit exemplarisch bezieht, – eine Doppelfunktion. Zum einen hilft sie Schülerinnen und Schüler, ihr Fachwissen zu erweitern, und zum anderen lehrt sie diesen die naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise kennen zu lernen (Simon, Erduran, Osborne, 2008; Zohar & Nehmet 2002, Fleischhauer 2013).

Die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung (Schiepe-Tiska, Schöps, Köller, & Prenzel, 2013) weist die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit als einen wichtigen Teil der naturwissenschaftlichen Grundbildung aus. Die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zielt darauf ab, dass Schülerinnen und Schüler durch die Naturwissenschaften zu mündigen Bürgern werden, die ihre Entscheidungen basierend auf Evidenzen, Regeln und Logik treffen und somit nicht die Argumente von Autoritäten ungeprüft übernehmen (Osborne et al., 2001).

Bisherige Studien zeigen allerdings, dass Schülerinnen und Schüler bisweilen über eine geringe naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit verfügen und diese auch nur schwer zu vermitteln ist (Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2007; Erduran, Simon, & Osborne, 2004; Osborne, Erduran, Simon, & Monk, 2001; Osborne, Erduran, Sibel, &

Simon, 2004). Allerdings konnten Studien (Osborne et al., 2001, 2004; Zohar & Nemet, 2002) nachweisen, dass die Schülerinnen und Schüler ihre naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit durch ein gezieltes Training verbessern konnten. Hilfreich für die Lernenden ist dabei das Argumentationsschema nach Stephen Toulmin (Toulmin, 1958), welches die Struktur eines Arguments abbildet und durch das In-Beziehung-Setzen der einzelnen Elemente die Schülerinnen und Schüler bei der Konstruktion und der Kritik eines naturwissenschaftlichen Arguments unterstützt. In Folge dessen wurde es bereits in zahlreichen Studien zu Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Erduran et al., 2004; Kelly, Druker, & Chen, 1998; Osborne et al., 2004; Riemeier, von Aufschnaiter, Fleischhauer, & Rogge, 2012; Sadler & Fowler, 2006) eingesetzt.

Dennoch stellt sich weiterhin die Frage, wie ein Argumentationstraining in den Unterricht integriert werden kann und unter welchen Bedingungen die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit im Schulunterricht vermittelt werden kann. Einen ersten Ansatz liefert die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung (Schiepe-Tiska et al., 2013). Diese benennt ganz allgemein das Wissen und die motivationale Orientierung der Schülerinnen und Schüler als Grundlage für den Kompetenz- und Fähigkeitserwerb im Rahmen der naturwissenschaftlichen Grundbildung.

Basierend auf der PISA-Rahmenkonzeption, erscheint es sinnvoll, dass (physikalische) Grundverständnis der Schülerinnen und Schüler, das situationale Interesse sowie das Autonomie- und Kompetenzerleben zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit in die theoretischen und anwendungsspezifischen Überlegungen mit einzubeziehen. Bisherige Forschungsarbeiten haben mögliche Auswirkungen und Zusammenhänge dieser Faktoren auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit kaum untersucht (Bybee, McCrae, & Laurie, 2009). Besonders die Auswirkungen und der Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit wurden bisher kaum untersucht. Hinsichtlich des bereits bekannten positiven Zusammenhangs zwischen dem Interesse und dem Lernerfolg (Boekaerts et al., 2000; Hidi & Renninger, 2006; Schiefele, 2009b; Schiefele & Heinen, 2006) wird angenommen, dass sich das situationale Interesse positiv auf die Aneignung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit auswirkt und somit eine tragende Rolle beim Kompetenzerwerb einnimmt.

Ein vielversprechender Ansatz zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses scheint der Einsatz von unterschiedlich strukturierten Instruktionen (Kapitel 3.3.) in Form von Prompts (Kapitel 3.3.2.) zu sein.

Prompts unterstützen die Lernenden in der Bewältigung konkreter Lernsituationen durch Hinweise, die helfen sollen, ihr Wissen zu aktivieren und/oder die Nutzung ihrer bereits vorhandenen Fähigkeiten anzuregen (Wirth, 2009). Unter Berücksichtigung des theoretischen Hintergrunds zum Einsatz von Instruktionen wird erwartet, dass durch den unterschiedlichen Strukturierungsgrad das physikalische Grundverständnis als individuelle Lernvoraussetzung berücksichtigt und das situationale Interesse sowie das Autonomie- und Kompetenzerleben der Schülerinnen und Schüler angeregt und gefördert wird. Folglich sind positive Auswirkungen auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit zu erwarten.

Ausgehend von den theoretischen Ausführungen wurde auf Grundlage eines Kriterienkatalogs gemeinsam mit Lehrkräften die Lernumgebung „ArguKos – Argumentieren lernen in der Kosmologie“ (Kapitel 4.) entwickelt. Diese Lernumgebung wird exemplarisch zur Überprüfung der getroffenen Hypothesen herangezogen. Das Ziel der Lernumgebung „ArguKos“ ist es, die Schülerinnen und Schüler in ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und ihrem situationalen Interesse anhand des zum Lehrplan passenden naturwissenschaftlichen Themas „Schwarze Löcher“ innerhalb von fünf Unterrichtseinheiten zu fördern.

Für die vorliegende Arbeit konnten drei Hauptfragestellungen identifiziert werden:

- 1.) Inwiefern eignet sich die Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses?
- 2.) Welche Auswirkungen haben individuelle, situationale und instruktionale Faktoren auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit?
- 3.) Welche Auswirkungen haben unterschiedlich strukturierte Prompts auf das situationale Interesse und das Autonomie- und Kompetenzerleben?

Vor dem Hintergrund der theoretischen Überlegungen und der Fragestellungen soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur Identifizierung von Bedingungen, unter denen die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und die Förderung des situationalen Interesses gelingen kann, leisten.

Die vorliegende Arbeit ist in zwei Hauptbereiche gegliedert, nämlich den theoretischen und den empirischen Teil.

Das Kapitel 2. stellt die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und deren Bedeutung für die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Grundbildung von Schülerinnen und Schülern im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts dar. Ebenfalls werden Möglichkeiten zur Operationalisierung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit vorgestellt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Argumentationsschema nach Toulmin (Toulmin, 1958, 2003).

Daran anschließend wird in Kapitel 3, auf die individuellen (Kapitel 3.1.), situationalen (Kapitel 3.2.) und instruktionalen Faktoren (Kapitel 3.3.), die aufgrund aktueller Forschungsbefunde für die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit relevant erscheinen, eingegangen.

Unter Berücksichtigung des theoretischen Hintergrunds (Kapitel 2. und 3.) erfolgt die Formulierung eines Kriterienkatalogs zur Entwicklung der Lernumgebung „ArguKos – Argumentieren lernen in der Kosmologie“ (Kapitel 4.1.). Die Lernumgebung „ArguKos“ (Kapitel 4.) greift die individuellen, situationalen und instruktionalen Faktoren, die als relevant für die Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses identifiziert wurden, auf.

Den theoretischen Teil der Arbeit abschließend werden in Kapitel 5. die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit formuliert. Das Untersuchungsdesign (Kapitel 6.1.), die Charakteristik der Stichprobe (Kapitel 6.2.), der Umgang mit den fehlenden Werten (Kapitel 6.4.) und die Datenanalyse (Kapitel 6.5.) werden im nachfolgenden Kapitel (Kapitel 6.) beschrieben.

Die Präsentation der Analyseergebnisse in Kapitel 7. gliedert sich nach den gestellten Forschungsfragen. Unter Berücksichtigung von Theorie, Methodik und anwendungsbezogenen Aspekten für den Unterricht werden die vorliegenden Forschungsergebnisse in Kapitel 8. zusammenfassend diskutiert.

# **Theoretischer Teil**

## 2. Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit

Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit liegt auf der Frage, wie die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Unterricht gelingen kann. In Kapitel 2.1. wird die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit definiert. Im Kapitel 2.2. wird auf die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit für die naturwissenschaftliche Grundbildung (Kapitel 2.2.1.) sowie in den Bildungsstandards und im Lehrplan (Kapitel 2.2.2.) eingegangen. Kapitel 2.2.3 zeigt Möglichkeiten für Argumentationsaufgaben im Unterricht auf. In Abschnitt 2.3. wird die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit operationalisiert. Dabei wird auf verschiedene Bewertungskriterien (Kapitel 2.3.1.) und anschließend auf Toulmins Argumentationsschema (Kapitel 2.3.2.) detailliert eingegangen. Abschließend werden in Kapitel 2.4. die zentralen Erkenntnisse aus diesem Kapitel zusammengefasst.

### 2.1. Definition der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit

Mit der Fähigkeit zu argumentieren beschäftigen sich seit der Antike unterschiedliche Forschungsdisziplinen, wie zum Beispiel Sprachwissenschaft, Philosophie, Naturwissenschaftsdidaktik oder die Lehr-Lern-Forschung (Gromadecki, 2009). Aufgrund der langen Historie<sup>1</sup> kann der Argumentationsbegriff unterschiedlich interpretiert und ausgelegt werden, so dass es keinen Konsens über eine einheitliche Begriffsdefinition in der Forschungslandschaft zum Argumentieren gibt (Fleischhauer, 2013; Gromadecki, 2009; Ludwig, 2017; Osborne & Patterson, 2011).

Einigkeit besteht bei der Feststellung, dass es sich bei Argumentationen um eine Form des Diskurses handelt, der in mündlicher oder schriftlicher Form stattfinden kann (Fleischhauer, 2013). Bei einem Diskurs zeigen sich zwei verschiedene Qualitäten des Argumentierens, nämlich der Prozess- und der Produktcharakter (Blackburn, 2005; Fleischhauer, 2013; Wenzel, 1992). Der Prozesscharakter, das Argumentieren, zeigt sich in der Auseinandersetzung zwischen dem Argumentierenden und seinem Gegenspieler (Blackburn, 2005; Wenzel, 1992). Das Ziel hierbei ist es, unterschiedliche Positionen aufzuzeigen, deutlich zu machen und zu verteidigen (van Eemeren & Grootendorst,

---

<sup>1</sup> Ein ausführlicher historischer Überblick ist bei Gromadecki (2009) zu finden.

2004). Um eine Position zu vertreten, werden Argumente konstruiert. Dabei werden Evidenzen und Daten genutzt, um eine Behauptung zu begründen oder zu widerlegen. Durch die Betrachtung der einzelnen Elemente, die nötig sind, um ein nachvollziehbares Argument zu konstruieren, zeigt sich der Produktcharakter (Blackburn, 2005; Wenzel, 1992) des naturwissenschaftlichen Argumentierens. Damit wird deutlich, dass das Argumentieren (Prozess) vom Argument (Produkt) differenziert werden sollte.

Aus dieser Betrachtungsweise heraus hat sich in der Forschungslandschaft zum naturwissenschaftlichen Argumentieren die Definition durch die Forschergruppe rund um Osborne, Driver und Newton etabliert. Dabei wird die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit als die Fähigkeit, Argumente zu naturwissenschaftlichen Phänomenen zu konstruieren und zu kritisieren (Osborne et al., 2013), definiert. Bei der Konstruktion eines Arguments werden die verschiedenen Bestandteile des Arguments identifiziert, Theorien und Evidenzen aufeinander bezogen und in eine Beziehung zueinander gesetzt (Osborne et al., 2013). Bei der Kritik eines Arguments müssen die Bestandteile des Arguments ebenfalls identifiziert werden. Zusätzlich muss deren Validität evaluiert und mit möglichen Alternativen verglichen werden (Osborne et al., 2013).

Mit dieser Definition wird die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit von der Fähigkeit, Erklärungen geben zu können, abgegrenzt<sup>2</sup>. Während bei einer Erklärung das naturwissenschaftliche Phänomen oder der Standpunkt bereits anerkannt ist, wird von einem Argument erwartet, dass eine Behauptung gerechtfertigt, ein Standpunkt plausibel dargestellt oder eine entwickelte Erklärung etabliert wird (Osborne & Patterson, 2011; Sampson & Clark, 2006; van Eemeren & Grootendorst, 2004), so dass ein Beitrag zum Erkenntnisprozess geleistet wird (Fleischhauer, 2013; van Eemeren & Grootendorst, 2004).

---

<sup>2</sup> Abgrenzungen zu den Begriffen Beweis, Kommunikation, Begründung, Rechtfertigung, Diskussion u.a. sind ebenfalls bei Gromadecki (2009) zu finden.

## 2.2. Die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit für den Unterricht

Die kontinuierliche Aufmerksamkeit, die die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit erhält, lässt auf eine hohe Relevanz für Forschung und Unterricht schließen (Osborne, 2010). Vor allem im angelsächsischen Raum erfährt die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit seitens der Unterrichtsforschung in den letzten Jahrzehnten große Aufmerksamkeit (Abd-El-Khalick et al., 2004; Hefter et al., 2014; Kuhn, 1991, 1993; Kuhn et al., 1988; Newton, Driver, & Osborne, 1999; Osborne, 2010; Osborne et al., 2001, 2004; Simon, Erduran, & Osborne, 2006). Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit ist ein Teil des naturwissenschaftlichen Denkens (Kuhn, 1993) und spielt eine zentrale Rolle bei der Generierung von neuem Wissen (Ball, 1994; Bell, 2004; Duschl & Grandy, 2008; Duschl et al., 2007; Fleischhauer, 2013; Gromadecki, 2009; Kuhn, 1991, 1993; Mittelsten Scheid & Hössle, 2008; Newton et al., 1999; Toulmin, 1958, 2003). Diese zentrale Fähigkeit ist nicht erst für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in ihrer täglichen Arbeit von Bedeutung, sondern auch schon für Schülerinnen und Schüler. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit fördert die naturwissenschaftliche Grundbildung, weswegen der Vermittlung dieser Kompetenz eine wesentliche Bedeutung für den naturwissenschaftlichen Unterricht zukommt.

In Kapitel 2.2.1. wird auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit als Teil der naturwissenschaftlichen Grundbildung nach PISA eingegangen. Kapitel 2.2.2. geht auf die Notwendigkeit der Förderung und Integration der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeiten im Unterricht – in der vorliegenden Arbeit exemplarisch im Physikunterricht – ein.

### **2.2.1. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit als Teil der naturwissenschaftlichen Grundbildung nach PISA**

Die Vermittlung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (auch *Scientific Literacy* genannt) ist ein wesentliches Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Eine Teilfähigkeit der naturwissenschaftlichen Grundbildung, die Schülerinnen und Schüler erlernen sollen, ist die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Anderson, 2007; Bybee et al., 2009; Holbrook & Rannikmae, 2009; Laugksch, 2000; Millar, 2008;

Roberts, 2007). Im vorliegenden Abschnitt wird die naturwissenschaftliche Grundbildung nach PISA vorgestellt und die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit als Teil dieser Grundbildung dargestellt.

Die Wichtigkeit der naturwissenschaftlichen Grundbildung wird auch von der internationalen Schulleistungsstudie PISA<sup>3</sup> hervorgehoben. PISA prüft, inwieweit Schülerinnen und Schüler am Ende ihrer Pflichtschulzeit eine Grundbildung in den Bereichen Lesen, Mathematik und in den Naturwissenschaften haben, die diese dazu befähigt, ihr wissenschaftliches Verständnis in Alltagssituationen anzuwenden (Bybee et al., 2009; OECD, 2006; Schiepe-Tiska et al., 2013).

Das PISA-Konsortium definiert die naturwissenschaftliche Grundbildung als „die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen.“ (Baumert et al., 2003, S.3). Eine Person sollte daher folgende Fähigkeiten (Bybee et al., 2009; OECD, 2006, 2013; Prenzel et al., 2007; Schiepe-Tiska et al., 2013) besitzen:

- Naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, um Fragestellungen zu erkennen, sich neues Wissen anzueignen, naturwissenschaftliche Phänomene zu beschreiben und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen,
- charakteristische Eigenschaften der Naturwissenschaften als eine Form menschlichen Wissens und Forschens zu verstehen,
- zu erkennen und sich darüber bewusst zu sein, wie Naturwissenschaften und Technik unsere materielle, intellektuelle und kulturelle Umwelt formen,
- bereit zu sein, sich mit naturwissenschaftlichen Ideen und Themen zu beschäftigen und sich reflektierend mit ihnen auseinanderzusetzen.

Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit als Teil der naturwissenschaftlichen Grundbildung nach PISA findet sich unter anderem in den Personenfähigkeiten neues Wissen anzueignen, Schlussfolgerungen zu ziehen, sich mit naturwissenschaftlichen Ideen und Themen auseinanderzusetzen etc. wieder. Zusammengefasst ergibt sich daraus

---

<sup>3</sup> Programme for International Student Assessment

die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung (Bybee et al., 2009; OECD, 2006, 2007; Schiepe-Tiska et al., 2013).

Die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung (Abbildung 1) bettet die zu erwerbenden Teilkompetenzen in Kontexte und zeigt, welche personellen und situationalen Faktoren grundlegend zur Vermittlung der Teilkompetenzen vorhanden sein müssen. Die in der PISA-Rahmenkonzeption dargestellten Elemente werden nachfolgend beschrieben.

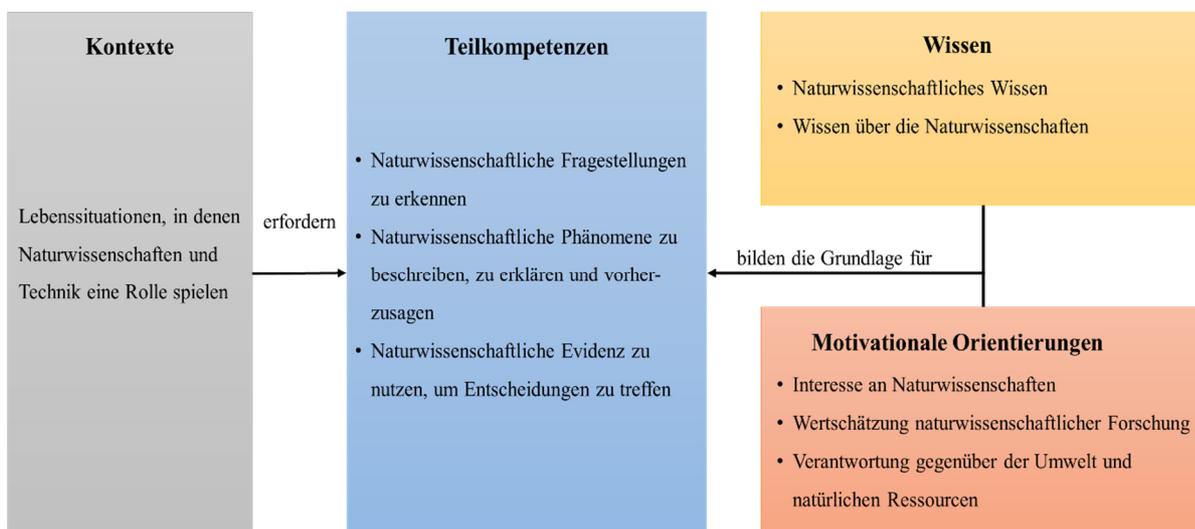


Abbildung 1: Die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung (Schiepe-Tiska et al., 2013)

### 2.2.1.1. Teilkompetenzen in der PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung

Den Kern des PISA-Rahmenkonzepts bilden drei Teilkompetenzen, die von Schülerinnen und Schülern im Rahmen der naturwissenschaftlichen Grundbildung erworben werden sollen. Diese sind naturwissenschaftliche Fragestellungen zu erkennen, naturwissenschaftliche Phänomene zu beschreiben, zu erklären und vorherzusagen und naturwissenschaftliche Evidenz zu nutzen, um Entscheidungen zu treffen. Diese Kompetenzen stehen in enger Beziehung mit Schlüsselfähigkeiten, die die Schülerinnen und Schüler erwerben sollen (Bybee et al., 2009). Diese Schlüsselfähigkeiten sind das induktive und deduktive Schlussfolgern, das systemische Denken, das Treffen von kritischen Entscheidungen, das Umwandeln von Daten in Tabellen und Grafiken, das

Einsetzen der Mathematik sowie das Konstruieren von Erklärungen und Argumente auf Grundlage von Daten (Bybee et al., 2009).

Die Vermittlung der Teilkompetenzen und damit auch der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zielt darauf ab, dass Schülerinnen und Schüler in gesellschaftlichen Debatten, die naturwissenschaftliche Themen betreffen, partizipieren können und nicht die Argumente von Autoritäten ungeprüft übernehmen (Osborne et al., 2001).

#### 2.2.1.2. Kontexte in der PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung

Schülerinnen und Schüler sehen sich in ihrem Alltag immer wieder mit Problemen oder Phänomenen konfrontiert, in denen Naturwissenschaften und Technik eine Rolle spielen. Diese Kontexte, wie sie in der PISA-Rahmenkonzeption genannt sind, zeigen Schülerinnen und Schülern, welchen signifikanten Einfluss der stetig wachsende (technische) Fortschritt auf das tägliche Leben hat besonders in Bereichen, wie zum Beispiel Gesundheitsfragen, Umgang mit natürlichen Ressourcen, und in weiteren Themen, die auf persönlicher, gesellschaftlicher und globaler Ebene anzutreffen sind (Bybee et al., 2009; Schiepe-Tiska et al., 2013). Im Hinblick auf diese Bereiche und Themen und deren Entwicklung ist eine umfangreiche naturwissenschaftliche Grundbildung unabdingbar.

#### 2.2.1.3. Wissen und motivationale Orientierung in der PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung

Der Erwerb der Teilfähigkeiten kann auf der Grundlage vom Wissen und der motivationalen Orientierung der Schülerinnen und Schüler gefördert werden.

Das Wissen umfasst zwei Teile. Zum einen das naturwissenschaftliche Wissen und zum anderen das Wissen über die Naturwissenschaften. Bei Ersterem, dem naturwissenschaftlichen Wissen, geht es um das Verständnis von grundlegenden Konzepten (Bybee et al., 2009). Dieses Wissen umfasst objektorientiertes und fachbezogenes naturwissenschaftliches Wissen, wie zum Beispiel physikalische Systeme, lebende Systeme, Erd- sowie Weltraumsysteme und technologische Systeme (Bybee et

al., 2009; Schiepe-Tiska et al., 2013). Der zweite Teil, das Wissen über Naturwissenschaften, beinhaltet das prozessorientierte und fächerübergreifende (Meta-)Wissen (Schiepe-Tiska et al., 2013). Beide Wissensaspekte sind bedeutsam für die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit, werden aber auch durch diese gefördert. Die Schülerinnen und Schüler können zum einen ihr Fachwissen erweitern und zum anderen lernen sie die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und das naturwissenschaftliche Argumentieren als wesentlichen Bestandteil des naturwissenschaftlichen Arbeitens (Bybee et al., 2009; Fleischhauer, 2013; Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008b; Prenzel et al., 2007; Schiepe-Tiska et al., 2013) kennen.

Die motivationale Orientierung beeinflusst die Handlungen einer Person (Bybee et al., 2009), denn sie adressiert die Einstellungen und Überzeugungen einer Person (Bybee et al., 2009; Schiepe-Tiska et al., 2013) insbesondere in Bezug auf „*Interesse an Naturwissenschaften und Technologien, der Wertschätzung naturwissenschaftlicher Forschung sowie Verantwortungsbewusstsein gegenüber der Umwelt und natürlichen Ressourcen*“ (Schiepe-Tiska et al., 2013., S.192).

### **2.2.2. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit in den Bildungsstandards und im Lehrplan für das Fach Physik**

Eine Reaktion auf die Veröffentlichungen der mangelhaften Leistungen der Schülerinnen und Schüler in den PISA-Studien 2000 und 2003 (PISA 2001, 2004) war die Einführung der Bildungsstandards im Jahr 2004 (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005a, 2005b, 2005c). Durch die Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer rückt die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit auch in Deutschland immer weiter in das Interesse der empirischen Bildungsforschung.

Die Bildungsstandards legen den Fokus auf einen kompetenzorientierten Unterricht und sollen gewährleisten, dass Schülerinnen und Schüler mit dem Erwerb des Mittleren Schulabschlusses über naturwissenschaftliche und fachspezifische Kompetenzen verfügen, die sie befähigen, mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen souverän in ihrem persönlichen Alltag umzugehen. Die Kompetenzen, die Schülerinnen und Schüler erwerben sollen, werden in den Bildungsstandards nach Weinert (2001) definiert. Demnach sind Kompetenzen „*die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren*

*kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen, motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“* (Weinert, 2001, S. 27). Die in den naturwissenschaftlichen Fächern zu erlernenden Kompetenzen werden in den Bildungsstandards in vier Kompetenzbereiche aufgeteilt: Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung. Insbesondere in den verschiedenen Regelstandards der Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung sind Teilfähigkeiten zu finden, die in unmittelbarem Zusammenhang mit der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit stehen.

Für die vorliegende Arbeit wird das Unterrichtsfach Physik exemplarisch zur Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit herangezogen. *„Die Physik stellt eine wesentliche Grundlage für das Verstehen natürlicher Phänomene und für die Erklärung und Beurteilung technischer Systeme und Entwicklungen dar.“* (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005c, S. 6). Die Physik leistet einen Beitrag für viele andere Fächer, wie zum Beispiel Chemie, Biologie und Ingenieurwissenschaften, indem sie den Schülerinnen und Schülern hilft Erklärungen und Wirkungszusammenhänge von natürlichen Phänomenen zu modellieren und sich kritisch mit diesen auseinanderzusetzen. Bezugnehmend auf die Kompetenzbereiche der Bildungsstandards ist es die Aufgabe eines kompetenzorientierten Physikunterrichts Schülerinnen und Schüler in ihrer Kommunikationskompetenz zu stärken, da physikalische Erkenntnisse diskursiv begründet und empirisch belegt werden müssen (Wächter & Kauertz, 2013).

Für den Physikunterricht an bayerischen Gymnasien werden im Lehrplan Zielsetzungen für die 10. Klasse explizit formuliert:

„Die Schüler der Jahrgangsstufe 10 erfahren, wie sich das Bild von der Natur aus den Vorstellungen in der Antike über das auf wenigen Prinzipien aufbauende System Newton bis hin zur Quantenphysik entwickelt hat. Hierbei erkennen sie, dass zunehmend verfeinerte Untersuchungsmethoden zu Ergebnissen führen können, die mit den jeweils geltenden Vorstellungen und Theorien nicht in Einklang zu bringen sind und deshalb die Entwicklung neuer umfassender Modellvorstellungen erzwingen. Die Schüler verstehen, dass physikalische

Erkenntnisse nicht nur einen fundamentalen Wandel des Weltbilds bewirken, sondern auch durch ihre Auswirkungen auf Gesellschaft und Technik die Lebensbedingungen des Menschen mitbestimmen können.“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 2009, S. 1)

Infolge dieser Ausführung wird die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit als Bildungs- und Unterrichtsziel deutlich. Wie durch die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung (Abbildung 1) gefordert, soll nicht nur das Fachwissen der Schülerinnen und Schüler erweitert werden, sondern sie sollen auch über das Fach und dessen Natur lernen (Driver et al., 2000; Fleischhauer, 2013; Gromadecki, 2009; Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008b; Osborne & Collins, 2001; Schiepe-Tiska et al., 2013). Den Schülerinnen und Schülern soll auf diese Weise ein adäquates Wissenschaftsbild vermittelt werden (Gromadecki, 2009). Dieses beinhaltet das Wissen, dass wissenschaftliches Wissen ein vorläufiges und menschliches Konstrukt ist (Widodo & Duit, 2002), welches gerade durch naturwissenschaftliches Argumentieren verändert werden kann (Fleischhauer, 2013; Gromadecki, 2009). Durch die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit erlernen die Schülerinnen und Schüler prozedurale Fähigkeiten, die sie befähigen, kritisch und folgerichtig zu denken, was ein wesentlicher Teil der naturwissenschaftlichen Grundbildung und ein allgemeines Bildungsziel darstellt.

Die formulierten Anforderungen an den Physikunterricht (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 2009; Bybee et al., 2009; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005c) stellen Lehrkräfte vor neue Problematiken bei ihrer Unterrichtsgestaltung. Zum einen verfügen selbst Lehrkräfte oftmals nur über ein geringes adäquates Wissenschaftsbild, worauf Driver et al. (Driver et al., 2000) in ihrer Studie hinweisen. Als Konsequenz darauf, brachte eine gezielte Schulung von Lehrkräften, wie sie die Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler im Unterricht integrieren können, nur wenige signifikante Veränderungen mit sich, wie die Studie von Osborne et al. (Osborne et al., 2013) zeigt. Zum anderen gibt es bisweilen überwiegend nur Ansätze, die den inhaltlichen Schwerpunkt bei der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit auf soziokulturelle (Osborne et al., 2004, 2013) und weniger auf die geforderten fachspezifischen Inhalte legen. Durch diese Fokussierung kann den Schülerinnen und Schüler im Unterricht kein authentischer Erkenntnisprozess vermittelt

werden (Ludwig, 2017). Aus den vorangegangenen Gründen steht bisher noch kein breites Repertoire an methodischen Zugängen sowie an empirisch überprüften Unterrichtsmaterialien zur Implementierung im Unterricht für Lehrkräfte zur Verfügung. Der nächste Abschnitt soll zeigen, wie Argumentationsanlässe im Unterricht geschaffen werden können.

### **2.2.3. Argumentationsaufgaben im Unterricht**

Um Schülerinnen und Schüler überhaupt zum Argumentieren anzuregen, müssen im Unterricht Argumentationsanlässe geschaffen werden. Denn bisherige Studien zu soziokulturellen Themen (Osborne et al., 2001, 2004; Zohar & Nemet, 2002) konnten nachweisen, dass die Schülerinnen und Schüler ihre naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit durch ein gezieltes Training verbessern konnten.

Argumentationsanlässe im Unterricht entstehen durch Aufgaben, die den Schülerinnen und Schülern kontroverse Themen, Situationen oder Theorien präsentieren. Dabei ist es hilfreich, wenn eine Lernaufgabe einen offenen Ausgang besitzt, der im Lernmaterial selbst nicht enthalten ist (Osborne et al., 2013). Im Kapitel 2.2.3.1. werden verschiedene Argumentationsaufgaben vorgestellt. Anschließend wird die Methode der *Concept Cartoons* herausgegriffen und näher beschrieben (Kapitel 2.2.3.2.), bevor im letzten Abschnitt auf die Arten des Argumentierens eingegangen wird (Kapitel 2.2.3.3.).

#### 2.2.3.1. Argumentationsaufgaben

Argumentationsaufgaben können im Unterricht ganz vielseitig aussehen. Dabei werden Argumentationsaufgaben oft in verschiedene Methoden eingebettet. Eine häufige Methode Schülerinnen und Schüler zum Argumentieren anzuregen, bieten Diskussionen. Dabei können verschiedene Variationen zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel die Diskussion in Kleingruppen, im gesamten Klassenverbund oder in Form einer *Fishbowl*-Diskussion.

Die Methode der Fallbeispiele eignet sich, um den Schülerinnen und Schülern Argumentationsaufgaben zur Überprüfung von evidenten und pseudoevidenten Fakten oder zur Auseinandersetzung mit konfligierenden Evidenzen zu stellen (Osborne et al., 2004).

In Zusammenhang mit Experimenten gibt es die Methode „Vorhersagen – Beobachten – Erklären“, die für Argumentationsanlässe im Unterricht herangezogen werden kann (Osborne

et al., 2004). Auch der Einsatz von nicht-hypothesenkonformen Ergebnissen bei Experimenten bietet den Schülerinnen und Schülern Argumentationsanlässe (Ludwig, 2017).

Eine weitere Möglichkeit der Argumentationsaufgabe stellt die Bearbeitung und Diskussion eines *Concept Cartoons* dar. Die Intention der *Concept Cartoons* werden im nächsten Abschnitt ausführlich vorgestellt.

#### 2.2.3.2. Concept Cartoons

*Concept Cartoons* bieten die Möglichkeit, naturwissenschaftliche Sachverhalte zum einen bildlich und zum anderen auch kontrovers darzustellen (Kraus & von Aufschnaiter, 2005), wodurch sie gewinnbringend im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt werden können (Keogh & Naylor, 1999). *Concept Cartoons* sind comicartige Zeichnungen, in denen in der Regel Schülerinnen und Schüler dargestellt sind, die typische und untereinander sich widersprechende Alltagsvorstellungen von physikalischen Inhalten äußern. Die Idee der *Concept Cartoons* ist nicht primär, genau eine richtige Antwort zu identifizieren, als vielmehr Argumente für oder gegen eine Sichtweise und gegebenenfalls weitere Bedingungen zu formulieren. Aus diesem Grund wird die Methode der *Concept Cartoons* für die vorliegende Studie ausgewählt, da sich diese sehr gut zur freien Erfassung der Argumentationsfähigkeit eignet (Kraus & von Aufschnaiter, 2005; Osborne et al., 2004; Wächter & Kauertz, 2013).

#### 2.2.3.3. Arten des Argumentierens

Neben der Frage, worüber argumentiert werden kann, stellt sich auch die Frage nach dem Wie. Wie eingangs schon erwähnt, werden Argumente häufig in mündlicher Form, wie zum Beispiel in Gruppendiskussionen, ausgetauscht. Dabei haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit ihre Argumente schnell auszutauschen und bei Unklarheiten durch Erklärungen Klarheit zu schaffen.

Bei schriftlichen Argumenten hingegen haben die Schülerinnen und Schüler bei Unklarheiten nicht die Möglichkeit, weitere Erläuterungen anzuführen. Dadurch werden die Schülerinnen und Schüler dazu angeregt, ihre verwendete Sprache zu reflektieren, um gut verständliche Argumente zu konstruieren, durch die ihre Behauptung gerechtfertigt und gestützt wird (Osborne et al., 2004).

Durch diesen Prozess kann das Erlernen der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit gefestigt und vertieft werden (Osborne et al., 2004).

### 2.3. Operationalisierung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit

Gegenstand des nachfolgenden Abschnitts ist die Frage nach der Operationalisierung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. Hinsichtlich der Operationalisierung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit kristallisieren sich zwei Forschungsinteressen heraus (Fleischhauer, 2013). Ein Forschungsinteresse beschäftigt sich mit den schülerspezifischen Vorstellungen zu den naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen sowie der dazugehörigen Funktion der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit bei der Generierung von neuem Wissen (Leach, Millar, Ryder, & Séré, 2000; Sandoval & Millwood, 2005, 2008). Das zweite Forschungsinteresse, welchem sich auch diese Arbeit widmet, bezieht sich direkt auf die von Schülerinnen und Schülern generierten naturwissenschaftlichen Argumente (Fleischhauer, 2013).

Im Kapitel 2.3.1. werden allgemeine Möglichkeiten zur Operationalisierung von Argumenten präsentiert. Im Kapitel 2.3.2. wird das Argumentationsmodell nach Toulmin vorgestellt. Die Anpassung des Modells für die vorliegende Arbeit erfolgt ebenfalls in diesem Kapitel.

#### 2.3.1. Möglichkeiten zur Operationalisierung von Argumenten

Zur Beantwortung der Fragen, wie gut Schülerinnen und Schüler argumentieren können und ob der naturwissenschaftliche Schulunterricht Lernende bei der Entwicklung ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit unterstützen kann, haben sich verschiedene Forschergruppen mit Rahmenkonzepten und Analysemöglichkeiten von naturwissenschaftlichen Argumenten beschäftigt. Sampson und Clark (Sampson & Clark, 2008) geben in ihrem Review einen Überblick über Bewertungskriterien und Analysemöglichkeiten von (naturwissenschaftlichen) Argumenten, die die Operationalisierung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit sowie deren

Erfassung und Bewertung ermöglichen. Dabei werden drei Bewertungskriterien herangezogen: Inhalt, Begründung und Struktur.

Die Bewertungskriterien „Inhalt“ und „Begründung“ sind stark an die jeweilige Domäne gebunden, wodurch eine Analyse der Argumente nicht unabhängig von inhaltlichen Kriterien erfolgen kann. Die Strukturanalyse eines Arguments hingegen kann domänenunabhängig erfolgen und ermöglicht so, Vergleiche über die verschiedenen Domänen hinweg anzustellen.

Im nachfolgenden Absatz werden die einzelnen Bewertungskriterien exemplarisch vorgestellt.

#### 2.3.1.1. Inhalt als Bewertungskriterium

Bei der Analyse eines naturwissenschaftlichen Arguments unter dem Gesichtspunkt des Inhaltes wird die Genauigkeit und die Eignung der einzelnen Komponenten aus einer naturwissenschaftlichen Sichtweise heraus untersucht.

Aus diesem Blickwinkel heraus untersuchen Zohar und Nemet (Zohar & Nemet, 2002) die Qualität schriftlicher Argumente von Schülerinnen und Schülern (7. - 9. Jahrgangsstufe). Definiert werden Argumente von Zohar und Nemet (2002) als eine Behauptung, die durch eine oder mehrere Begründungen untermauert wird. Durch diese grobe Aufteilung der Bestandteile eines Arguments konzentriert sich die Analysemethode hauptsächlich auf die Qualität des verwendeten naturwissenschaftlichen Wissens. In diesem Fall weist ein starkes Argument mehrere Begründungen auf, bei denen das naturwissenschaftliche Wissen richtig angewendet wird. Entsprechend weist ein schwaches Argument kaum Begründungen auf, und das naturwissenschaftliche Wissen wird in der Regel falsch oder gar nicht angewandt.

#### 2.3.1.2. Begründung als Bewertungskriterium

Der Fokus des Bewertungskriteriums „Begründung“ liegt auf dem Inhalt eines Arguments. Mithilfe des Bewertungskriterium „Begründung“ wird geprüft, ob ein Argument durch valide Daten gestützt wird und die daraus resultierende Erklärung kohärent und kausal ist. Durch das Bewertungskriterium kann die konzeptuelle und die erkenntnistheoretische Qualität eines Arguments analysiert werden.

Die Operationalisierung eines Arguments durch das Bewertungskriterium „Begründung“ setzten unter anderem Sandoval (2005) und Sandoval und Millwood (2005) in ihren Studien ein. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit wird in diesem Fall durch die konzeptuelle und die epistemologische Qualität eines Argumentes bestimmt. Zur Bestimmung der konzeptuellen Qualität werden die Kriterien kausales Element („*causal element*“), Artikulation der Behauptung („*articulation of claim*“) und verwendete Daten, um die Behauptung zu stützen („*data included to support claim*“), herangezogen. Zur Bestimmung der epistemologischen Qualität werden die Kriterien Angemessenheit der verwendeten Daten („*sufficiency of cited data*“), kausale Kohärenz („*causal coherence*“) und rhetorische Referenz („*rhetorical reference*“) herangezogen.

#### 2.3.1.3. Struktur als Bewertungskriterium

Wie eingangs erwähnt, kann der strukturelle Aufbau eines Arguments in der Regel domänenunabhängig untersucht werden. Bei dem Bewertungskriterium „Struktur“ wird untersucht, welche Bestandteile ein Argument aufweist. Dabei werden verschiedene Argumentationselementen oder -typen unterschieden, die in Abhängigkeit des Forschungsschwerpunktes unterschiedlich gewichtet werden. Kommt ein Bestandteil mit einer hohen Gewichtung häufiger vor, so wird daraus auf eine hohe Qualität des Arguments geschlossen.

Beispielsweise unterscheiden Schwarz et al. (Schwarz, Neumann, Gil, & Ilya, 2003) zwei Argumentationselementen: Schlussfolgerung („*conclusion*“) und Grund („*reason*“). Durch die unterschiedliche Verwendung dieser Elemente, ergibt sich eine vierstufige Hierarchie der Argumentationsstruktur: (1) alleinstehende Schlussfolgerung („*assertion only*“); (2) einseitiges Argument („*one sided argument*“), bei welchem die Schlussfolgerung von mindestens einem Grund gestützt wird, (3) zweiseitiges Argument („*two sides argument*“), bei dem die Schlussfolgerung durch zwei konträre Gründe gestützt wird und (4) zusammengesetztes Argument („*compound argument*“), bei dem eine bewusste Bewertung der Gründe vorgenommen wird.

Ein weiteres in der Forschungslandschaft sehr beachtetes Argumentationsschema zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit anhand des Kriteriums „Struktur“ ist das Argumentationsschema nach Toulmin (Toulmin, 1958, 2003).

Aufgrund der Bedeutung des Argumentationsschemas für die vorliegende Arbeit soll dieses im nachfolgenden Kapitel detailliert beschrieben werden

### **2.3.2. Das Argumentationsschema nach Toulmin**

Bis heute wird – auch international - zur Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit Bezug auf das Argumentationsschema nach Stephen Toulmin (1958) genommen. Eine Charakterisierung von Toulmins Argumentationsschema ist in Kapitel 2.3.2.1. zu finden. Je nach spezifischer Fragestellung hat das Argumentationsschema nach Toulmin verschiedene Adaptionen erfahren. Diese und die Adaptionen für die vorliegende Arbeit werden in Kapitel 2.3.2.2. erläutert.

#### 2.3.2.1. Charakterisierung des Argumentationsschemas nach Toulmin

Im Jahr 1958 veröffentlichte Stephen Toulmin in seinem Buch „*The uses of argument*“ (Toulmin, 1958) das „*Toulmin’s Argumentation Pattern*“ (kurz TAP), welches zur Vermittlung und Analyse der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit in der internationalen Forschungslandschaft große Beachtung findet (Fleischhauer, 2013).

Wie in dem vorangegangenen Abschnitt bereits erläutert, konzentriert sich diese Arbeit auf das Produkt der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit, das Argument. Ein Argument kann als eine Einheit für oder gegen einen Sachverhalt gesehen werden. Betrachtet man diese Einheit im Detail und untersucht die einzelnen Sätze, so kann eine feinere Struktur identifiziert werden, die die logische Form, die Validität und die Relevanz eines Argumentes ausmacht (Toulmin, 1958, 2003).

Diese Struktur stellt Toulmin in seinem Argumentationsschema (Abbildung 2) dar und zeigt dabei, dass ein vollständiges und damit potenziell überzeugendes Argument idealerweise sechs Bestandteile (Toulmin, 1958, 2003) hat: Behauptung („claim“), Datum („data“), Schlussregel („warrant“), Operator („qualifier“), Ausnahmebedingung („rebuttal“) und Stützung („backing“).

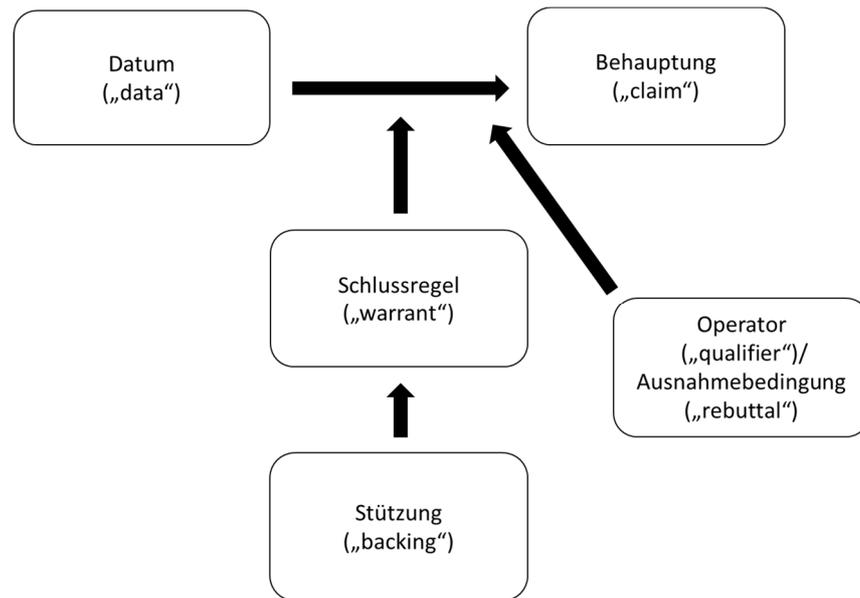


Abbildung 2: Toulmin's Argumentationsschema

Zu Beginn eines jeden Arguments steht eine Behauptung („claim“). Toulmin definiert ein Argument als Behauptung, wenn sie durch eine Rechtfertigung begleitet wird (Toulmin, 1958). Entsprechend benötigt das Argument weitere unterstützende Elemente, um überzeugend zu sein. Es folgt das Datum („data“). Das Datum ist die Grundlage für die Behauptung und rechtfertigt diese. Nach der Präsentation des Datums können weitere Daten angeführt werden. Allerdings ist zu beachten, dass durch eine Aufzählung mehrerer Daten die Akzeptanz eines Arguments nicht zwangsläufig gestärkt wird (Toulmin, 1958, 2003).

Die eigentliche Stärkung des Arguments findet durch die Schlussregel („warrant“) statt. Die Schlussregel schafft eine logische Verbindung zwischen der Behauptung und dem Datum, indem sie Prinzipien, Gesetzmäßigkeiten und allgemeingültige Erklärungen anführt. Erst durch sie wird deutlich, warum ein Datum für die Behauptung zulässig ist. Gerade der Umstand, dass erläutert werden muss, warum ein Datum eine Behauptung stützt, ist für Schülerinnen und Schüler oftmals nicht ersichtlich und stellt sie vor eine größere Herausforderung, wie Sandoval und Millwood (Sandoval & Millwood, 2008) in ihrer Studie feststellen. Für den Fall, dass die Schlussregel eher zaghaft oder nicht vollständig überzeugend ist, sieht das TAP zwei weitere Bestandteile vor, um die Schlussregel zu stärken: Operatoren („qualifier“) und Ausnahmebedingungen („rebuttal“). Ein Operator weist durch die Wörter „vermutlich“ oder „wahrscheinlich“ auf Schwachstellen innerhalb des Arguments hin (Toulmin, 1958, 2003). Die

Ausnahmebedingung erläutert die Umstände, warum eine allgemeingültige Erklärung in diesem besonderen Fall außer Acht gelassen werden kann (Toulmin, 1958, 2003). „*Die Operatoren und Ausnahmebedingungen machen dabei deutlich, wie allgemeingültig die Schlussregel ist*“ (Fleischhauer, 2013, S. 17).

Am Ende können die Operatoren und Ausnahmebedingungen allerdings keine Antwort auf die Frage, wie zulässig die Schlussregel überhaupt ist, geben. Die Zulässigkeit einer Schlussregel rechtfertigt die Stützung („backing“) durch Statistiken, taxonomische Klassifikationen, Grundsätze, und Ähnlichem.

Eine wesentliche Besonderheit des Argumentationsschemas nach Toulmin ist, dass es nicht speziell auf eine Domäne festgelegt ist. Die (Nicht-)Akzeptanz eines Arguments hängt von den Gepflogenheiten und Anforderungen der jeweiligen Disziplin ab. Aufgrund dieser Allgemeingültigkeit der Metaebene eines Arguments, die in diesem Argumentationsschema beschrieben wird, wird das TAP in vielen Studien zur Vermittlung und Erforschung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Unterricht eingesetzt.

#### 2.3.2.2 Adaptionen des Argumentationsschemas nach Toulmin

Mithilfe des TAPs (Argumentationsschema nach Toulmin) können Schülerinnen und Schüler die einzelnen Bestandteile eines Arguments und deren Beziehungen untereinander lernen. Mittels des TAPs können die Lernenden bei der Konstruktion und auch bei der Kritik eines Arguments unterstützt werden. „*Deshalb ist es als didaktisches Instrument für das Erlernen von argumentativen Fähigkeiten von großer Bedeutung*“ (Gromadecki, 2009, S.116).

Unter Berücksichtigung dieser Annahmen wurde das TAP bereits von einer Vielzahl von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern (u.a. Dawson & Venville, 2009; Erduran et al., 2004; Osborne et al., 2004; Riemeier et al., 2012; Sampson & Clark, 2008) in Argumentationstrainings und in der Analyse der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit eingesetzt. Das vollständige Argumentationsschema mit seinen sechs Bestandteilen ist allerdings oftmals zu komplex und verwirrend für Schülerinnen und Schüler, um ihnen die grundlegende naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit zu vermitteln. Aus diesem Grund wurde das TAP oftmals für die verschiedenen

Forschungsstudien (leicht) verändert. Diese Veränderungen lassen sich in vier verschiedene Bereiche einteilen: Erweiterung, Neudefinition, Umbenennung und Reduktion. Nachfolgend sollen Beispiele zu den vier Bereichen aufgezeigt werden.

#### Erweiterung:

Das TAP ist eine hilfreiche Unterstützung bei der Analyse eines einzelnen Arguments. An seine Grenzen stößt das TAP, wenn es um die Analyse von Diskursen im Klassenzimmer geht, in deren Rahmen mehrere Argumente ausgetauscht werden, da zum Beispiel Gegenargumente nicht berücksichtigt werden. In Folge dessen findet eine Erweiterung des TAPs mit dem Element Gegenargument („*counterargument*“) bzw. Gegenbehauptung („*counterclaim*“) statt, wenn der Schwerpunkt einer wissenschaftlichen Arbeit auf einer Diskursanalyse liegt (u.a. Chin & Osborne, 2010; Erduran et al., 2004; Means & Voss, 1996).

#### Neudefinition:

Die Definition und Abgrenzung einzelner Bestandteile des TAPs sind oftmals sehr problematisch, da sie einen weiten Interpretationsspielraum lassen. Folglich wird das TAP diesbezüglich häufig Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler kritisiert (Erduran, 2008; Erduran et al., 2004; Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008a; Kelly & Takao, 2002; Simosi, 2003). Oftmals bezieht sich die Kritik auf die Elemente „Schlussregel“ und „Stützung“, die nicht eindeutig voneinander abgegrenzt werden. Des Weiteren ist auch die Abgrenzung der „Schlussregel“ von den „Daten“ oftmals nicht eindeutig genug. Aufgrund dieser Kritik werden einzelne Elemente, wie zum Beispiel die „Schlussregel“, in Studien neu definiert. Dadurch wird die Vergleichbarkeit von Forschungsarbeiten vermindert.

#### Umbenennung:

Schülerinnen und Schüler zeigen häufig Verständnisschwierigkeiten bezüglich der abstrakten Begriffe des TAPs. In Folge dessen werden die Elemente zu Studienzwecken und zur besseren Verständlichkeit für die Schülerinnen und Schüler umbenannt. Im modifizierten TAP, das Osborne (Osborne, 2010) in seinem Artikel präsentiert, wurde

das Element „Daten“ in „Theoretische Annahmen“ umbenannt, wohingegen Jiménez-Aleixandre et al. (Jiménez-Aleixandre & López Álvarez, 2009) „Daten“ in „Evidenzen“ umbenannt haben. Des Weiteren nennen sie die „Stützung“ in ihrer Studie „Hintergrundwissen“. Das Element „Schlussregel“ nennen Jiménez-Aleixandre et al. (2009) in ihrer Studie „Rechtfertigung“.

### Reduktion:

Mit Blick auf die Komplexität des TAPs gehen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dazu über, Elemente zusammenzufassen und neue Kategorien zu bilden. Beispielsweise gibt es Studien (Means & Voss, 1996; Sampson & Clark, 2008; Zohar & Nemet, 2002), die die Elemente „Daten“, „Schlussregel“ und „Stützung“ zu „Begründungselementen“ zusammengefasst haben. Dadurch wird auch die Problematik der Abgrenzung zwischen den einzelnen Elementen gelöst. Eine weitere Adaption des TAPs ist die Reduktion der Bestandteile. So werden in einer Studie von Osborne et al. (2001) die Elemente „Stützung“, „Operatoren“ und „Ausnahmebedingung“ weggelassen, womit das TAP auf ein Basisschema reduziert und vereinfacht wird.

*Zusammenfassend* lässt sich bezüglich der vorgestellten Anpassungen des TAPs feststellen, dass es zwar in vielen Studien eingesetzt, allerdings immer unterschiedlich adaptiert wird. Im Hinblick auf die Adaption ist es nötig, die Elemente klar zu definieren und die Anpassungen deutlich zu beschreiben, damit die Vergleichbarkeit der empirischen Arbeiten möglichst hoch ist.

### Einsatz des TAPs in der vorliegenden Arbeit

Für die vorliegende Arbeit wird das TAP ebenfalls angepasst. In Anlehnung an die Arbeiten von Osborne et al. (2001) wird das Basisschema von Toulmin (Toulmin, 1958, 2003) verwendet. Im Basisschema (Abbildung 3) wird das TAP auf die Bestandteile Behauptung („*claim*“), Daten („*data*“) und Schlussregel („*warrant*“) reduziert und folglich vereinfacht. Des Weiteren wird in Absprache mit Fachlehrkräften eine didaktische Transformation vorgenommen und der Begriff „Datum“ in „Fakt“ umbenannt. Damit findet eine Abstimmung der Begrifflichkeit mit dem

Deutschunterricht statt, um den Schülerinnen und Schülern den Rückgriff auf die im Deutschunterricht bereits erworbene Argumentationsfähigkeit zu erleichtern.

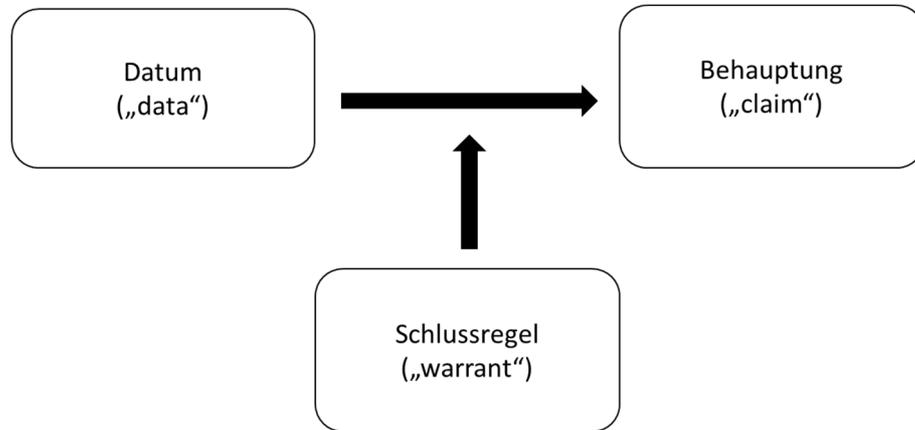


Abbildung 3: Basisschema von Toulmins Argumentationsschema

## 2.4. Zusammenfassung

In dem vorangegangenen Kapitel wurden der aktuelle Forschungsstand und die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit für Schülerinnen und Schüler dargestellt.

Die Definition der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit für die vorliegende Studie erfolgt nach Osborne et al. (2013), wonach die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit die Fähigkeit ist, Argumente zu naturwissenschaftlichen Phänomenen zu konstruieren und zu kritisieren. Wichtig für diese Arbeit ist die in Kapitel 2.2.1. dargelegte Bedeutung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit für die naturwissenschaftliche Grundbildung nach PISA (Kapitel 2.2.1.). PISA weist die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit in der PISA-Rahmenkonzeption (Schiepe-Tiska et al., 2013) als einen Bereich der drei Teilkompetenzen aus. Dass Schülerinnen und Schüler in naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen Defizite aufweisen, zeigen die PISA-Studien in den Jahren 2000 und 2003. Als Folge der mangelhaften Leistungen in den beiden PISA Studien (Deutsches PISA-Konsortium, 2004; Prenzel et al., 2001) werden im Jahr 2004 die Bildungsstandards (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005a, 2005b, 2005c) eingeführt (Kapitel 2.2.2.), wodurch die naturwissenschaftliche

Argumentationsfähigkeit auch in Deutschland in das Interesse des Naturwissenschaftsunterrichts und dadurch auch in das Interesse der empirischen Bildungsforschung rückt. Die Bildungsstandards legen den Fokus auf einen kompetenzorientierten Unterricht und haben den Auftrag, naturwissenschaftliche Arbeits- und Denkweisen zu vermitteln und diese durch den Lehrplan als Unterrichtsziel in den Naturwissenschaftsunterricht zu bringen. Dies stellt die Lehrkräfte vor neue Problematiken bei ihrer Unterrichtsgestaltung, zu deren Lösung diese Arbeit beitragen möchte. Laut Driver et al. (Driver et al., 2000) verfügen selbst Lehrkräfte oftmals über kein adäquates Wissenschaftsbild, was die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise erschwert. Darüber hinaus sind bisherige Ansätze, die die Lehrkräfte bei der Vermittlung unterstützen sollen, auf soziokulturelle Inhalte aufgebaut und nehmen sich nicht der geforderten Fachinhalte an. Aus diesem Grund gibt es noch kein breites Repertoire an methodischen Zugängen und empirisch überprüften Unterrichtsmaterialien, die die Lehrkräfte in ihrem Unterricht implementieren können. Dennoch gibt es verschiedene Argumentationsaufgaben, die die Schülerinnen und Schüler zum Argumentieren im Unterricht anregen können. Kapitel 2.2.3. gibt einen Überblick über Argumentationsaufgaben und stellt den Einsatz von *Concept Cartoons* als mögliche Argumentationsaufgaben näher vor.

Um allerdings die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit vermitteln und bewerten zu können, ist hierfür eine Operationalisierung notwendig. Kapitel 2.3.1. erläutert die Bewertungskriterien Inhalt, Begründung und Struktur. Für die vorliegende Arbeit soll das Bewertungskriterium Struktur herangezogen werden. Für die Vermittlung und Bewertung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit nach diesem Kriterium bietet sich das Argumentationsschema nach Toulmin (Toulmin, 1958), kurz TAP (Kapitel 2.3.2) an. Dieses findet in der internationalen Forschungslandschaft große Beachtung (Fleischhauer, 2013) und soll auch in dieser Arbeit, in Anlehnung an die Arbeit von Osborne (Osborne, 2010), eingesetzt werden.

Das nachfolgende Kapitel beschäftigt sich mit der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. Dabei wird insbesondere auf individuelle, situationale und instruktionale Faktoren, die für die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit relevant sind, eingegangen und im Rahmen des aktuellen Stands der Forschung diskutiert.

### 3. Individuelle, situationale und instruktionale Faktoren bei der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit

Wie in Kapitel 2 bereits erläutert wurde, ist es sinnvoll, dass die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit ein fester Bestandteil des naturwissenschaftlichen Unterrichts wird. Die damit zusammenhängende Herausforderung besteht darin geeignete Unterrichtsangebote zu schaffen, die Lehrkräfte einsetzen können, um Schülerinnen und Schüler in ihrer grundlegenden Argumentationsfähigkeit zu fördern.

Das PISA-Rahmenkonzept naturwissenschaftlicher Grundbildung (Schiepe-Tiska et al., 2013) macht deutlich, dass das Wissen und die motivationale Orientierung wesentliche Grundlagen für den Erwerb von Teilkompetenzen der naturwissenschaftlichen Grundbildung sind. Aufbauend auf dieser Annahme werden das physikalische Grundverständnis (Kapitel 3.1.) und das situationale Interesse (Kapitel 3.2.1.) sowie das Autonomie- und Kompetenzerleben (Kapitel 3.2.2.) hinsichtlich der Bedeutung für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit nachfolgend beschrieben und erörtert. In Bezug auf die bisherigen Forschungsbefunde möchte diese Arbeit eine Instruktionsmöglichkeit zur Vermittlung und Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit aufzeigen und untersuchen, die es gleichzeitig ermöglicht, die individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler zu berücksichtigen. Bei dieser Instruktionsart handelt es sich um Prompts (Kapitel 3.3.), die hinsichtlich der Möglichkeit zur individuellen Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit vorgestellt und anschließend hinsichtlich des Einsatzes zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit diskutiert werden.

Unter Einbeziehung der vorangegangenen Kapitel werden im Kapitel 3.5. die zentralen Aussagen zusammengefasst.

### 3.1. Physikalisches Grundverständnis

Wie bereits beschrieben, unterscheidet die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung (Schiepe-Tiska et al., 2013) zwei verschiedene Arten von Wissen als Grundlage zum Kompetenzerwerb. Es wird angenommen, dass dies auch auf den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit übertragbar ist. Bei den Wissensarten handelt es sich zum einem um das Wissen über die Naturwissenschaften und zum anderen um das naturwissenschaftliche Wissen. Das Wissen über Naturwissenschaften beinhaltet das prozessorientierte und fächerübergreifende (Meta-)Wissen (Schiepe-Tiska et al., 2013). Dieses Wissen greift die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und das naturwissenschaftliche Argumentieren als wesentlichen Bestandteil des naturwissenschaftlichen Arbeitens auf (Bybee et al., 2009; Fleischhauer, 2013; Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008b; Prenzel et al., 2007; Schiepe-Tiska et al., 2013). Dieses prozessorientierte und fächerübergreifende (Meta-)Wissen soll im Rahmen der vorliegenden Studie bei Schülerinnen und Schülern gefördert werden. Damit diese Förderung gelingen kann, benötigen die Schülerinnen und Schüler ein grundlegendes naturwissenschaftliches Wissen. Bei diesem Wissen geht es um das Verständnis von grundlegenden Konzepten (Bybee et al., 2009). Dieses Wissen umfasst objektorientiertes und fachbezogenes naturwissenschaftliches Wissen, wie zum Beispiel physikalische Systeme, lebende Systeme, Erd- und Weltraumsysteme und technologische Systeme (Bybee et al., 2009; Schiepe-Tiska et al., 2013).

In der vorliegenden Arbeit wird nicht von Wissen oder Vorwissen gesprochen. Da sich die Studie exemplarisch mit der Vermittlung und Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Physikunterricht beschäftigt, wird von einem physikalischen Grundverständnis gesprochen. Neben dem eindeutigen Fachbezug des Terminus weist er auch explizit auf die Wissensart hin. Es geht um ein grundlegendes Verständnis von physikalischen Konzepten, welches die Schülerinnen und Schüler bei der Generierung von naturwissenschaftlichen Argumenten in bisher unbekanntem Themenbereichen unterstützen soll. Inwiefern dieses domänenspezifische Grundverständnis Auswirkungen auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit hat, wird ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Arbeit sein.

Frühe Studien von Kuhn (Kuhn, 1991) sowie Voss und Means (Voss & Means, 1991) in diesem Bereich deuten darauf hin, dass es keinen Zusammenhang zwischen der

naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und dem Grundverständnis gibt. Allerdings zeigen die Ergebnisse einer späteren Studie von Means und Voss (Means & Voss, 1996) sowie auch die Ergebnisse von Sadler und Fowler (Sadler & Fowler, 2006), dass ein Mindestmaß an Grundverständnis nötig ist, um die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit weiterzuentwickeln. Diese Ergebnisse werden durch die *Cognitive Load Theory* (Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011b; Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998) gestützt. Die *Cognitive Load Theory* beschäftigt sich mit der kognitiven Belastung beim Lernen. Im Mittelpunkt dieser Theorie steht das Arbeitsgedächtnis und dessen begrenzte Verarbeitungskapazität (Sweller et al., 2011b, 1998). Bei der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit werden die Schülerinnen und Schüler vor eine komplexe Lernaufgabe gestellt, indem sie die Fachinhalte für die Konstruktion eines Arguments im Sinne des TAPs-Basisschemas zuordnen müssen. Bei diesem Prozess müssen die Schülerinnen und Schüler viele Informationen gleichzeitig verarbeiten und verstehen, wodurch ein hoher *cognitive load* entstehen kann (Sweller et al., 2011b). Dieser hohe *cognitive load* kann durch ein vorhandenes Grundverständnis reduziert werden (Sweller et al., 2011b), wodurch das Erlernen der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit erleichtert wird. Dies bestätigen auch die Forschungsarbeiten von Sadler und Zeidler (Sadler & Zeidler, 2004), Hogan und Maglienti (Hogan & Maglienti, 2001) und Koslowski (Koslowski, 1996), in denen nachgewiesen werden konnte, dass sich ein geringes konzeptuelles Verständnis negativ auf die Argumentationsfähigkeit auswirkt.

Für die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Physikunterricht benötigen Schülerinnen und Schüler also ein Mindestniveau an physikalischem Grundverständnis, um ihre naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit im Physikunterricht ausbilden zu können.

### 3.2. Situationales Interesse und Autonomie- und Kompetenzerleben

Neben dem physikalischen Grundverständnis stellt die motivationale Orientierung der Schülerinnen und Schüler bezugnehmend auf die PISA-Rahmenkonzeption naturwissenschaftliche Grundbildung (Schiepe-Tiska et al., 2013) einen weiteren wichtigen Faktor für die Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung und somit auch der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit dar. Besonders die

Bereitschaft sich mit naturwissenschaftlichen Themen auseinanderzusetzen und die Wertschätzung von Naturwissenschaften und das Interesse an Naturwissenschaften sind dabei von zentraler Bedeutung (Schiepe-Tiska et al., 2013).

Das situationale Interesse ist eine Ausprägung des Interesses in einer konkreten Lernsituation, das im Vergleich zum individuellen Interesse im Unterricht leichter beeinflusst werden kann. In Konsequenz daraus wird das situationale Interesse mit dessen zwei Phasen (*Catch-* und *Hold-Phase*) und dessen Relevanz für die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Kapitel 3.2.1. dargestellt. Zur Förderung des situationalen Interesses hat sich das Erleben der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse (*basic needs*) als relevant erwiesen (Krapp, 2002b; Lewalter & Willems, 2009; Neubauer, Geyer, & Lewalter, 2014; Ryan, 1995). In der vorliegenden Arbeit werden vor allem die Bedürfnisse nach Autonomie und Kompetenz angesprochen. Kapitel 3.2.2. stellt dar, wie das Erleben von Autonomie und Kompetenz das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler fördern und somit einen Beitrag zur positiven Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler leisten kann.

### **3.2.1. Situationales Interesse**

Bisherige Befunde der empirischen Bildungsforschung weisen auf einen Zusammenhang zwischen der motivationalen Orientierung der Schülerinnen und Schüler und deren Lernerfolg hin (Boekaerts et al., 2000; Deci & Ryan, 2002; Schiefele, 2009a; Schiefele & Heinen, 2006). Auf diesen bekannten Befunden basierend wird erwartet, dass nicht nur ein umfassendes (physikalisches) Grundverständnis, sondern auch das Interesse der Schülerinnen und Schüler an einem Gegenstand<sup>4</sup> den Lernerfolg, im Falle der vorliegenden Arbeit die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit, beeinflussen kann. Das Interesse wird entsprechend eines pädagogisch-psychologischen Ansatzes wie folgt definiert. „*Das Interesse bezeichnet eine herausgehobene Beziehung einer Person zu einem Gegenstand, die durch eine hohe subjektive Wertschätzung für den Gegenstand und eine insgesamt positive Bewertung der emotionalen Erfahrungen während der Interessenhandlung gekennzeichnet ist.*“ (Krapp, Geyer, & Lewalter, 2014, S. 205).

---

<sup>4</sup> Der Begriff Gegenstand umfasst sowohl konkrete Objekte, inhaltliche Themen sowie auch bestimmte Tätigkeiten (Krapp, Geyer, & Lewalter, 2014)

Im Rahmen der Personen-Gegenstands-Theorie des Interesses nach Schiefele, Krapp und Prenzel (Krapp, 2002a; Krapp & Prenzel, 1992; Prenzel, Krapp, & Schiefele, 1986) wird der Frage nachgegangen, unter welchen Bedingungen Interesse entstehen kann. Dabei wird das Interesse einer Person an einem Gegenstand durch drei Faktoren gekennzeichnet. Der erste Faktor ist die wertbezogene Valenz. Bei der wertbezogenen Valenz handelt es sich um eine hohe subjektive Wertschätzung der Person gegenüber dem Gegenstand. Der zweite Faktor ist die emotionale Valenz, bei der sowohl die positive Erfahrung während der Interessenshandlung als auch die Bewertung nach der Interessenshandlung das Interesse einer Person kennzeichnen. Ein weiteres Bestimmungsmerkmal ist die epistemische Orientierung. Diese besagt, dass eine Person ihr Wissen in einem Gegenstandsbereich kontinuierlich erweitern möchte, wenn sie sich für diesen Gegenstand interessiert.

Die empirische Bildungsforschung unterscheidet zwischen dem relativ überdauernden individuellen Interesse und dem situationalen Interesse im Schulunterricht (Krapp et al., 2014; Schiefele, 2009b). Das individuelle Interesse oder auch persönliche Interesse ist ein relativ überdauerndes inhaltsbezogenes Interesse, welches ein stabiles Persönlichkeitsmerkmal einer Person darstellt (Krapp et al., 2014; Willems, 2011) und zu der Entwicklung des Selbstkonzeptes einer Person beiträgt (Willems, 2011). Beim situationalen Interesse handelt es sich um eine kurzfristige situations- und inhaltsbezogene Motivationsqualität (Neubauer et al., 2014), welche durch eine aktuelle (Lern-)Situation ausgelöst wird. In Abbildung 4 zeigt das zweistufige Modell der Interessensgenese (Krapp, 1998; Krapp et al., 2014), dass das situationale Interesse durch die Wechselwirkung von Personen- und Situationsmerkmalen ausgelöst wird und dass sich aus dem kurzfristigen situationalen Interesse das stabilisierte individuelle Interesse entwickeln kann.

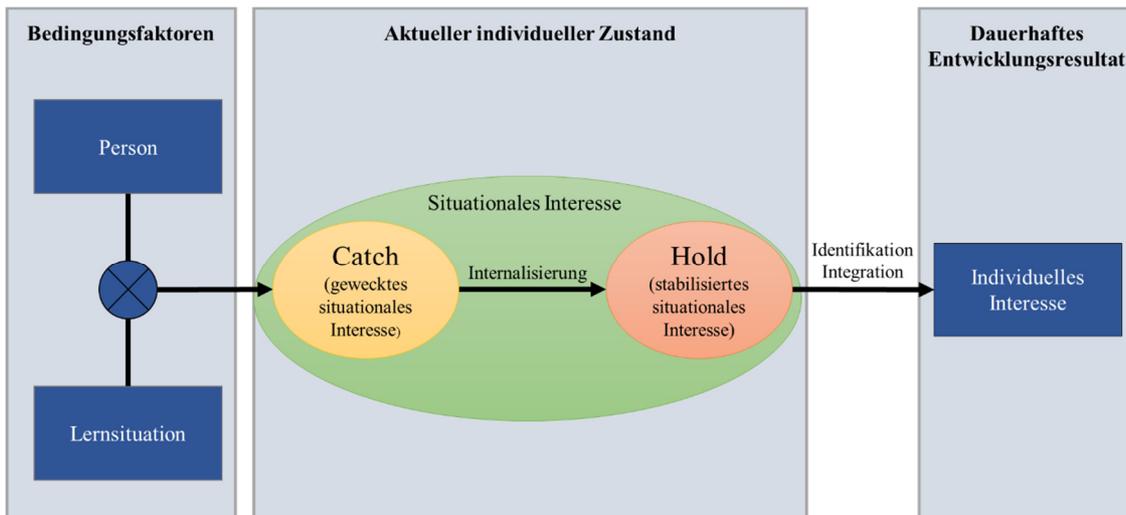


Abbildung 4: Modell der Interessengenese (Krapp, 1998; Krapp et al., 2014)

Das situationale Interesse wird „primär durch die besonderen Anreizbedingungen der aktuellen (gegebenenfalls didaktisch gestalteten) Lernsituation und die Attraktivität des (Lern-)Gegenstands hervorgerufen.“ (Krapp et al., 2014, S. 205). Für diesen kurzfristigen Interessenszustand sind eine relativ mühelose und konzentrierte Aufmerksamkeit, eine erhöhte kognitive Aktivierung, ein positiv affektives Erleben sowie Neugier und Ausdauer (Ainley, Hidi, & Berndorff, 2002; Hidi, 2006; Renninger, 2000; Silvia, 2005) charakteristisch.

Diese Motivationsqualität lässt sich in zwei aufeinanderfolgende Phasen (Hidi & Renninger, 2006; Mitchell, 1993) aufteilen, die als *Catch*- und als *Hold*-Phase des situationalen Interesses bezeichnet werden (Mitchell, 1993). Diese werden synonym zu den Begriffen *triggered situational interest* (ausgelöstes situationales Interesse) und *maintained situational interest* (stabilisiertes situationale Interesse) aus dem Vier-Phasen-Modell der Interessensentwicklung (Hidi & Renninger, 2006) verwendet.

In der *Catch*-Phase tritt das situationale Interesse das erste Mal auf. Dieses wird oftmals durch verschiedene externe Einflüsse, wie zum Beispiel überraschende Informationen, Komplexität und Attraktivität eines Themengebiets, Neugierde oder hohe persönliche Relevanz, kurzzeitig angeregt und ausgelöst (Hidi & Renninger, 2006; Mitchell, 1993).

An die *Catch*-Phase schließt sich die *Hold*-Phase an. In dieser Phase geht die kurzfristige Aufmerksamkeit in ein stabil(er)es und in der Situation anhaltend(er)es Interesse an dem Lerngegenstand und der Lernsituation über (Hidi & Renninger, 2006; Mitchell, 1993).

Die Schülerinnen und Schüler wollen ihr Wissen erweitern und sich intensiver mit dem Gegenstand auseinandersetzen. In Folge dessen ist diese Phase durch ein positiv affektives Erleben der Situation, eine fokussierte Aufmerksamkeit und Sinnhaftigkeit sowie durch die persönliche Relevanz des Gegenstands (Hidi & Renninger, 2006; Krapp, 2002b; Linnenbrink-Garcia et al., 2010) charakterisiert. Diese Entwicklungsphase bildet die Basis für eine aktive und anhaltende wie auch stabil(er)e Auseinandersetzung mit dem Gegenstand in der konkreten Lernphase. Wie Abbildung 4 zeigt, kann eine wiederholte Anregung des situationalen Interesses, insbesondere der *Hold*-Phase, zur Entwicklung eines längerfristigen individuellen Interesses beitragen (Hidi, 2000; Krapp et al., 2014; Linnenbrink-Garcia et al., 2010; Silvia, 2005; Willems, 2011).

Hinsichtlich des bereits bekannten positiven Zusammenhangs zwischen dem Interesse und dem Lernerfolg (Boekaerts et al., 2000; Hidi & Renninger, 2006; Schiefele, 2009b; Schiefele & Heinen, 2006) wird angenommen, dass sich das situationale Interesse positiv auf die Aneignung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit auswirkt. Dieser Annahme wird in der vorliegenden Arbeit nachgegangen, da bisher die Auswirkungen und der Zusammenhang des situationalen Interesses bezüglich des Erwerbs der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit kaum untersucht wurde.

Um das situationale Interesse im Unterricht anzuregen, wird eine Lernumgebung benötigt, die ein positives subjektives Erleben sowie Herausforderungen, Freude und Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler fördert (Willems, 2011).

Die Personen-Gegenstands-Theorie, in der das situationale Interesse eingebettet ist, steht in Zusammenhang mit der Selbstbestimmungstheorie. Ebenfalls im Zusammenhang mit der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (Deci & Ryan, 1985, 1993, 2002; Ryan, 1995) steht auch das Erleben der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse, die das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler fördern können und somit die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit unterstützen. Das nachfolgende Kapitel beschäftigt sich näher mit den grundlegenden psychologischen Bedürfnissen.

### 3.2.2. Autonomie- und Kompetenzerleben (*basic needs*)

Ausgehend vom vorangegangenen Kapitel zeigt sich eine vermutete Relevanz des situationalen Interesses der Schülerinnen und Schüler für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. Um das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler anzuregen und zu fördern, hat sich das Erleben der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse (*basic needs*) in Anlehnung an die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (Deci & Ryan, 1985, 1993, 2002; Ryan, 1995) als wesentlich erwiesen (Krapp, 2002a; Lewalter & Willems, 2009; Ryan, 1995). In Bezug auf die Selbstbestimmungstheorie gibt es drei angeborene, innere und emotionale Grundbedürfnisse. Das Bedürfnis nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit (Ryan, 1995). Dabei wird hier eine subjektiv-affektive Sichtweise eingenommen. Diesem Ansatz liegt die Auffassung zugrunde, dass die subjektive Stimmigkeit zwischen der eigenen Leistung und einem vorgegebenen Ziel für das Erleben der *basic needs* relevant ist (Willems, 2011).

In der vorliegenden Arbeit wird vor allem das Erleben von Autonomie und Kompetenz adressiert. Zur Vollständigkeit wird auch die soziale Eingebundenheit kurz erläutert.

Damit eine Person sich als sozial eingebunden erlebt, möchte sie sich zugehörig, akzeptiert und eingebunden fühlen (Deci & Ryan, 2000, 2002). Zur Befriedigung dieses Bedürfnisses werden oftmals die Werte und Verhaltensweisen von Bezugspersonen für die eigenen Handlungsweisen berücksichtigt (Deci & Ryan, 2002). Im Unterricht zeigt sich das Erleben sozialer Eingebundenheit durch die Interaktion zwischen den Schülerinnen und Schülern und der Lehrkraft wie auch durch die Interaktion zwischen den Schülerinnen und Schülern untereinander.

Das Autonomieerleben drückt sich in dem Wunsch aus, freiwillig, selbstbestimmt, eigenständig und selbst kontrolliert handeln zu können (Deci & Ryan, 2000, 2002; Ryan, 1995). Es lässt sich erst dann befriedigen, „*wenn eine Passung zwischen Anforderungen der Situation und den Bedürfnissen und Zielen der handelnden Person erreicht wird*“ (Willems, 2011, S. 33). Lewalter (2005) hat zwei Facetten der Autonomie beschrieben. Zum einen die Selbstbestimmtheit und zum anderen die Passung mit den persönlichen Wünschen und Zielen in der (Lern-)Situation. Selbstbestimmtheit wird in Situationen empfunden, in denen ein hoher Grad an Gestaltungsfreiheit bezüglich Handlungen, Gegenständen und Inhalten erlebt wird (Willems, 2011). Die Passung einer Situation mit

den persönlichen Wünschen und Zielen wird durch ein subjektives Empfinden wahrgenommen. Hierbei geht es um die Frage, inwiefern eine Situation den eigenen Wünschen für diese Situation entspricht.

Besonders die Selbstbestimmtheit steht in einer engen Wechselwirkung mit dem Kompetenzerleben (Seidel & Krapp, 2014). Beim Kompetenzerleben geht es um das Bedürfnis, handlungsfähig und wirksam mit Aufgaben umgehen zu können, um so Herausforderungen aus eigener Kraft bewältigen zu können (Deci & Ryan, 1985). Dies wird von Personen auch unter Anleitung erlebt, wenn sonst die Gefahr einer Überforderung besteht. Das Bedürfnis nach Kompetenzerleben steht in engem Zusammenhang mit der Theorie der Selbstwirksamkeit (Bandura, 2000).

Insgesamt zeigt sich besonders im Schulkontext ein Zusammenhang zwischen dem Erleben von Autonomie und Kompetenz (Niemic & Ryan, 2009), so dass diese Erlebensqualitäten immer gemeinsam für die Unterrichtsgestaltung berücksichtigt werden sollten. Für den Schulunterricht bedeutet dies, dass die Aufgaben an den individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler angepasst werden sollten, denn sowohl für das Autonomie- wie auch für das Kompetenzerleben ist die subjektive Wahrnehmung des Schwierigkeitsgrads der Aufgabe ausschlaggebend (Willems, 2011). Folglich besteht die Herausforderung darin, Lernaufgaben und –angebote zu schaffen, deren Anforderungen die Schülerinnen und Schüler, gemessen an der subjektiven Einschätzung ihrer Fähigkeiten, als realisierbar einstufen (Deci & Ryan, 2000, 2002; Schiefele & Köller, 2006). Damit sich Schülerinnen und Schüler sowohl als autonom als auch als kompetent wahrnehmen können, werden klare und auf die individuellen Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler abgestimmte Strukturierungen und Instruktionen benötigt, die bei der Unterrichtsplanung berücksichtigt werden sollten (Deci & Moller, 2005; J. A. Elliot, McGregor, & Trash, 2002; Prenzel, 1997; Rakoczy et al., 2007; Seidel, Prenzel, & Rimmele, 2005; Willems, 2011).

*Zusammenfassend* lässt sich feststellen, dass die Befriedigung der *basic needs* in der spezifischen Lernsituation dazu beitragen kann, damit das situationale Interesse auftreten und die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit gelingen kann.

Zur Förderung eines positiv subjektiven Erlebens bieten sich Instruktionen an. Besonders Prompts, als Form der Instruktion, sind Möglichkeiten sowohl die beschriebenen kognitiven als auch die motivational-affektiven Aspekte, die zum Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit nötig sind, unter Berücksichtigung der individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler zu fördern. Nachfolgend wird in Kapitel 3.3. das Potenzial von Instruktionen im Unterricht (3.3.1.) und Prompts (3.3.2.) zur Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit aufgezeigt.

### 3.3. Instruktionale Faktoren

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Relevanz der individuellen (Kapitel 3.1.) und situationalen Faktoren (Kapitel 3.2.) zur Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit erläutert. Die Herausforderung besteht nun darin, die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit den Schülerinnen und Schülern unter Berücksichtigung der dargestellten individuellen und situationalen Faktoren zu vermitteln.

Instruktionen können dabei unterstützen, denn sie werden zu didaktischen Zwecken auf unterschiedlichste Weise im Unterrichtsgeschehen eingesetzt. Im nachfolgenden Abschnitt (Kapitel 3.3.1.) werden verschiedene Instruktionen und deren Einsatz im Unterricht vorgestellt. In Kapitel 3.3.2. werden Prompts als Möglichkeit der Instruktion und der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit eingehend beschrieben.

#### **3.3.1. Instruktionen im Unterricht**

Instruktionen werden als Interventionen, Anweisungen, Erklärungen, oder Anleitungen verstanden und im Unterricht unterstützend für Lehr-Lern-Prozesse eingesetzt (Leutner & Wirth, 2018; Weinert, 1996). Die Instruktionen dienen der Organisation und Präsentation der zu vermittelnden Informationen und werden auch für vertiefende Übungen eingesetzt (Sweller et al., 1998). Dabei hängt die konkrete Ausgestaltung der

Instruktionen von den Lerninhalten, den Lernenden und vom Lernverlauf ab (Weinert, 1996).

Nach Weinert (1996) können vier verschiedene Instruktionsstrategien unterschieden werden, in die jeweils sehr unterschiedliche didaktische Handlungen, Maßnahmen und Methoden eingebettet sein können. Dabei handelt es sich um die „Direkte Instruktion“ (1), das „Kooperative Lernen“ (2), das „Selbstständige Lernen“ (3) und um die „adaptiven Instruktionen“ (4).

Bei der direkten Instruktion (1) im Unterricht handelt es sich um eine externale Lenkung des Lerngeschehens, die durch die Lehrkraft erfolgt. Das Ziel dieser Instruktion ist eine kooperative Zusammenarbeit zwischen der Lehrkraft und den Schülerinnen und Schülern (Gudjons, 2011; Weinert, 1996). Bei dieser Art der Instruktion wird der zu lernende Inhalt in kleine Teile aufgeteilt und den Lernenden in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden angeboten. Eine bekannte Methode der direkten Instruktion ist der Frontalunterricht (Gudjons, 2011).

Zum Frontalunterricht sehr gegensätzlich ist die Instruktionsstrategie des kooperativen Lernens (2). Die Idee des kooperativen Lernens entspringt der reformpädagogischen Bewegung. Lernende sollen dabei in kleinen Gruppen (2 - 6 Lernende) Inhalte erarbeiten und anwenden (Konrad, 2014). Dieser Tätigkeit geht oft eine intensivere Anleitung der Lehrkraft voraus, deren Aufgabe es ist, die Prozesse während der Gruppenarbeit zu steuern (Konrad, 2014). Ein Beispiel für kooperatives Lernen sind Gruppenarbeiten, bei denen das Problemlösen im Vordergrund steht.

Neben Gruppenaktivitäten gibt es auch die Instruktionsstrategie des selbstständigen Lernens (3). Das Ziel hinter dieser Instruktionsstrategie ist, dass der/die Lernende seine/ihre eigene Lehrkraft sein soll. Dadurch sollen die Schülerinnen und Schüler Metawissen über ihr eigenes Lernverhalten sammeln können, um den Lernprozess für sich selbst zu optimieren. Eine Methode, das selbstständige Lernen zu fördern, stellen *flipped instructions* dar, bei der sich die Lernenden den Unterrichtsstoff zuhause im Selbststudium aneignen und bei der die Unterrichtszeit mit der Lehrkraft zum Vertiefen und Üben des Gelernten genutzt wird (Kück, 2014).

Eine große Herausforderung bei der Wissensvermittlung besteht in der Heterogenität der Lernenden im Klassenverbund. Eine Möglichkeit, auf diese Herausforderung zu reagieren, bietet der Einsatz von adaptiven Instruktionen (4). „Das Konzept der adaptiven

Instruktion ist der in sich vielgestaltige Versuch, die didaktischen Hilfen so auf die kognitiven, motivationalen und affektiven Unterschiede zwischen Lernenden abzustimmen, daß alle möglichst optimal davon profitieren und jeder einzelne bestmöglich gefördert wird.“ (Weinert, 1996, S. 31). Diesem Ansatz liegt die *Aptitude-Treatment-Interaktion* (ATI) zugrunde, welche besagt, dass „manche Lernende bei der einen Lehrmethode gut lernen und andere bei einer anderen Methode und zwar in Abhängigkeit von ihren Lernvoraussetzungen.“ (Klauer & Leutner, 2012, S. 78). Das bedeutet, dass der Einsatz der Instruktionen an die Fähigkeiten der Lernenden und deren vorhandenes Grundverständnis angepasst werden muss, um optimale Lernerfolge erzielen zu können. Verschiedene Studien (Große & Renkl, 2007; Seufert, Schütze, & Brünken, 2009; Snow, 1977) zeigen, dass Instruktionen, die den Lernprozess für die Schülerinnen und Schüler stark strukturieren und geringe Anforderungen an die Verarbeitungskapazität stellen, helfen, den *cognitive load* (Kapitel 3.1.) zu verringern. In Folge dessen zeigen sich verbesserte Leistungen bei den Schülerinnen und Schülern. Für den Einsatz im Unterricht bieten sich also lenkende und strukturierte Instruktionen an, um möglichst viele Lernende im Unterricht zu fördern (Klauer & Leutner, 2012). Relevant für die Wirkung der adaptiven Instruktionen und auch aller anderen Instruktionen ist eine Rückmeldung von Seiten der Lehrkraft, damit die Schülerinnen und Schüler ihre Lernfortschritte einschätzen und entsprechend ihre Lernstrategien regulieren können.

Eine Art von adaptiven Instruktionen, die in verschiedenen Lernkontexten zum Einsatz kommen, da sie ökonomisch einsetzbar sind (Wirth, 2009), sind Prompts. Warum Prompts für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit eingesetzt werden können, zeigt das nachfolgende Kapitel 3.3.2..

### **3.3.2. Prompts**

Prompts (engl. Anregungen) sind Hinweise oder Fragen, die den Lernenden präsentiert werden, um deren Wissen zu aktivieren oder die Nutzung von bereits vorhandenen Strategien und Fähigkeiten anzuregen (Wirth, 2009). Die Prompts sollen die Schülerinnen und Schüler in den jeweiligen Lernsituationen anleiten und sie bei der Aktivierung ihrer kognitiven und motivational-affektiven Fähigkeiten unterstützen. Je nach Einsatz können mit Prompts unterschiedliche Ziele verfolgt werden. So zeigt die Literatur, dass es Prompts gibt, die kognitive, metakognitive oder auch volitionale Lernprozesse bei

Schülerinnen und Schülern fördern (Wirth, 2009). Häufig werden metakognitive und kognitive Prompts in Studien eingesetzt. Während metakognitive Prompts die Lernenden bei den Planungs-, Kontroll- und Regulationsphasen im Lernprozess unterstützen (Nückles et al., 2010), zielen kognitive Prompts auf die unmittelbare Informationsaufnahme, -verarbeitung und -speicherung ab (Schmidt-Weigand, Hänze, & Wodzinski, 2009).

Neben der Zielsetzung, die durch den Einsatz der Prompts erreicht werden soll, spielen auch die Art und die Gestaltung der Prompts eine wichtige Rolle. So gibt es selbst-erklärende Prompts (Schworm & Renkl, 2007), beispielbasierte Prompts (Picard & Imhof, 2010), Prompts zur Anregung von Rückmeldungen (Van Meter, Cameron, & Waters, 2017) und Weitere. Bei allen Studien zeigt sich, dass Prompts für bessere Resultate sorgen, wenn diese auf die individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler abgestimmt sind.

Unter Berücksichtigung der Annahmen aus dem vorangegangene Kapitel (Kapitel 3.3.1.), dass Lernende am meisten von strukturierten und lenkenden Instruktionen profitieren (Klauer & Leutner, 2012), bietet es sich an, Prompts entsprechend strukturierend und lenkend zu gestalten, um Schülerinnen und Schüler möglichst effektiv zu fördern.

Im Kontext der Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit ist zu erwarten, dass durch Strukturierung und Lenkung von Aufgaben mittels kognitiver Prompts die angenommene extrinsische kognitive Belastung (Kapitel 3.1.) für die Schülerinnen und Schüler verringert wird, so dass mit Blick auf die *Cognitive Load Theory* von Sweller (1998; 2011; Kapitel 3.2.) genügend Verarbeitungskapazität im Arbeitsgedächtnis für die lernbezogenen Belastungen zur Verfügung stehen sollte (Sweller et al., 2011b). In diesem Zusammenhang ist der *Expertise Reversal Effect* (Kalyuga, 2007; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011a) in die Überlegungen einzubeziehen. Dieser besagt, dass „instruktionale Maßnahmen und Lernmaterialien, die für Lernende mit geringem Vorwissen hilfreich und sogar notwendig sind, mit zunehmenden Wissensstand nicht nur unnötig werden, sondern das Lernen sogar beeinträchtigen können.“ (Leutner, Opfermann, & Schmeck, 2014, S.311). Dies bedeutet, dass die Effektivität der Prompts eng mit dem Kenntnisstand und der Kenntnisentwicklung der Lernenden verknüpft ist. Ein variierender Strukturierungsgrad der Prompts kann den Schülerinnen und Schülern also helfen, gute Lernergebnisse zu erzielen (Glogger, Holzäpfel, Schwonke, Nückles, & Renkl, 2009). Der Einsatz von strukturierten Prompts

bei Schülerinnen und Schülern, die über wenige Vorkenntnisse verfügen, weist eine hohe Effektivität auf (Glogger et al., 2009). Diese verliert sich allerdings mit zunehmendem Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a). Im Umkehrschluss müssen bei der Gestaltung der Prompts auch die Schülerinnen und Schüler mit Vorkenntnissen berücksichtigt werden. Hier empfiehlt es sich mit unstrukturierten Prompts zu arbeiten (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a). Die theoretischen Annahmen des *Expertise Reversal Effects* (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a) postulieren, dass mit steigendem Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler der Strukturierungsgrad der Prompts nach und nach reduziert („*Outfading*“) werden sollte. Durch dieses Vorgehen wird auch sichergestellt, dass sich die Schülerinnen und Schüler in der Lernsituation als autonom und kompetent (Kapitel 3.2.2.) erleben.

Neben der individuell angepassten Gestaltung der Prompts ist auch deren Darbietungszeitpunkt entscheidend. Eine sehr effektive Möglichkeit, um die Schülerinnen und Schüler in ihrem Lernprozess zu fördern, ist das zur Verfügung stellen der Prompts „*just in time*“ (Thillmann, Künsting, Wirth, & Leutner, 2009). Dies bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler genau zu dem Zeitpunkt die Prompts präsentiert bekommen, zu dem sie diese in ihrem Lernprozess benötigen.

Im nachfolgenden Kapitel (Kapitel 3.5.) werden die wesentlichen Faktoren zur Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit noch einmal kurz präsentiert und deren Bedeutung für die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit zusammengefasst.

### 3.5. Zusammenfassung

Kapitel 3 stellt die individuellen, situationalen und intruktionalen Faktoren vor, die zur Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit beitragen.

In Kapitel 3.1. wurde die Relevanz des physikalischen Grundverständnisses für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit aufgezeigt. Zwar zeigen Studienergebnisse (Kuhn, 1991; Means & Voss, 1996; Sadler & Fowler, 2006), dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen dem (physikalischen) Grundverständnis und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit gibt, dennoch benötigen die

Schülerinnen und Schüler ein Mindestmaß an Grundverständnis, um ihre naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit weiterzuentwickeln. Dieser Annahme liegt die *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011b, 1998) zugrunde.

Neben einem physikalischen Grundverständnis stellt die motivationale Orientierung der Schülerinnen und Schüler einen weiteren wichtigen Faktor für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit dar. Dabei wird ein besonderer Fokus auf das Konzept des situationalen Interesses gelegt, welches Teil der Personen-Gegenstandstheorie nach Schiefele, Krapp und Prenzel (Krapp, 2002a; Krapp & Prenzel, 1992; Prenzel et al., 1986) ist. Das situationale Interesse wird durch eine aktuelle (Lern-) Situation ausgelöst. Aufgrund des empirisch bestätigten positiven Zusammenhangs zwischen dem Interesse und dem Lernerfolg (Boekaerts et al., 2000; Hidi & Renninger, 2006; Schiefele, 2009b; Schiefele & Heinen, 2006), scheint das situationale Interesse für die Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit eine wichtige Rolle einzunehmen.

Um das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler anzuregen und zu fördern, hat sich das Erleben der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse (*basic needs*) in Anlehnung an die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (Deci & Ryan, 1985, 1993, 2002; Ryan, 1995) als wesentlich erwiesen (Krapp, 2002a; Lewalter & Willems, 2009; Ryan, 1995). Für die vorliegende Arbeit ist vor allem das Erleben von Autonomie und Kompetenz relevant. Diese *basic needs* werden in Kapitel 3.2.2. erläutert.

Das anschließende Kapitel (Kapitel 3.3.) zeigte auf, dass durch den Einsatz von Instruktionen, genauer von Prompts, die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und auch das situationale Interesse durch das Autonomie- und Kompetenzerleben gefördert werden kann. Die Förderlichkeit der Prompts hängt von dem (physikalischen) Grundverständnis der Lernenden ab, welches beim Strukturierungsgrad der Prompts berücksichtigt werden kann (Knittel & Mikelskis-Seifert, 2010; Schworm & Renkl, 2007; Simon et al., 2006; Zohar & Nemet, 2002).

Basierend auf den vorangegangenen Ausführungen wird eine Lernumgebung entwickelt, die im nächsten Schritt (Kapitel 4.) vorgestellt wird. Die Lernumgebung „ArguKos – Argumentieren in der Kosmologie“ zum Thema „Schwarze Löcher“ soll Lehrkräfte dabei unterstützen, die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern auf Grundlage ihrer individuellen Lernvoraussetzungen zu fördern.

## 4. Die Lernumgebung „ArguKos“

Die für die vorliegende Studie entwickelte Lernumgebung „ArguKos – Argumentieren in der Kosmologie“ (kurz: „ArguKos“) baut auf den theoretischen Ausführungen aus den vorangegangenen Kapiteln auf, unter deren Einbeziehung ein Kriterienkatalog zur Entwicklung der Lernumgebung (Kapitel 4.1.) erstellt wurde. In Kapitel 4.2. werden die entwickelten Unterrichtseinheiten detailliert beschrieben.

### 4.1. Entwicklung der Lernumgebung „ArguKos“

Ausgehend von den getroffenen Vorüberlegungen und den bisher dargestellten Forschungsbefunden in den vorangegangenen Kapiteln zeigen sich die aktuellen Herausforderungen des Physikunterrichts bei der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. Die Herausforderung besteht darin, adressatengerechte Unterrichtsangebote zu entwickeln, die sowohl kognitive als auch motivationale Aspekte adressieren, die für die Entwicklung einer grundlegenden Argumentationsfähigkeit förderlich sind. Folglich müssen Maßnahmen entwickelt und überprüft werden, die die Lehrkräfte dabei unterstützen, Unterrichtsangebote zu schaffen, die die Schülerinnen und Schüler in ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit sowie in ihrem Interesse für naturwissenschaftliche Themen fördern. Bisher steht den Lehrkräften für dieses Unterrichtsziel noch kein breites Repertoire an methodischen Zugängen sowie an empirisch überprüften Unterrichtsmaterialien zur Verfügung.

Aus den bisherigen theoretischen Annahmen ergeben sich nachfolgende Kriterien, die ein Unterrichtsangebot erfüllen muss, um die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern zu fördern und Lehrkräfte zu unterstützen. Ergänzt werden die Kriterien durch Bedingungen, die für die Durchführung der Studie relevant sind.

1. Eine aus der Praxis heraus entwickelte Lernumgebung für Fachlehrkräfte zur individuellen Förderung der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und ihres situationalen Interesses
2. Passung mit curricularen Anforderungen bei der Themen- und Jahrgangsstufenwahl
3. Die entwickelte Lernumgebung soll ein positiv-subjektives Erleben, Freude und Aufmerksamkeit der Lernenden fördern und sie vor subjektiv bewältigbare Herausforderungen stellen
4. Berücksichtigung des vorhandenen physikalischen Grundverständnisses der Schülerinnen und Schüler
5. Vermittlung des Basismodells von Toulmins Argumentationsschema (Behauptung, Fakt, Schlussregel)
6. Ermöglichung einer Instruktion der Lernenden mittels unterschiedlich strukturierter Prompts innerhalb einer Klasse zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit, des situationalen Interesses sowie des Kompetenz- und Autonomieerlebens
7. Möglichkeit einer Darreichung der Prompts „*just-in-time*“
8. Ermöglichung einer Rückmeldung zu den bearbeiteten Aufgaben
9. Schaffung einheitlicher Bedingungen für die Studie (zum Beispiel: Gleichzeitige Instruktionen für Schülerinnen und Schüler, die unabhängig von Persönlichkeitsmerkmalen der Lehrkraft gegeben werden)

Aufbauend auf diesem Kriterienkatalog wird die Lernumgebung „ArguKos – Argumentieren lernen in der Kosmologie“ entwickelt. Im nachfolgenden Abschnitt werden die einzelnen Bausteine, die bei der Entwicklung der Lernumgebung und deren Bearbeitung relevant sind, vorgestellt.

#### **4.1.1. Lernplattform „mebis“**

Bei der Lernplattform „mebis“<sup>5</sup> handelt es sich um ein Online-Angebot des Bayerischen Staatsministeriums für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst. Die Lernplattform soll der Förderung des Einsatzes von digitalen Medien im Unterricht dienen und

---

<sup>5</sup> Bei der Lernplattform „mebis“ handelt es sich um eine moodle-ähnliche Lernplattform.

ermöglicht es einer geschlossenen Personengruppe, beispielsweise einer Schulklasse, Lerninhalte in Form eines Kurses zur Verfügung zu stellen. Für die Präsentation der Lernmaterialien und –inhalte stehen verschiedene Funktionen und Dateiformate, wie Textdateien und Videodateien, zur Verfügung. Ein Forum ermöglicht den Austausch zwischen Lehrenden und Lernenden sowie zwischen den Lernenden untereinander. Über die Lernplattform „mebis“ können Schülerinnen und Schülern gezielt Aufgaben und Instruktionen, die nur für sie oder für ihr Lerngruppe bestimmt sind, zugänglich gemacht werden, wodurch eine Binnendifferenzierung im Klassenzimmer erfolgt. Durch diese Funktionen können die Inhalte zur naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Kapitel 2.) sowie die individuellen, situationalen und instruktionalen Faktoren (Kapitel 3.) technisch durch die Lernplattform „mebis“ bei der Erstellung der Lernumgebung berücksichtigt werden. Die Lernplattform „mebis“ ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, selbstständig zu arbeiten, diesen die Prompts zum richtigen Zeitpunkt („*just-in-time*“) zur Verfügung zu stellen und deren eigenes Lerntempo innerhalb der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit zu bestimmen.

Abbildung 5 zeigt die Startseite von mebis. Durch den Login gelangen die „mebis“-Nutzer in ihren persönlichen Lernbereich.



Abbildung 5: Startseite der Lernplattform „mebis“

#### **4.1.2. Zusammenarbeit mit Fachlehrkräften**

Damit die Lernumgebung „ArguKos“ eine hohe Passung mit den tatsächlichen Anforderungen des Physikunterrichts hat und gewinnbringend im Unterricht eingesetzt werden kann, wurden Fachlehrkräfte in allen Entwicklungsphasen der Lernumgebung eingebunden. Aus dieser Zusammenarbeit heraus ist eine mit dem Lehrplan kompatible 5-stündige Lernumgebung zum Thema „Schwarze Löcher“ für die 10. Klasse an bayerischen Gymnasien auf der Lernplattform „mebis“ (Kapitel 4.1.1.) entstanden. Der Kurs wurde mit rund 20 interessierten Lehrkräften aus ganz Bayern im Rahmen von Workshops diskutiert und optimiert.

#### **4.1.3. Das Thema „Schwarze Löcher“ im Lehrplan der 10. Klasse an bayerischen Gymnasien**

In Kapitel 2.2. wird beschrieben, wie durch die Bildungsstandards die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit gefordert und in den Lehrplänen implementiert wird. Als curriculare Grundlage für die Lernumgebung „ArguKos“ wurde in Abstimmungen mit den Fachlehrkräften der Lehrplan für den Physikunterricht der 10. Klasse an bayerischen Gymnasien gewählt. Dieser fordert ein etwa 5-stündiges Unterrichtsprojekt, in dessen Rahmen sich die Schülerinnen und Schüler sowohl Wissen als auch Kompetenzen selbstständig unter Verwendung wissenschaftlicher Arbeitsmethoden aneignen sollen (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 2009). Um die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit mittels eines naturwissenschaftlichen Phänomens zu vermitteln und um das situationale Interesse mittels einer ansprechenden Thematik zu fördern, wurde das Thema „Schwarze Löcher“ exemplarisch aus dem Themengebiet „10.1. Aspekte der modernen Kosmologie“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 2009) ausgewählt. Das Thema greift auf das bisher erworbene physikalische Grundverständnis der Lernenden zu, in dem es auf bereits bekannten Konzepten, wie zum Beispiel Gravitation, aufbaut. Gleichzeitig werden den Schülerinnen und Schülern vielseitige Argumentationsanlässe angeboten, so dass sie ihr Verständnis für physikalische Konzepte weiterentwickeln können (Kraus & von Aufschnaiter, 2005).

## 4.2. Aufbau der Lerneinheiten und Vorstellung der Inhalte

Nachfolgend werden die Rahmendaten der Lernumgebung „ArguKos“ kurz zusammengefasst (Abbildung 6) und die einzelnen Unterrichtseinheiten, die im Rahmen des Kurses auf der Lernplattform „mebis“ zur Verfügung gestellt werden, detailliert beschrieben. Das vollständige Unterrichtsmaterial ist im Anhang (Anhang 1) zu finden.

„ArguKos – Argumentieren lernen in der Kosmologie“

**Dauer:** 5 Unterrichtseinheiten & wissenschaftliche Begleitung

**Entwicklung:** in enger Zusammenarbeit mit Fachlehrkräften

**Zielgruppe:** 10. Klasse an bayerischen Gymnasien

**Lehrplan:** Verortung im Thema „10.1. Aspekte der modernen Kosmologie“

**3 verschiedene Treatments:**

- A: strukturierte Prompts
- B: unstrukturierte Prompts
- C: Kontrollgruppe ohne zusätzliche Prompts

**Individuelles & selbständiges Lernen:** wird gefördert

Abbildung 6: Steckbrief „ArguKos – Argumentieren lernen in der Kosmologie“

Die erste Unterrichtseinheit (Kapitel 4.2.1.) beschäftigt sich mit der Frage „Wie funktioniert naturwissenschaftliches Argumentieren?“. Diese Unterrichtseinheit ist eine Einführung in das naturwissenschaftliche Argumentieren und bereitet die Schülerinnen und Schüler auf die nachfolgenden Unterrichtseinheiten vor.

Die danach folgenden Unterrichtseinheiten sind in jeweils zwei Phasen gegliedert.

In der ersten Phase der Unterrichtseinheit sollen sich die Schülerinnen und Schüler das für sie neue physikalische Thema selbstständig erarbeiten. Zur Vertiefung erhalten die Schülerinnen und Schüler im Anschluss zu dem jeweiligen Thema Verständnis- oder auch Rechenaufgaben.

In der zweiten Phase der Unterrichtseinheit sollen die Schülerinnen und Schüler Argumentationsaufgaben (Kapitel 6.3.1.2.) zum zuvor Gelernten bearbeiten. Die

Aufgaben richten sich nach der Definition der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Kapitel 2.1.) und umfassen in erster Linie die Konstruktion eines naturwissenschaftlichen Arguments. Der Fokus bei der Förderung und Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit wird verstärkt auf der Konstruktion eines Arguments zu naturwissenschaftlichen Phänomenen (Kapitel 2.1.) gelegt, da die Fähigkeit, Argumente konstruieren zu können, der Fähigkeit, ein Argument kritisieren zu können, vorausgeht. Zur Unterstützung und Berücksichtigung der individuellen Lernvoraussetzungen werden die Schülerinnen und Schüler in dieser Phase durch unterschiedlich strukturierte Prompts (Kapitel 6.3.1.3) unterstützt.

Um das Autonomie- und Kompetenzerleben der Schülerinnen und Schüler zu fördern, können die Schülerinnen und Schüler die jeweilige Einheit in ihrem eigenen Lerntempo bearbeiten. Für sehr schnell arbeitende Schülerinnen und Schüler werden weiterführende Informationen zum jeweiligen Thema angeboten.

Am Ende jeder Lerneinheit werden den Schülerinnen und Schülern Lösungsvorschläge für die selbstständige Lernzielkontrolle zur Verfügung gestellt. Damit wird sichergestellt, dass die Lernenden eine einheitliche Rückmeldung erhalten, die sie mit ihren eigenen Ergebnissen abgleichen können und entsprechend ihren Lernfortschritten einschätzen können (Kapitel 3.3.1).

#### **4.2.1. Unterrichtseinheit 1: Wie funktioniert naturwissenschaftliches Argumentieren?**

Um die Schülerinnen und Schüler mit der Lernumgebung „mebis“ vertraut zu machen, erhalten sie zu Beginn der Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ eine kurze Einführung (Abbildung 7), wie sie mit den verschiedenen zur Verfügung gestellten Dateien, wie zum Beispiel Forum, Video und Aufgaben, arbeiten können. Neben den Lernzielen des Kurses wird ihnen auch erklärt, wie sie sich das Wissen rund um die Themen „Schwarze Löcher“ und „naturwissenschaftliches Argumentieren“ in der Lernumgebung „ArguKos“ selbstständig erarbeiten sollen und wie sie sich Unterstützung von der Lehrkraft über das Forum holen können.

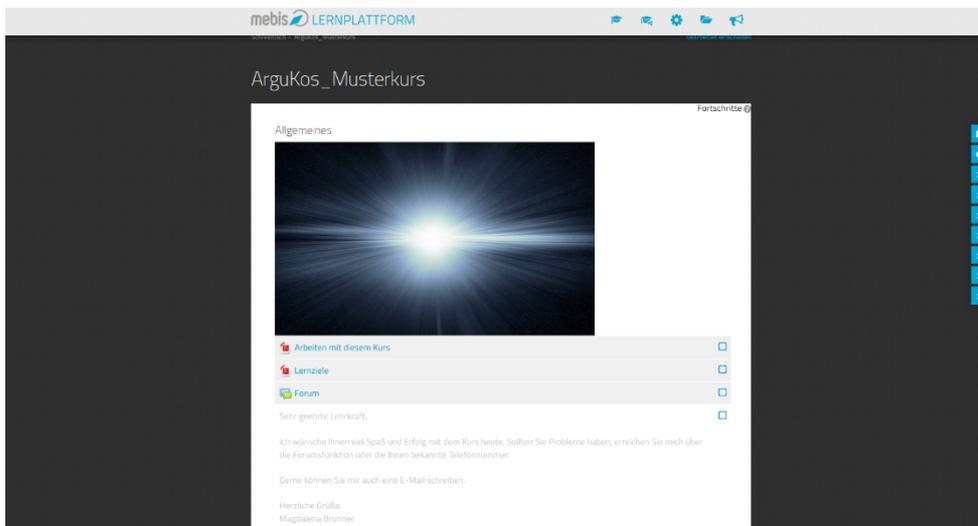


Abbildung 7: ArguKos – Startseite des Kurses mit einem Bild der Spiral Galaxy M81<sup>6</sup>

In der ersten Unterrichtseinheit liegt der thematische Schwerpunkt auf der Einführung in das naturwissenschaftliche Argumentieren. Hierfür werden zum einen Alltagsbeispiele aus dem Leben der Jugendlichen verwendet und zum anderen wird ein Lehrvideo<sup>7</sup> eingesetzt.

In diesem Lehrvideo werden den Schülerinnen und Schülern die drei Bestandteile des vereinfachten Argumentationsmodells von Toulmin (Kapitel 2.3.2.2.) vorgestellt und deren Anwendung mittels eines Beispiels veranschaulicht. Um das Gelernte gleich selbst anzuwenden und zu vertiefen, bekommen die Schülerinnen und Schüler im Anschluss an das Lehrvideo die Aufgabe, ein Argument zu konstruieren. Hierbei werden die Schülerinnen und Schüler durch jeweils unterschiedlich strukturierte Prompts unterstützt.

Nach der Bearbeitung der Argumentationsaufgabe bekommen die Lernenden Lösungsvorschläge präsentiert. Die Lösungsvorschläge geben den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, ihre eigene Antwort einzuordnen und ihren Kenntnisstand einzuschätzen. Gleichzeitig zeigen die Lösungsvorschläge auch, dass es mehrere richtige Ansätze für ein Argument geben kann. Schülerinnen und Schüler die sehr schnell gearbeitet haben, haben nun die Möglichkeit, ihr Wissen durch zusätzlich bereitgestellte Informationen zu vertiefen.

<sup>6</sup> Quelle: NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI, AURA)

<sup>7</sup> Das Video kann unter <https://www.youtube.com/watch?v=ZsPnodnHwU4> (Stand 17.06.2018) angeschaut und abgerufen werden.

## 4.2.2. Unterrichtseinheit 2: Was ist Gravitation und das Teilchenmodell des Lichts?

In der zweiten Unterrichtseinheit beginnen die Schülerinnen und Schüler sich mit dem Thema „Schwarze Löcher“ auseinanderzusetzen. Zu Beginn dieser Unterrichtseinheit erhalten die Schülerinnen und Schüler einen *Advanced Organizer* (Abbildung 8), um einen Überblick über die thematischen Lerninhalte der nachfolgenden Unterrichtseinheiten zu bekommen. Der *Advanced Organizer* trägt zur klaren Strukturierung der Lernumgebung bei und fördert dadurch das situationale Interesse und das Autonomie- und Kompetenzerleben (Willems, 2011).

The screenshot shows the mebis LERNPLATTFORM interface. At the top, there is a navigation bar with the logo and several icons. Below that, the page title '2.1. Das erwartet dich' is displayed. The main content area is framed by a dark border and contains the following text:

**Was dich erwartet**

In der letzten Unterrichtsstunde hast Du Dich mit den Funktionen des E-Learning-Kurses vertraut gemacht und etwas über das naturwissenschaftliche Argumentieren gelernt.

Ab dieser Unterrichtsstunde kommst Du dem „Schwarzen Loch“ immer näher. Dabei lernst Du Schritt für Schritt Konzepte kennen, die Dir helfen zu verstehen, was ein „Schwarzes Loch“ ist. Denn das fällt manchmal selbst Astrophysikern schwer.

In den Sprechblasen siehst Du, was Dich in den einzelnen Stunden erwarten wird:

**2 „Gravitation“ & „Licht hat Masse“**  
Im ersten Abschnitt lernst Du die Gravitation, eine Ursache für die Entstehung schwarze Löcher kennen und erfährst warum man annehmen kann, dass Licht eine Masse hat.

**3 „Lichtablenkung durch Gravitation“**  
In dieser Einheit erfährst Du warum Lichtwege nicht immer gradlinig verlaufen und unter welchen Bedingungen sie abgelenkt werden können.

**Rund um das schwarze Loch**

Abbildung 8: ArguKos – Ausschnitt des Advanced Organizers in der 2. Unterrichtseinheit

Um die Schülerinnen und Schüler schrittweise an die Thematik „Schwarze Löcher“ heranzuführen, schafft diese Unterrichtseinheit eine Grundlage. Neben der Frage „Was ist Gravitation?“ gehen die Schülerinnen und Schüler auch der Frage nach „Was ist das

Teilchenmodell des Lichts?“. Die Text- und die Rechenaufgabe in dieser Unterrichtseinheit beziehen sich auf das Newtonsche Gravitationsgesetz. Die Argumentationsaufgabe bezieht sich auf die Wellen- und Teilcheneigenschaften des Lichts.

### 4.2.3. Unterrichtseinheit 3: Licht kann durch Gravitation abgelenkt werden

Aufbauend auf der zweiten Unterrichtseinheit beschäftigt sich die dritte Einheit mit der Frage, wie sich Licht durch Gravitation beeinflussen lässt. Dabei geht es zum einen um die Lichtablenkung durch Gravitation und zum anderen um den Gravitationslinseneffekt (Abbildung 9). Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass der Gravitationslinseneffekt immer noch in der modernen Astronomie genutzt wird, um Erkenntnisse über weit entfernte Sterne und Galaxien zu bekommen.

mebis LERNPLATTFORM

der Bewegung haben sie Masse und sind damit von der Gravitation beeinflussbar. Nichts kann sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit  $c$  bewegen. Daher ist  $c$  die maximale Geschwindigkeit, mit der sich Informationen übertragen lassen.

Bei so einer großen Geschwindigkeit braucht man sehr große Massen, um überhaupt einen Einfluss der Gravitation beobachten zu können.

Im Jahre 1919 gelang es Arthur Eddington bei einer Sonnenfinsternis, die Ablenkung von Licht durch die Gravitation der Sonne nachzuweisen (siehe Abb. 1). An jenem Tag sollten Berechnungen zufolge die *Hyaden* (ein Sternhaufen im Sternbild *Stier*) hinter der Sonne liegen. Da sich der Mond im Augenblick einer Sonnenfinsternis vor der Sonne befindet, wird es so dunkel, dass man Sterne am Himmel sehen kann – auch unmittelbar in der Nähe der Sonne.

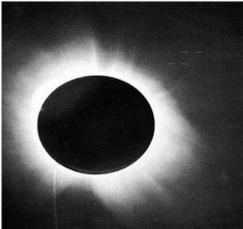


Abb.1. Ausschnitt einer Aufnahme der Sonnenfinsternis 1919. (Quelle: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Solar\\_eclipse\\_of\\_May,\\_1919](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Solar_eclipse_of_May,_1919), letzter Zugriff: 18.11.2015.)

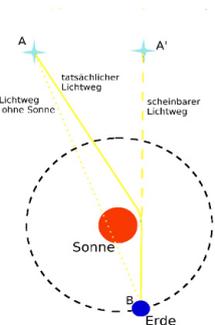


Abb. 2: In übertriebener Darstellung: die Ablenkung eines Stern-Lichtbündels durch die Gravitation der Sonne. Zur Vereinfachung wurde ein einzelner Stern der Hyaden dargestellt und der Mond weggelassen. (verändert nach Tipler, Paul A. und Llewellyn, Ralph A.: *Moderne Physik*, 2. Auflage, München 2010, S.126.)

Abb. 2 zeigt wie ein Lichtbündel eines Sterns der Hyaden in A nahe an der Sonne vorbeiläuft. Aufgrund der Gravitation zwischen Photonenmasse (Licht) und Sonnenmasse wird das Lichtbündel zur Sonne hin abgelenkt. So erreicht es den Beobachter in B auf der Erde. Das heißt, der Stern war für Eddington sichtbar! Für ihn sah es so aus, als wäre die Sternposition in A'. Wäre die Sonne zu jenem Zeitpunkt nicht in der Nähe gewesen, wäre der tatsächliche Lichtweg geradlinig von A nach B verlaufen und Eddington hätte den Stern in Position A gesehen.

Abbildung 9: ArguKos - Ausschnitt des Lernmaterials zur 3. Unterrichtseinheit

Zum Verständnis des Gelernten sollen die Schülerinnen und Schüler anhand von Abbildungen den Gravitationslinseneffekt erklären und einen potenziellen Lichtweg beschreiben, der durch den Gravitationslinseneffekt entsteht. In der Argumentationsaufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler ein Argument auf eine Frage zur Lichtgeschwindigkeit beantworten.

In dieser Unterrichtseinheit setzt nun bei den unterschiedlich strukturierten Prompts nach zwei kompletten Durchgängen mit vollständiger Unterstützung das *Outfading* (Kapitel 3.3.2.) ein.

#### 4.2.4. Unterrichtseinheit 4: Entstehung und Eigenschaft eines schwarzen Lochs

Entsprechend der Konzeption der Lernumgebung baut auch hier die Unterrichtseinheit auf das Gelernte der vorangehenden Unterrichtseinheiten auf. Die zentralen Fragen sind „Wie entsteht ein schwarzes Loch?“ und „Welche Eigenschaften besitzt es?“. Veranschaulicht werden die Antworten auf die Fragen durch das Beispiel des roten Überriesen Beteigeuze im Sternbild Orion, dem voraussichtlich eine Entwicklung zum schwarzen Loch bevorsteht.

Bei der anschließenden Textaufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler unter anderem begründen, warum ein schwarzes Loch anziehend auf Licht wirkt. Abbildung 10 zeigt die Argumentationsaufgabe für diese Unterrichtseinheit.

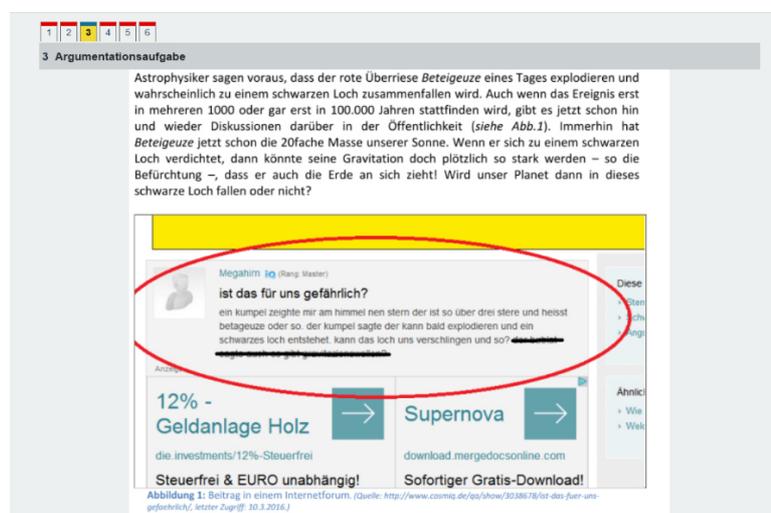


Abbildung 10: ArguKos - Argumentationsaufgabe der 4. Unterrichtseinheit

#### 4.2.5. Unterrichtseinheit 5: Berechnung des Schwarzschildradius

Abschließend befasst sich die letzte Unterrichtseinheit der Lernumgebung „ArguKos“ mit dem „Schwarzschildradius“. Dieser wurde bereits in der vierten Unterrichtseinheit angesprochen und wird nun nochmals aufgegriffen, vertieft und anhand einer einfachen Rechnung hergeleitet. Neben der Berechnung des Schwarzschildradius für einen Himmelskörper sollen die Schülerinnen und Schüler dazu auch ein naturwissenschaftliches Argument konstruieren.

Zum Abschluss des „ArguKos“-Kurses erhalten die Schülerinnen und Schüler eine kurze Zusammenfassung über das Gelernte und Informationen zu aktuellen Forschungsprojekten (Abbildung 11).

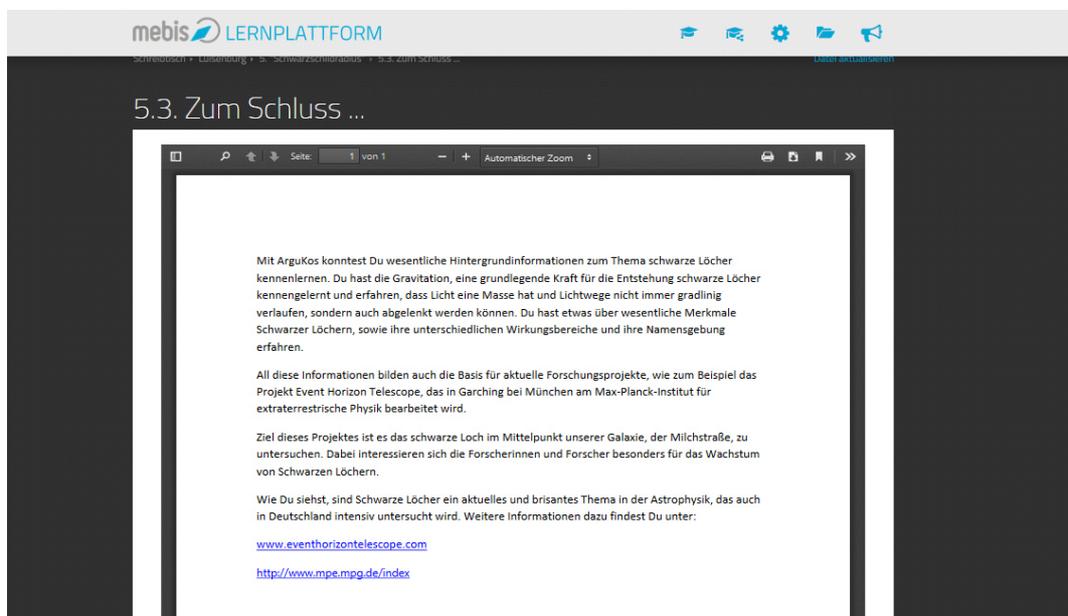


Abbildung 11: ArguKos- Zusammenfassung des Projekts und Ausblick

## 5. Fragestellungen und Hypothesen

Mit Blick auf die bisherigen Ausführungen und Überlegungen ergeben sich nachfolgende Fragestellungen, die im Rahmen der Studie analysiert werden sollen.

### **Forschungsfrage 1: Inwiefern eignet sich die Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses?**

Der erste Analyseschwerpunkt bezieht sich auf die Effektivität und die Wirksamkeit der Lernumgebung „ArguKos“ in ihrer Gesamtheit. Hierbei soll untersucht werden, ob die Lernumgebung „ArguKos“ zu einer Verbesserung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses bei den Schülerinnen und Schülern beitragen kann.

In Kapitel 4 wurde anhand eines Kriterienkatalogs gezeigt, dass die Lernumgebung „ArguKos“ basierend auf den theoretischen Überlegungen aus Kapitel 2. und 3. entwickelt wurde. Zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit mittels eines naturwissenschaftlichen Themas wurde eine Video-Argumentationsschulung, die sich auf das TAP-Basisschema bezieht, entwickelt. Die Wirksamkeit von gezielten Argumentationsschulungen wurde unter anderem in Studien von Osborne et al. (2001; 2004) sowie von Zohar und Nemet (2002) nachgewiesen. Zusätzlich wurde das physikalische Grundverständnis durch das Thema „Schwarze Löcher“ als individuelle Lernvoraussetzung der Schülerinnen und Schüler berücksichtigt. Kombiniert durch den Einsatz von Prompts als instruktionale Unterstützung bei der Bearbeitung von herausfordernden Aufgaben wird angenommen, dass die Lernumgebung „ArguKos“ die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und das situationale Interesse fördern kann.

Für die Analyse werden die Untersuchungsvariablen der Schülerinnen und Schüler vor und nach Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ in die Analyse einbezogen. Aufgrund der Berücksichtigung der genannten Merkmale zur Gestaltung einer förderlichen Lernumgebung wird erwartet, dass die Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ einen positiven Einfluss auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und das situationale Interesse hat.

## **Forschungsfrage 2: Inwiefern beeinflussen instruktionale, individuelle und situationale Faktoren die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit?**

Die Analyse der in Kapitel 3 erwähnten instruktionalen, individuellen und situationalen Faktoren und deren Einfluss auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bilden einen weiteren Schwerpunkt in der vorliegenden Arbeit. Bezüglich dieser Einflussfaktoren ergeben sich sieben Fragestellungen (Forschungsfragen 2.1. bis 2.7.) anhand derer geklärt werden soll, welchen Einfluss diese Faktoren auf den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit haben.

Anmerkung: In den Forschungsfragen werden Annahmen über die Treatments A, B und C getroffen. Bei Treatment A handelt es sich um eine Teilstichprobe der Schülerinnen und Schüler, die strukturierte Prompts erhalten. Bei Treatment B handelt es sich um die Teilstichprobe, die unstrukturierte Prompts erhält, und Treatment C stellt die Kontrollgruppe dar, die keine Prompts erhält.

### Forschungsfrage 2.1: Welche Auswirkung haben unterschiedlich strukturierte Prompts auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit?

In Kapitel 3.3. wurde dargelegt, dass Schülerinnen und Schüler bei der Entwicklung ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit durch Prompts unterstützt werden können. Während die positive Wirkung der Prompts, zum Beispiel selbsterklärende Prompts (Schworm & Renkl, 2007) oder Prompts, die zur Reflexion anregen (Knittel & Mikelskis-Seifert, 2010), durch Studienergebnisse (Knittel & Mikelskis-Seifert, 2010; Schworm & Renkl, 2007; Simon et al., 2006; Zohar & Nemet, 2002) bestätigt wird, ist wenig über die Auswirkungen des unterschiedlichen Strukturierungsgrads der Prompts bei der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit bekannt

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.3.2. beschriebenen *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011b, 1998) wird angenommen, dass sich die kognitive Belastung der Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppen (Treatments A und B) durch den Einsatz der strukturierten und unstrukturierten Prompts reduziert, so dass mehr Verarbeitungskapazität im Arbeitsgedächtnis zum Erlernen der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zur Verfügung steht (Sweller et al., 2011b). Aus diesem Grund wird erwartet, dass sich der Einsatz der Prompts in den Experimentalgruppen positiv auf

die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Prompts (Treatment C) auswirkt.

Darüber hinaus wird unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen auf Basis der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011b, 1998) erwartet, dass ein Vergleich der Treatments A und B in der Experimentalgruppe zeigt, dass sich der Einsatz von strukturierten Prompts (Treatment A) positiver auf die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit auswirkt als der Einsatz der unstrukturierten Prompts (Treatment B).

### Forschungsfrage 2.2: Welche Auswirkungen hat unterschiedliches physikalisches Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit?

Für den Kontext des Schulunterrichts ist es neben der Analyse von Situationsmerkmalen auch wichtig, die individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler zu untersuchen. Zwar zeigen die Studienergebnisse von Kuhn (Kuhn, 1991) sowie von Voss und Means (Voss & Means, 1991), dass es keinen Zusammenhang zwischen der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und dem physikalischen Grundverständnis gibt. Spätere Studien (Means & Voss, 1996; Sadler & Fowler, 2006) postulieren jedoch, dass ein Mindestmaß an Grundverständnis nötig ist, damit die Schülerinnen und Schüler ihre naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit weiterentwickeln können. Unterstützt werden diese Annahmen durch die *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011b, 1998). Unter Berücksichtigung dieser theoretischen Annahmen und der Ausführungen in Kapitel 3.2. wird erwartet, dass sich bei Schülerinnen und Schülern mit einem hohen physikalischen Grundverständnis eine positivere Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zeigt als bei Schülerinnen und Schülern mit einem mittleren oder niedrigen physikalischen Grundverständnis. Bei Schülerinnen und Schülern mit einem mittleren physikalischen Grundverständnis wird erwartet, dass diese eine positivere Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Vergleich zu Schülerinnen und Schülern mit einem niedrigen physikalischen Grundverständnis haben.

Forschungsfrage 2.3.: Welche Auswirkungen haben unterschiedlich strukturierte Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit?

Die Fragestellung 2.3. ergänzt die vorangegangenen Forschungsfragen (2.1. und 2.2.), um die Effektivität und die Wirkung der Prompts unter Berücksichtigung des *Expertise Reversal Effects* (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a) differenzierter zu analysieren. Diesem Ansatz liegt die Auffassung zugrunde, dass Schülerinnen und Schüler, die über ein hohes, mittleres oder niedriges physikalisches Grundverständnis verfügen, dadurch von jeweils einem anderen Strukturierungsgrad der Prompts (Glogger et al., 2009; Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a) beim Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit profitieren. Es wird erwartet, dass bei Schülerinnen und Schülern mit einem niedrigen oder mittleren physikalischen Grundverständnis das Treatment mit strukturierten Prompts (A) im Vergleich zu dem Treatment mit unstrukturierten Prompts (B) und zur Kontrollgruppe (C) ebenfalls zu einer höheren Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit führt. Entsprechend wird erwartet, dass bei Schülerinnen und Schülern mit einem hohen physikalischen Grundverständnis das Treatment mit unstrukturierten Prompts (B) im Vergleich zum Treatment mit strukturierten Prompts (A) und der Kontrollgruppe (C) eine bessere Wirkung zeigt.

Forschungsfrage 2.4.: Welche Auswirkungen hat unterschiedliches situationales Interesse auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit?

Neben den instruktionalen Faktoren und den individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler ist auch deren situationales Interesse für deren Lernerfolg relevant (Boekaerts et al., 2000; Deci & Ryan, 2002; Schiefele, 2009a; Schiefele & Heinen, 2006). Die Forschungsfrage 2.4. analysiert, ob sich die Ausprägung des situationalen Interesses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler auswirkt. Damit wird der Versuch unternommen, einen Forschungsbereich näher zu untersuchen, über den bisher kaum etwas bekannt ist. Denn Untersuchungen zu den Auswirkungen von unterschiedlichem situationalem Interesse bezüglich der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit sind bisher rar. Es wird erwartet, dass die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bei Schülerinnen und Schülern mit einem hohen situationalem Interesse besser ausgeprägt ist als bei

Schülerinnen und Schüler mit einem mittleren oder niedrigen situationalen Interesse. Ebenso wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler mit einem mittleren situationalen Interesse eine bessere naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit aufweisen als die Schülerinnen und Schüler mit einem niedrigen situationalen Interesse.

Forschungsfrage 2.5.: Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem situationalen Interesse und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit?

Anschließend an die vorangegangene Forschungsfrage 2.4. soll nun mit der Forschungsfrage 2.5. der Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit analysiert werden. Hinsichtlich des bereits bekannten positiven Zusammenhangs zwischen dem situationalen Interesse und dem Lernerfolg (Boekaerts et al., 2000; Hidi & Renninger, 2006; Schiefele, 2009b; Schiefele & Heinen, 2006) wird ein positiver Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit erwartet.

Forschungsfrage 2.6.: Welche Auswirkungen haben unterschiedliches Autonomie- und Kompetenzerleben auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit?

Die Forschungsfrage 2.6. stellt eine Ergänzung zur Forschungsfrage 2.4. dar. Durch die Annahme, dass das situationale Interesse durch die Befriedigung des Autonomie- und Kompetenzerlebens gefördert wird (Deci & Ryan, 1985, 1993, 2002; Ryan, 1995), soll nun untersucht werden, welche Auswirkungen das unterschiedliche Erleben von Autonomie und Kompetenz (zusammengefasst: motivational-relevantes Erleben) auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit hat. Auch diese Fragestellung wurde bisweilen kaum untersucht. Es wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler, die ein hohes motivational-relevantes Erleben haben eine bessere naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit haben als Schülerinnen und Schüler mit einem mittleren oder niedrigen motivational-relevanten Erleben. Ebenso wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler mit einem mittleren motivational-relevanten Erleben eine bessere naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit besitzen als die Schülerinnen und Schüler mit einem niedrigen motivational-relevanten Erleben.

### Forschungsfrage 2.7.: Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Autonomie- und Kompetenzerleben und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit?

Nach der Analyse des Zusammenhangs zwischen dem situationalen Interesse und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.5.) stellt sich nun die Frage, inwiefern das Autonomie- und Kompetenzerleben mit der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit korreliert. Wie in Kapitel 3.2.2. angeführt, trägt die Befriedigung der *basic needs* in der spezifischen Lernsituation dazu bei, dass das situationale Interesse gefördert wird und somit die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit gelingen kann. Aus diesem Grund soll der Zusammenhang beider Variablen untersucht werden.

### **Forschungsfrage 3: Welche Auswirkungen haben unterschiedlich strukturierte Prompts auf das situationale Interesse und das Autonomie- und Kompetenzerleben?**

Die nachfolgenden Forschungsfrage sollen unter verschiedenen Aspekten klären, inwieweit unterschiedlich strukturierte Prompts das situationale Interesse und das Autonomie- und Kompetenzerleben fördern können.

#### Forschungsfrage 3.1.: Welche Auswirkungen haben unterschiedlich strukturierte Prompts auf das situationale Interesse?

Da bisher sehr wenig über die motivationale Wirkung von unterschiedlich strukturierten Prompts im Sinne der Förderung des situationalen Interesses bekannt ist, untersucht die Forschungsfrage 3.1., ob unterschiedlich strukturierte Prompts Auswirkungen auf das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler haben. Es wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler der Treatments A und B ein höheres situationales Interesse aufweisen als die Schülerinnen und Schüler des Treatments C.

### Forschungsfrage 3.2.: Welche Auswirkungen haben unterschiedlich strukturierte Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben?

Die Forschungsfrage 3.2. schließt an die Forschungsfrage 3.1. an. Neben der Frage, inwiefern unterschiedlich strukturierte Prompts Auswirkungen auf das situationale Interesse haben, ist auch die Frage nach den Auswirkungen auf das Autonomie- und Kompetenzerleben von Interesse. Damit sich Schülerinnen und Schüler sowohl als autonom als auch als kompetent wahrnehmen, benötigen diese klare Instruktionen, die bei Aufgaben angeboten werden sollten (Deci & Moller, 2005; J. A. Elliot et al., 2002; Prenzel, 1997; Rakoczy et al., 2007; Seidel et al., 2005; Willems, 2011). Es wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler der Treatments A und B ein stärkeres Autonomie- und Kompetenzerleben haben, als die Schülerinnen und Schüler des Treatments C.

### Forschungsfrage 3.3.: Welche Auswirkungen haben unterschiedlich strukturierte Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das situationale Interesse?

Mit der Frage nach der Auswirkung von unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das situationale Interesse wird die Forschungsfrage 3.1. spezifiziert. Unter der Annahme der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011b, 1998) werden Schülerinnen und Schüler je nach ihrem physikalischen Grundverständnis durch unterschiedlich strukturierte Prompts unterstützt. Ergänzend zu den Annahmen aus Fragestellung 2.3. ist zu erwarten, dass die Schülerinnen und Schüler mit einem niedrigen und mittleren physikalischen Grundverständnis im Fach Physik durch die Bearbeitung des Treatments A im Vergleich zur Bearbeitung der Treatments B und C ein höheres situationales Interesse aufweisen. Entsprechend erleben die Schülerinnen und Schüler mit einem hohen physikalischen Grundverständnis bei der Bearbeitung des Treatments B ein höheres situationales Interesse, als bei der Bearbeitung der Treatments A und C.

Forschungsfrage 3.4.: Welche Auswirkungen haben unterschiedlich strukturierte Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das Autonomie- und Kompetenzerleben?

Aufgrund der engen Beziehung zwischen dem Erleben der *basic needs* und dem situationalen Interesse werden nun die Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das Autonomie- und Kompetenzerleben untersucht.

Basierend auf dem *Expertise Reversal Effect* (Kapitel 3.3.2.) wird erwartet, dass bei einem niedrigen und mittleren physikalischen Grundverständnis im Fach Physik die Bearbeitung des Treatments A im Vergleich zur Bearbeitung der Treatments B und C mit einem positiveren Erleben von Kompetenz und Autonomie einhergeht. Entsprechend erleben die Schülerinnen und Schüler mit einem hohen physikalischen Grundverständnis bei der Bearbeitung des Treatments B mehr Kompetenz und Autonomie als bei der Bearbeitung der Treatments A und C.

Forschungsfrage 3.5. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem situationalen Interesse und dem Erleben von Autonomie und Kompetenz?

Kapitel 3.2.1. stellt die Bedeutung des situationalen Interesses für die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit dar. In Anlehnung an die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (Deci & Ryan, 1985, 1993, 2002; Ryan, 1995) zeigen die theoretischen Überlegungen in Kapitel 3.2.2., dass das Erleben der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse (*basic needs*) – vor allem die Bedürfnisse nach Autonomie und Kompetenz - zur Förderung des situationalen Interesses relevant ist (Krapp, 2002b; Lewalter & Willems, 2009; Neubauer et al., 2014; Ryan, 1995). Die Forschungsfrage 3.5. hat die Aufgabe, den theoretisch postulierten Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und dem Erleben von Autonomie und Kompetenz zu überprüfen.

# **Empirischer Teil**

## 6. Methodik

Für die empirischen Untersuchungen der in Kapitel 5 dargestellten Fragestellungen wurden im Rahmen des Projekts „ArguKos – Argumentieren lernen in der Kosmologie“ Daten von Schülerinnen und Schülern der 10. Klasse an bayerischen Gymnasien erhoben. Im vorliegenden Kapitel soll zunächst in Kapitel 6.1. das Untersuchungsdesign näher vorgestellt werden. In Kapitel 6.2. wird die zugrundeliegende Stichprobe charakterisiert. Die zur Gewinnung der Daten eingesetzten Erhebungsinstrumente werden im Kapitel 6.3. präsentiert. In Kapitel 6.4. wird der Umgang mit den fehlenden Werten in der vorliegenden Arbeit thematisiert. Im Anschluss daran wird in Kapitel 6.5. die Datenanalyse der nicht parametrisch verteilten Daten detailliert beschrieben.

### 6.1. Untersuchungsdesign

Um die in Kapitel 5 erläuterten Fragestellungen hinsichtlich der Zielvariablen „naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit“ überprüfen zu können wurde ein Pretest-Posttest-Design gewählt. Dieses Design wurde durch eine Begleitbefragung während der Unterrichtseinheiten ergänzt, die neben der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit auch die Zielvariable „situationales Interesse“ erfasst, sodass sich die Erhebung in insgesamt sieben Befragungszeitpunkte gliedert. Die Befragung fand während der regulären Unterrichtszeit im Fach Physik an den einzelnen teilnehmenden Gymnasien statt. Die Fachlehrkräfte konnten selbst entscheiden, zu welchem Zeitpunkt in der zweiten Schuljahreshälfte sie das 7-stündige Forschungsprojekt durchführen wollten. Dadurch wurde gewährleistet, dass das Projekt fließend in den regulären Unterricht eingebettet werden konnte.

Die Durchführung der wissenschaftlichen Untersuchung begann im Februar 2016 nach der Genehmigung durch das Bayerische Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst im Januar 2016 und dauerte bis zum Beginn der bayerischen Sommerferien im Juli 2016. Die Teilnahme an der Studie war sowohl für die Schulen und Lehrkräfte sowie für die Schülerinnen und Schüler freiwillig. Zur Teilnahme an der Studie wurden Einverständniserklärungen von den Gymnasien, den Schülerinnen und Schülern sowie von deren Erziehungsberechtigten eingeholt.

Abbildung 12 zeigt den chronologischen Ablauf der Erhebung für die teilnehmenden Klassen.

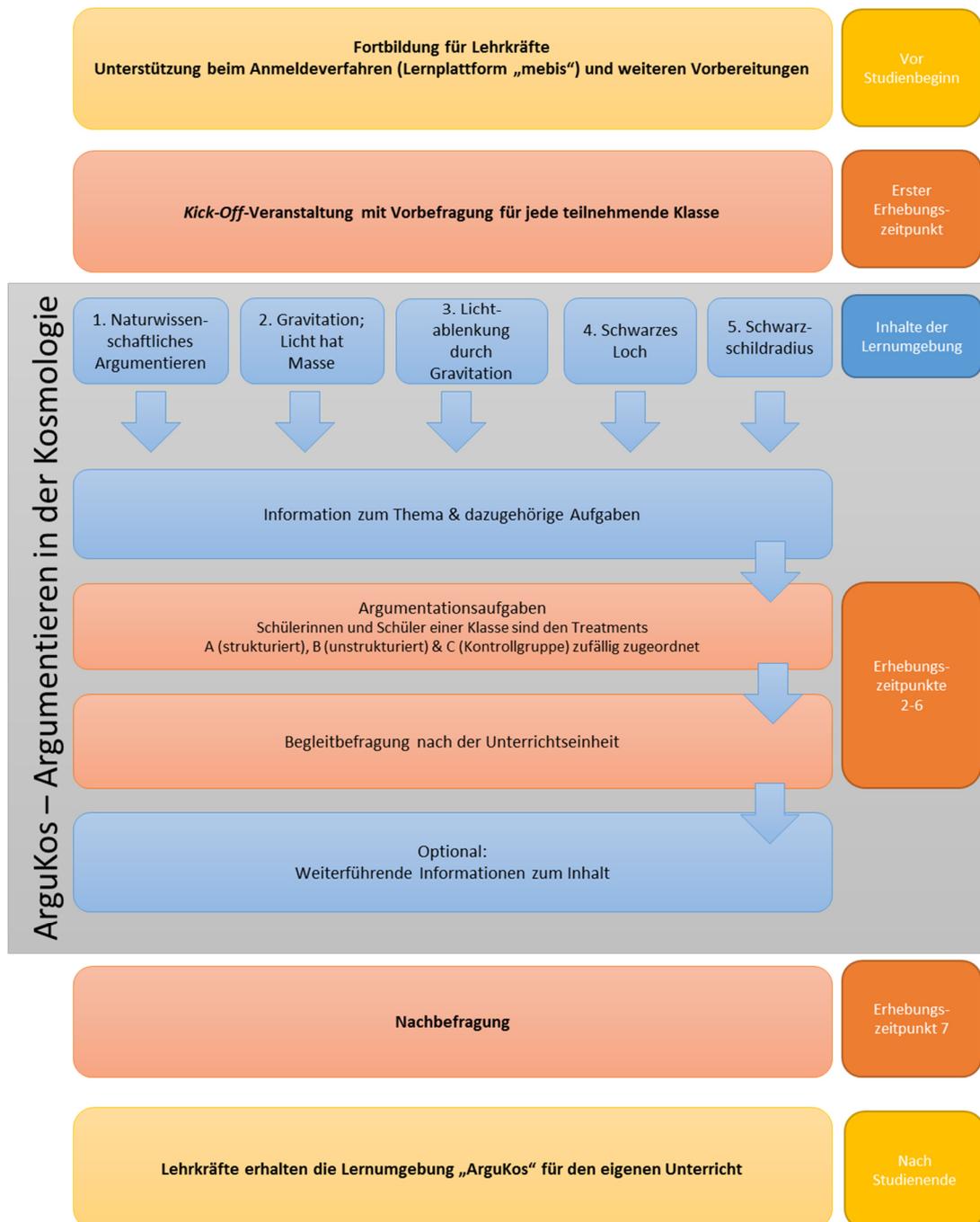


Abbildung 12: Untersuchungsdesign der empirischen Studie

Vor Beginn der Studie und der damit verbundenen Implementierung der Lernumgebung „ArguKos“ in das Unterrichtsgeschehen hatten die Lehrkräfte die Möglichkeit, an Fortbildungen teilzunehmen, bei denen sie Informationen zum Ablauf der Studie, zum Aufbau und zu den Inhalten der Lernumgebung „ArguKos“ sowie zu deren technischen Voraussetzungen erhielten.

Im Falle einer Erstanmeldung auf der Lernplattform „mebis“ wurden die Lehrkräfte beim Anmeldeverfahren unterstützt.

Um sicher zu stellen, dass die Lehrkräfte und die Schülerinnen und Schüler die gleichen Informationen zum Projekt, zum Studienablauf und zur Lernumgebung „ArguKos“ haben, erhielten die Lehrkräfte ein Handbuch (Gliederung in Anhang 2.1) und es wurde für jede teilnehmende Klasse eine *Kick-Off*-Veranstaltung durchgeführt. In dieser Auftaktveranstaltung meldeten sich die Probanden das erste Mal in den für ihre Klasse zur Verfügung gestellten „ArguKos“-Kurs an. Ein exemplarischer Ablauf der *Kick-Off*-Veranstaltung ist in Anhang 2.2. zu finden.

Während der Datenerhebung stand den Probanden bei Fragen oder Problemen eine Kontaktperson zur Verfügung, die über das Kursforum der Klassen erreichbar war.

## 6.2. Charakteristika der Stichprobe

Für die Studie wurden  $N = 482$  Schülerinnen und Schüler der 10. Jahrgangsstufe aus 25 Klassen an 11 bayerischen Gymnasien befragt. Aufgrund einer Ausfallquote von 72% von Schülerinnen und Schülern, die aus den unterschiedlichsten Gründen (zum Beispiel Krankheit<sup>8</sup>) nicht vollständig befragt werden konnten, beläuft sich die verwendete Stichprobe auf  $N = 134$  Schülerinnen und Schüler aus 12 Klassen von 7 bayerischen Gymnasien.

Die Schülerinnen und Schüler sind zum Zeitpunkt der Studie zwischen 15 und 18 Jahren alt, wobei das durchschnittliche Alter der Schülerinnen und Schüler bei  $M = 15.91^9$  Jahre ( $SD = .67$ ) liegt. Dabei sind  $n = 74$  (55.2%) der Befragten weiblich und  $n = 60$  (44.8%) männlich. Von den 134 Schülerinnen und Schülern wählten  $n = 57$  (42.5%) den

---

<sup>8</sup> Weitere Gründe für die Ausfallquote werden in Kapitel 8.2. diskutiert.

<sup>9</sup> Die Ergebnisse werden nach anglo-amerikanischer Schreibweise dargestellt. Dies bedeutet, dass ein Punkt statt einem Komma als Dezimaltrennzeichen verwendet wird. Zusätzlich wird die führende Null bei Werten zwischen -1 und 1 nicht ausgeschrieben.

naturwissenschaftlichen Schulzweig,  $n = 35$  (26.1%) den sprachlichen Schulzweig,  $n=31$  (23.1%) den wirtschaftswissenschaftlichen Schulzweig,  $n = 4$  (3.0%) den humanistischen Schulzweig und  $n = 7$  (5.2%) machten keine Angaben zu ihrer gewählten Ausbildungsrichtung am Gymnasium.

Die Lehrkräfte konnten wählen, ob sie das Projekt im Physik- oder Deutschunterricht oder im Rahmen einer Kooperation in beiden Fächern durchführen möchten. Von der Gesamtstichprobe haben  $n = 126$  (94.0%) der Schülerinnen und Schüler angegeben, dass sie im Fach Physik an der Studie teilnahmen.  $N = 8$  (6.0%) machten hierzu keine Angabe.

### Verteilung der Schülerinnen und Schüler auf die Treatments

Die Schülerinnen und Schüler einer Klasse wurden zufällig einer der drei Treatments zugewiesen. In Treatment A (strukturierte Prompts) sind  $n = 43$  (32.1%). Davon sind  $n = 26$  (60.5%) Schülerinnen und  $n = 17$  (39.5%) Schüler, die ein durchschnittliches Alter von  $M = 15.98$  ( $SD = .67$ ) haben.

In Treatment B (unstrukturierte Prompts) werden  $n = 49$  (36.6%) Schülerinnen und Schüler zugeteilt. Davon sind  $n = 22$  (44.9 %) der Befragten weiblich und  $n = 27$  (55.1 %) männlich. Die Schülerinnen und Schüler sind durchschnittlich  $M = 15.9$  ( $SD = .65$ ) Jahre alt.

Dem Treatment C (keine Prompts; Kontrollgruppe) sind  $n = 42$  (31.3%) zugewiesen. In dieser Gruppe sind  $n = 26$  (61.9%) Schülerinnen und  $n = 16$  (38.1 %) Schüler, die ein durchschnittliches Alter von  $M = 15.9$  ( $SD = .68$ ) haben.

## 6.3. Erhebungsinstrumente

Die Befragung der Schülerinnen und Schüler findet an sieben Zeitpunkten mittels Fragebögen (Anhang 3 – 5) statt. Messzeitpunkt (MZP) 1 dient der Vorbefragung und wird entsprechend vor Bearbeitungsbeginn der Lernumgebung durchgeführt. In den Messzeitpunkten 2 – 6 findet ein Teil der Begleitbefragung während der Bearbeitung der Argumentationsaufgaben in der Lernumgebung und ein Teil unmittelbar nach der Bearbeitung statt. Die Befragung im Messzeitpunkt 7 ist eine Nachbefragung und wird

entsprechend nach Beendigung der Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ durchgeführt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die verwendeten Erhebungsinstrumente.

Messzeitpunkt (MZP)	Erhebungsinstrumente
Vorbefragung (Anhang 3) MZP: 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freude und Interesse an den Naturwissenschaften</li> <li>• Naturwissenschaftliche Selbstwirksamkeitserwartung</li> <li>• Schulfachspezifisches Interesse</li> <li>• Physikalisches Grundverständnis</li> <li>• Offene Vorwissensfrage zum Thema „Schwarzes Loch“</li> <li>• Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit mittels <i>Concept Cartoons</i></li> </ul>
Begleitbefragung (Kapitel 6.3.1.2. und Anhang 4) MZP: 2 - 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit mittels Argumentationsaufgaben (Kapitel 6.3.1.2.)</li> <li>• Situationales Interesse</li> <li>• Motivational-relevantes Erleben (Autonomie, Kompetenz)</li> </ul>
Nachbefragung (Anhang 5) MZP: 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit mittels <i>Concept Cartoons</i></li> <li>• Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung</li> <li>• Freude und Interesse am Umgang mit dem Computer</li> <li>• Selbstregulation</li> <li>• Schulfachspezifisches Interesse<sup>10</sup></li> <li>• Lesegewohnheiten<sup>11</sup></li> </ul>

Tabelle 1: Übersicht über die Erhebungsinstrumente

Mittels einer Pilotstudie (N = 67) im Februar 2016 wurden die Skalen und die zur Verfügung gestellte Bearbeitungszeit optimiert. Die verwendeten Instrumente werden nachfolgend detailliert beschrieben. Dabei werden die Instrumente neu gruppiert und entsprechen daher nicht der Reihenfolge in Tabelle 1.

<sup>10</sup> Diese Skala wurde sowohl in der Vor- als auch in der Nachbefragung eingesetzt. Für die vorliegende Arbeit werden nur die Daten aus der Vorbefragung verwendet.

<sup>11</sup> Die Skala „Lesegewohnheiten“ wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet und wird auch nicht weiter beschrieben.

### **6.3.1. Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit**

Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler wurde für die vorliegende Arbeit in schriftlicher Form erhoben. Für dieses Vorgehen spricht die Argumentation nach Osborne et al. (2004), dass die Schülerinnen und Schüler durch die schriftliche Form dazu angeregt werden, ihre Argumente klar und vollständig zu formulieren, da die Möglichkeit der mündlichen Ergänzung wegfällt (Kapitel 2.2.3.3.). Für die Erfassung der Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit vor und nach der Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ wurden *Concept Cartoons* (Kapitel 2.2.3.2.) eingesetzt. Um die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit während der Lernumgebung zu verfolgen, wurden Argumentationsaufgaben mit entsprechenden Treatments (A: strukturierte Prompts; B: unstrukturierte Prompts; C: keine Prompts) eingesetzt. Nachfolgend werden die als Erhebungsinstrumente eingesetzten *Concept Cartoons* und Argumentationsaufgaben vorgestellt.

#### 6.3.1.1. Vor- und Nachbefragung mittels *Concept Cartoons*

Wie eingangs bereits erwähnt, wird die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler in der vorliegenden Arbeit mittels *Concept Cartoons* (Kapitel 2.2.3.) in schriftlicher Form erhoben. Damit schließt sich die Arbeit bisherigen Untersuchungen (u.a. Osborne et al., 2004; Wächter & Kauertz, 2013) zur naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit an. Es wurden *Concept Cartoons* ausgewählt, die inhaltlich nicht im Zusammenhang mit der Lernumgebung stehen, um auszuschließen, dass die Leistung hinsichtlich der Argumentationsfähigkeit durch den inhaltlichen Wissenszuwachs während der Bearbeitung der Lernumgebung beeinflusst wird. Zudem wurden Themen gewählt, die in früheren Schuljahren bereits im Physikunterricht behandelt wurden, so dass die Schülerinnen und Schüler über ein ausreichendes Grundverständnis der thematisierten Konzepte verfügen. Durch dieses Vorgehen wird der Versuch unternommen, eine Beeinflussung der Zielvariablen auszuschließen, um eine valide Aussage über die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler im Pre- und Posttest treffen zu können.

Den Schülerinnen und Schülern wurden während der Vor- und Nachbefragung jeweils drei *Concept Cartoons* (entwickelt und evaluiert von Kraus & von Aufschnaiter, 2005; Osborne et al., 2004; Wächter & Kauertz, 2012) präsentiert, für deren Bearbeitung sie insgesamt 15 Minuten Zeit (ca. 5 Minuten pro *Concept Cartoon*) hatten. Die Abbildungen 13 – 15 zeigen die eingesetzten *Concept Cartoons*.

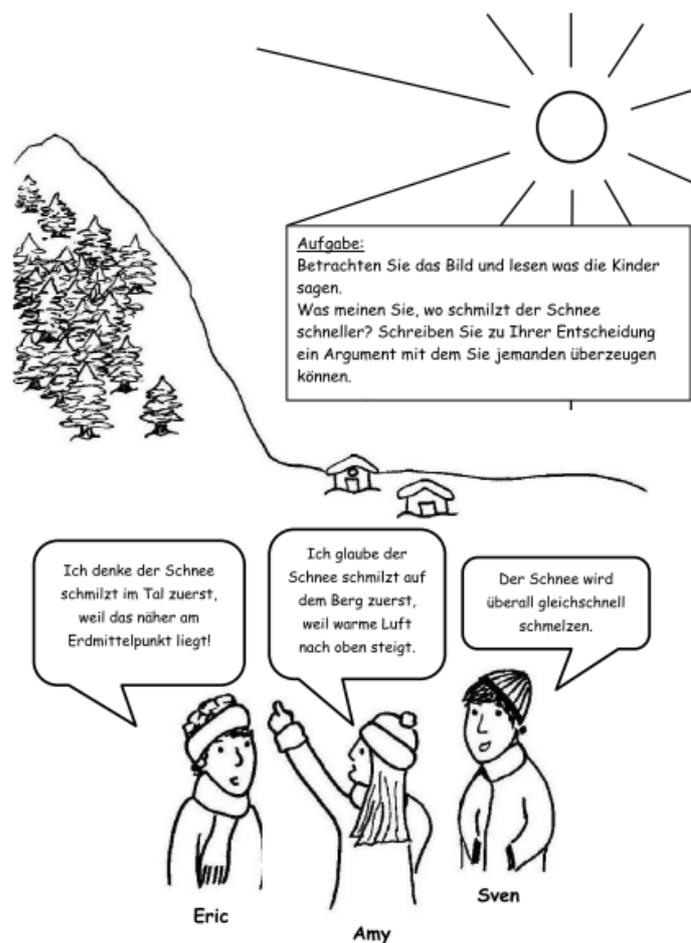
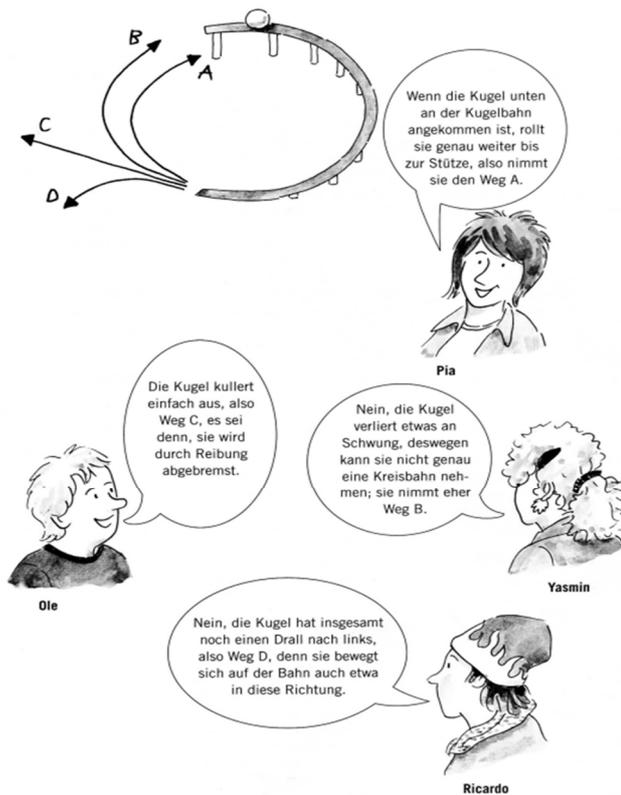


Abbildung 13: *Concept Cartoon* „Berg und Tal“

Der *Concept Cartoon* „Berg und Tal“ (Abbildung 13) zeigt den Schülerinnen und Schülern drei unterschiedliche Aussagen zu der Frage „Wo schmilzt der Schnee schneller?“ Der *Concept Cartoon* wurde von Wächter und Kauertz (Wächter & Kauertz, 2013) im Rahmen eines Video-Tests zur Untersuchung physikbezogener argumentativer Fähigkeiten eingesetzt. Bei der Bearbeitung der Aufgabe können die Schülerinnen und Schüler auf ihr Wissen zur Wärmelehre der 8. Klasse an bayerischen Gymnasien zurückgreifen.



Aufgabe:

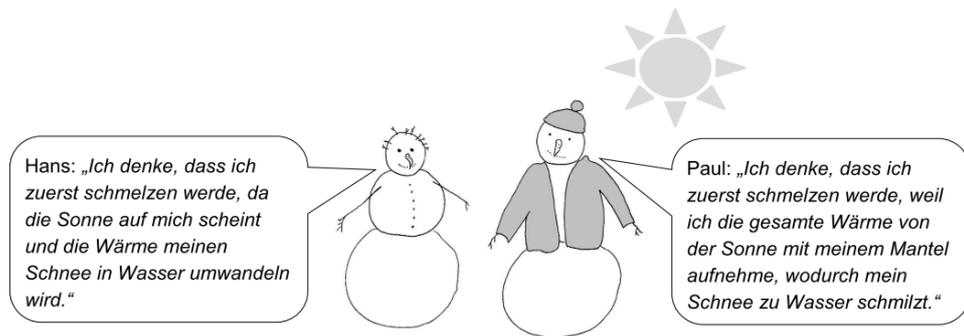
Betrachten Sie das Bild und lesen Sie was die Kinder sagen.

Was meinen Sie, welchen Weg die Kugel nehmen wird?

Schreiben Sie zu Ihrer Entscheidung ein Argument mit dem Sie jemanden überzeugen können.

Abbildung 14: *Concept Cartoon* „Die Kugelbahn“

Der *Concept Cartoon* „Die Kugelbahn“ (Abbildung 14) basiert auf einer Frage aus der TIMSS-Studie (Baumert et al., 1998). In diesem *Concept Cartoon* werden die Schülerinnen und Schüler mit gleichförmigen geradlinigen Bewegungen beziehungsweise mit beschleunigten Bewegungen aus dem Themenbereich „Kinematik“ konfrontiert, welches sie bereits in der 7. Klasse bayerischer Gymnasien kennengelernt haben. Die Schülerinnen und Schüler bekommen auch bei diesem *Concept Cartoon* die Aufgabe, sich für eine präsentierte Aussage zu entscheiden und ein überzeugendes Argument zu konstruieren.



Betrachten Sie das Bild und lesen Sie was die Schneemänner sagen.  
 Was denken Sie welcher der Schneemänner zuerst schmelzen wird? Schreiben Sie zu Ihrer Entscheidung ein Argument mit dem Sie jemanden überzeugen können.

Abbildung 15: *Concept Cartoon* „Die Schneemänner“

Der *Concept Cartoon* „Die Schneemänner“ (Abbildung 15) stammt aus dem IDEAS-Projekt von Osborne et al. (2004). In diesem *Concept Cartoon* zur Wärmelehre sollen sie erkennen, dass es sich bei der Jacke des Schneemanns um einen Wärmeisolator handelt. Bei der Bearbeitung der Aufgabe können die Schülerinnen und Schüler auf ihr Wissen der 8 Klasse an bayerischen Gymnasien zurückgreifen.

### 6.3.1.2. Begleiterhebung mittels Argumentationsaufgaben

Zur Messung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler während der Bearbeitung der Lernumgebung wurden drei der fünf Unterrichtseinheiten als Messzeitpunkte für die Analyse ausgewählt. Wie Abbildung 16 zeigt, handelt es sich dabei um die Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5.

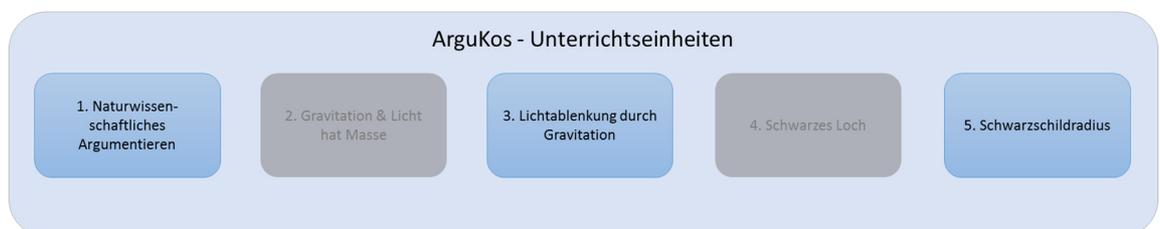


Abbildung 16: ArguKos - Unterrichtseinheiten zur Erhebung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit

In den ausgewählten Unterrichtseinheiten wurden die bearbeiteten Argumentationsaufgaben der Schülerinnen und Schüler analysiert. Die Argumentationsaufgaben lauten wie folgt:

Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 1: „Naturwissenschaftliches Argumentieren“

Auf dem Heimweg hörst du, wie sich zwei Mitschüler unterhalten. Der Schüler findet naturwissenschaftliches Wissen für seinen Alltag unnützlich. Von seiner Begleitung möchte er nun wissen, welches Argument sie dafür hat, dass naturwissenschaftliches Wissen für ihren Alltag wichtig ist.

„Naturwissenschaft und Technik prägen unseren Alltag. Wir nutzen z.B. Medikamente und Strom ohne zu wissen oder zu hinterfragen, wie sie funktionieren oder auf welchen generellen Prinzipien ihre Wirkung beruhen. Wenn wir volljährig sind, sollen wir vernünftige Entscheidungen treffen. Meine Lehrerin hat daher gesagt, dass es wichtig ist, dass wir naturwissenschaftliche Grundkenntnisse haben.“

Ist das Argument der Schülerin überzeugend?

Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 3 „Lichtablenkung durch Gravitation“

Wenn Du zum Beispiel mit einer Sonnenfinsternisbrille hoch zur Sonne siehst, kannst Du in dem Augenblick beobachten, was dort oben gerade vor sich geht. Es gibt aber Leute, die behaupten, dass wir wegen der Lichtgeschwindigkeit gar nicht sehen, was im Augenblick gerade auf der Sonne passiert. Wir sehen nur, was in der Vergangenheit dort passiert ist.

Damit stellt sich folgende Frage: Sehen wir nun beim Blick nach oben zur Sonne, was im Augenblick gerade auf der Sonne passiert oder sehen wir in die Vergangenheit?

Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 5 „Schwarzschildradius“

Wir machen folgendes Gedankenexperiment: Du befindest dich in einem Raumschiff in der Nähe eines schwarzen Loches, jedoch außerhalb seines Schwarzschildradius. Dein Triebwerk sorgt dafür, dass sich dein Raumschiff gerade so in der Schwebe hält, also

nicht zum schwarzen Loch hin beschleunigt wird. Wegen eines Defekts an der Außenseite des Schiffs muss dein Kollege seinen Raumanzug anziehen und, abgesichert durch ein Seil, das Schiff verlassen. Leider verliert er den Halt beim „Weltraumspaziergang“ und fällt deshalb in Richtung des schwarzen Lochs. Da das Seil reißt, siehst du fassungslos seinem Fall zu. Was wirst du dabei beobachten? Wird er immer kleiner bis er im Zentrum des schwarzen Lochs angekommen ist? Oder wird er zunächst immer kleiner und verschwindet dann plötzlich vollständig nach dem Unterschreiten des Schwarzschildradius?

### 6.3.1.3 Einsatz von unterschiedlich strukturierten Prompts bei den Argumentationsaufgaben

Bezugnehmend auf die in Kapitel 3.3. getroffenen theoretischen Annahmen werden die vorangegangenen Argumentationsaufgaben durch unterschiedlich stark strukturierte Prompts (Treatments) ergänzt. Dabei gibt es die stark strukturierten Prompts (Treatment A), die unstrukturierten Prompts (Treatment B) und die Kontrollgruppe ohne Prompts (Treatment C). Ab der dritten Unterrichtseinheit setzt in den Treatments A und B das Outfading der Prompts ein, um einem möglichen Sättigungseffekt der Prompts entgegenzuwirken.

Die unterschiedlich strukturierten Prompts für die Treatments A und B und die Aufgabenstellung für Treatment C lauten für die jeweiligen Unterrichtseinheiten wie folgt:

#### Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 1 „Naturwissenschaftliches Argumentieren“

##### **Treatment A:**

Entscheide Dich für eine Antwort „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Überlege Dir für diese Antwort, was aus dem Video zum naturwissenschaftlichen Argumentieren für Dein Argument relevant ist und was Du daraus folgern kannst. Welche Begriffe können für Dein Argument hilfreich sein? Nutze dieses Wissen und schreibe ein Argument mit den drei Bestandteilen (Behauptung, Begründung, Schlussregel).

**Treatment B:**

Entscheide Dich für eine der Antworten „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Nutze bei der Entwicklung Deines Arguments die Videoinhalte, die Du gerade gesehen hast sowie mögliche Schlussfolgerungen, die sich daraus ergeben. Berücksichtige die drei genannten Bestandteile eines Arguments.

**Treatment C:**

Entscheide Dich für eine der Antworten „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 3 „Lichtablenkung durch Gravitation“**Treatment A:**

Entscheide Dich für eine der beiden Antworten und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Überlege Dir für diese Antwort, was aus dem Text über die Lichtgeschwindigkeit für Dein Argument relevant ist und was Du daraus folgern kannst. Welche Begriffe können für Dein Argument hilfreich sein? Nutze dieses Wissen und schreibe ein Argument mit den drei Bestandteilen (Behauptung, Begründung, Schlussregel), wie Du es im Video zum naturwissenschaftlichen Argumentieren gelernt hast.

**Treatment B:**

Entscheide Dich für eine der beiden Antworten und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Nutze bei der Entwicklung Deines Arguments die Textinhalte, die Du gerade gelesen hast sowie mögliche Schlussfolgerungen die sich daraus ergeben. Berücksichtige die Inhalte des Videos zum naturwissenschaftlichen Argumentieren und die drei genannten Bestandteile eines Arguments.

**Treatment C:**

Entscheide Dich für eine der beiden Antworten und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 5 „Schwarzschildradius“

**Treatment A:**

Entscheide Dich für eine Antwort und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Überlege Dir, welche Textinhalte und möglichen Folgerungen Dir für die Formulierung Deines Arguments helfen, und schreibe ein vollständiges Argument.

**Treatment B:**

Entscheide Dich für eine Antwort und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Nutze für Deine Antwort den Text und schreibe ein überzeugendes Argument.

**Treatment C:**

Entscheide Dich für eine Antwort und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

**6.3.2. Physikalisches Grundverständnis**

Für die Erhebung des physikalischen Grundverständnisses wurde ein Instrument zum „Fachwissen Mechanik“ (Anhang 3) auf Basis von *single-select-multiple-choice-Items* eingesetzt. Das Instrument basiert auf der Arbeit von Zander et al. (Zander, 2016; Zander, Krabbe, & Fischer, 2012) und wurde unter Berücksichtigung der Anforderungsniveaus in den Bildungsstandards und anhand der geforderten Inhalte für die Lehrpläne der verschiedenen Bundesländer entwickelt (Zander, 2016). Die Items des Tests „Fachwissen Mechanik“ decken die Themen Kraft, Druck, mechanische Energie und innere Energie ab. Dadurch erhebt der Test ein breites Grundverständnis der Schülerinnen und Schüler, welches besonders für das exemplarisch gewählte Thema „Schwarzes Loch“ benötigt wird. Zander (2016) konnte empirisch nachweisen, dass der Test den Testgütekriterien genügt. Die Testhomogenität konnte durch die Verwendung eines Rasch-Modells gezeigt werden (Ludwig, 2017; Zander, 2016).

Der Test „Fachwissen Mechanik“ wurde von Ludwig (2017) angepasst. Dabei wurde die Itemzahl von ursprünglich 33 auf 22 Items reduziert. Des Weiteren wurden bei 13 Items sprachliche Anpassungen vorgenommen. Ludwig (2017) konnte mit der Pilotierung des abgeänderten Tests zeigen, dass auch dieser den Testgütekriterien genügt (Interne Konsistenz  $\alpha = .63$ ; EAP-Reliabilität:  $.63$ , mittlere Itemschwierigkeit:  $-.44$  Logits (von  $-2.97$  bis  $2.74$  Logits)). Ludwig (2017) gibt an: „Die Differenzierungsfähigkeit des Instruments ist trotz verkleinerter Itembatterie weiterhin hoch, da die Itemschwierigkeiten weiterhin die Personenschwierigkeiten gut abdecken.“ (Ludwig, 2017, S.68).

Ein Körper bewegt sich geradlinig gleichförmig entlang eines Weges von 4 Metern in 8 Sekunden.

Wie weit bewegt sich der Körper, wenn er sich mit der dreifachen Geschwindigkeit 5 Sekunden lang bewegt?

2,5 m       4 m       7,5 m       30 m

Abbildung 17: Beispielitem aus dem Test zum physikalischen Grundverständnis (Ludwig, 2017; Zander, 2016)

An dieser Stelle sei erwähnt, dass der Test für die 8./9. Jahrgangsstufe konzipiert wurde und er damit erwartungsgemäß etwas zu leicht für die 10. Klasse des bayerischen Gymnasiums ist. Der Test „Fachwissen Mechanik“ wird als exemplarischer Test eingesetzt, um zu untersuchen, welches physikalische Grundverständnis bei den Schülerinnen und Schülern vorhanden ist. Dies kann weder mittels Fragen zum Thema „Schwarzes Loch“ noch reliabel mittels Schulnoten erfasst werden. Da verschiedene Studien zeigen, dass das vorhandene domänenspezifische Grundverständnis im Bereich Mechanik ein guter Prädiktor für das physikalische Wissen bzw. Grundverständnis ist (Friege & Lind, 2004), wird der Einsatz dieses Tests für die Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit als gerechtfertigt gesehen.

### 6.3.3. Situationsbedingte Merkmale

Um die motivationale Wirkung der Lernumgebung zu untersuchen, wurden das situationale Interesse und das Erleben von Autonomie und Kompetenz mittels einer

Begleitbefragung erhoben. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler Kurzskalen (Anhang 4) ausfüllen, deren Beantwortung ca. fünf Minuten in Anspruch nimmt. Zur Beantwortung der Skala wurde den Schülerinnen und Schülern ein fünfstufiges Antwortformat präsentiert. Die möglichen Antworten sind „gar nicht“ (1), „kaum“ (2), „etwas“ (3), „ziemlich“ (4) und „sehr“ (5). Die eingesetzten Items werden nachfolgend durch ihre Kennwerte beschrieben.

#### 6.3.3.1. Situationales Interesse

Um zu untersuchen, ob und wie die Lernumgebung das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler wecken kann, wird eine Skala eingesetzt, die auf 12 Items basiert und die zwei Komponenten „*Catch*“ und „*Hold*“ erfasst (Lewalter & Knogler, 2014). Zur leichteren Verständlichkeit für die Schülerinnen und Schüler wurde der Begriff „Lernumgebung“ durch den Begriff „*E-Learning-Kurs*“ ersetzt. Die Zuordnung der Items zu den theoretisch postulierten Subskalen ((Lewalter & Knogler, 2014) konnte mittels einer konfirmatorischen Faktorenanalyse (IBM SPSS Statistics 24) bestätigt werden. Die Kennwerte der Items und deren Trennschärfe während der drei Unterrichtseinheiten (Abbildung 16) sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt.

Item	Unterrichtseinheiten					
	1		3		5	
	MW (SD)	$r_{it}$	MW (SD)	$r_{it}$	MW (SD)	$r_{it}$
$(\alpha_1 = .81; \alpha_3 = .87; \alpha_5 = .85; N_1 = 126; N_3 = 124; N_5 = 124)$						
Der E-Learning-Kurs war unterhaltsam.	3.02 (.89)	.83	2.72 (1.02)	.89	2.87 (.99)	.84
Ich fand den E-Learning-Kurs spannend.	2.75 (.90)	.76	2.69 (1.00)	.88	2.87 (1.01)	.96
Der E-Learning-Kurs hat mir Spaß gemacht.	2.98 (.89)	.81	2.73 (1.01)	.89	2.88 (.92)	.85
Der E-Learning-Kurs hat meine Neugier geweckt.	2.66 (.1.02)	.75	2.71 (.99)	.74	3.00 (1.03)	.82
Der E-Learning-Kurs konnte meine Aufmerksamkeit fesseln.	2.71 (1.04)	.64	2.87 (1.10)	.64	2.98 (.95)	.56
Ich hab mich auf den E-Learning-Kurs konzentriert.	3.57 (.96)	.82	3.34 (1.10)	.83	3.35 (1.03)	.73

Tabelle 2: Kennwerte der Items zum situationalen Interesse (Catch)

Item	Unterrichtseinheiten					
	1		3		5	
	MW (SD)	r <sub>it</sub>	MW (SD)	r <sub>it</sub>	MW (SD)	r <sub>it</sub>
$(\alpha_1 = .82; \alpha_3 = .89; \alpha_5 = .85; N_1 = 123; N_3 = 121; N_5 = 123)$						
Ich bin während des E-Learning-Kurses auf Themen gestoßen, zu denen ich gerne mehr Information gehabt hätte.	2.64 (1.12)	.75	2.87 (1.09)	.75	2.87 (1.15)	.82
Über Teile des E-Learning-Kurses möchte ich gern mehr erfahren.	2.57 (.99)	.80	2.72 (1.10)	.86	2.82 (1.15)	.76
Für mich haben sich während des E-Learning-Kurses neue Fragen ergeben, auf die ich gerne eine Antwort hätte.	2.40 (1.08)	.80	2.71 (1.21)	.85	2.63 (1.03)	.90
Das Thema des E-Learning-Kurses ist mir wichtig.	2.58 (.98)	.81	2.65 (1.06)	.88	2.80 (.97)	.81
Die Beschäftigung mit den Inhalten des E-Learning-Kurses war für mich nützlich.	2.72 (.97)	.80	2.69 (1.04)	.86	2.62 (.88)	.77
Die Inhalte des E-Learning-Kurses sind für mich bedeutsam.	2.53 (.96)	.62	2.50 (1.09)	.83	2.55 (.95)	.71

Tabelle 3: Kennwerte der Items zum situationalen Interesse (Hold)

### 6.3.3.2. Erleben von Autonomie und Kompetenz

Für die Erfassung des Erlebens von Autonomie und Kompetenz wurde ebenfalls ein Instrument von Lewalter und Knogler (2014) herangezogen, welches um die Items zur sozialen Eingebundenheit gekürzt wurde, so dass die eingesetzte Skala aus 13 Items besteht. Diese 13 Items erheben in den drei Unterrichtseinheiten (Abbildung 16) neben

dem Kompetenzerleben auch zwei Aspekte des Autonomieerlebens. Zum einen den Aspekt der Passung mit persönlichen Wünschen und Zielen und zum anderen den Aspekt der Selbstbestimmung (Lewalter & Willems, 2009). Wie auch beim situationalen Interesse wurde hier die Zuordnung der Items zu den theoretisch postulierten Subskalen durch eine konfirmatorische Faktorenanalyse (IBM SPSS Statistics 24) bestätigt. Ebenso wurde bei der Formulierung dieser Items mit dem Begriff des „*E-Learning*-Kurses“ gearbeitet. Die Kennwerte der Items und deren Trennschärfe werden in den Tabelle 4 und 5 dargestellt.

	Unterrichtseinheiten					
	1		3		5	
	MW (SD)	$r_{it}$	MW (SD)	$r_{it}$	MW (SD)	$r_{it}$
Item: Während des E-Learning-Kurses hatte ich das Gefühl, dass ...						
Kompetenz ( $\alpha_1 = .81$ ; $\alpha_3 = .92$ ; $\alpha_5 = .92$ ; $N_1 = 122$ ; $N_3 = 124$ ; $N_5 = 124$ )						
Während des						
E-Learning-Kurses hatte ich das Gefühl, dass ...	2.96 (.97)	.80	2.72 (1.06)	.89	2.91 (.99)	.90
... ich auch schwierige Fragen selbständig lösen konnte.	3.18 (.94)	.74	2.81 (.96)	.89	3.02 (.95)	.91
... ich den Anforderungen gewachsen war.	3.63 (.85)	.75	2.97 (.94)	.89	3.05 (.96)	.89
... ich die gestellten Anforderungen gut bewältigen konnte.	3.57 (.86)	.77	2.99 (1.0)	.90	3.10 (.99)	.90
... ich mir neue Inhalte selbständig erarbeiten konnte.	3.32 (.96)	.82	3.15 (1.0)	.92	3.01 (1.05)	.92

Tabelle 4: Kennwerte der Items zum Erleben von Kompetenz

	Unterrichtseinheiten					
	1		3		5	
	MW (SD)	$r_{it}$	MW (SD)	$r_{it}$	MW (SD)	$r_{it}$
Item: Während des E-Learning-Kurses hatte ich das Gefühl, dass ...						
Autonomie: Selbstbestimmt ( $\alpha_1 = .71$ ; $\alpha_3 = .84$ ; $\alpha_5 = .87$ ; $N_1 = 123$ ; $N_3 = 121$ ; $N_5 = 124$ )						
... ich						.87
währenddessen selbst aktiv werden konnte.	3.28 (1.05)	.71	3.10 (1.11)	.79	3.08 (1.06)	
... ich selbst entscheiden konnte, wie ich die Dinge angehe.	3.52 (1.01)	.55	2.97 (1.20)	.76	2.97 (1.13)	.78
... ich viele Freiheiten hatte.	3.47 (1.12)	.63	3.02 (1.14)	.78	2.98 (1.18)	.80
... ich meine eigenen Fragen/Ideen einbringen konnte.	2.90 (1.50)	.68	2.56 (1.14)	.84	2.66 (1.14)	.86
Autonomie: Passung mit Wünschen und Zielen						
( $\alpha_1 = .84$ ; $\alpha_3 = .89$ ; $\alpha_5 = .89$ ; $N_1 = 121$ ; $N_3 = 122$ ; $N_5 = 125$ )						
... der E-Learning-Kurs meine Erwartungen erfüllt hat.	3.28 (1.01)	.83	3.07 (1.07)	.87	3.07 (1.03)	.86
... der E-Learning-Kurs so war, wie ich ihn mir wünsche.	3.04 (.97)	.77	2.71 (.96)	.85	2.79 (.96)	.87
... der E-Learning-Kurs so war, wie ich ihn mir vorstelle.	3.26 (1.01)	.79	2.99 (1.13)	.84	2.98 (1.02)	.82
... der E-Learning-Kurs so war, wie er aus meiner Sicht aus sein sollte.	3.14 (.99)	.84	2.72 (1.05)	.86	2.86 (1.02)	.85

Tabelle 5: Kennwerte der Items zum Erleben von Autonomie

### 6.3.4. Weitere Variablen

Neben den Erhebungsinstrumenten zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit, des physikalischen Grundverständnisses und der situationsbedingten Merkmale werden die individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler sowie der Umgang mit der Lernumgebung „ArguKos“ kontrollierend in die Analysen miteinbezogen. Neben einer offenen Frage hinsichtlich des aktuellen Wissensstandes zum Schwarzen Loch (Eigenkonstrukt) wurden die Freude und das Interesse an den Naturwissenschaften (Frey & Asseburg, 2009), die naturwissenschaftliche Selbstwirksamkeitserwartung (Frey & Asseburg, 2009), das schulfachspezifische Interesse (Schilling, Rost, & Sparfeldt, 2004) und die Selbstregulation (Schwarzer & Jerusalem, 1999) erhoben. Zusätzlich soll festgestellt werden, ob es Unterschiede bei den Schülerinnen und Schülern hinsichtlich der Freude und des Interesses an der Arbeit mit dem PC (Hertel & Klieme, 2014) und an der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung (in Anlehnung an Venkatesh, 2000) gibt. Im nachfolgenden Abschnitt werden die einzelnen Erhebungsinstrumente vorgestellt.

#### Offene Wissensfrage zum Thema Schwarzes Loch

Um sicherzustellen, dass die Schülerinnen und Schüler mit einem ähnlichen Wissensstand über das Schwarze Loch in den Kurs starten, wurde anhand einer offenen Frage der selbstberichtete Wissensstand zum Thema abgefragt. Die offene Frage ist ein Eigenkonstrukt und schließt sich an den Fragebogen zum physikalischen Grundverständnis in der Vorbefragung (Anhang 2) an. Die offene Frage lautet:

*„Abschließend möchten wir noch erfahren, ob Sie bereits etwas über schwarze Löcher wissen. Falls dies der Fall ist, erklären Sie bitte in 4 -5 Sätzen, was ein schwarzes Loch ist.“*

Die offene Wissensfrage zum Thema Schwarzes Loch wurde mittels einer vierstufigen Skala kodiert. Dabei wird die Kategorie „Wissen“ in vier Stufen aufgeteilt und jeweils einem Skalenwert zugeordnet. „Kein/falsches Wissen“ (1), „vorhandenes Wissen“ (2), „umfangreiches Vorwissen“ (3) und „Vermutung/Auszug aus dem Internet“ (4).

### Freude und Interesse an den Naturwissenschaften

In Tabelle 6 werden die Kennwerte der Items zu der Skala „Freude und Interesse an den Naturwissenschaften“ dargestellt. Die Items stammen aus der PISA-Erhebung 2006 (Frey & Asseburg, 2009). Dort hatten die Schülerinnen und Schüler ein vierstufiges Antwortformat zur Verfügung: „Stimme gar nicht zu“ (1), „Stimme eher nicht zu“ (2), „Stimme eher zu“ (3) und „Stimme ganz zu“ (4). Das vierstufige Antwortformat wurde für diese Arbeit auf ein fünfstufiges Antwortformat angepasst, um den Schülerinnen und Schülern ein einheitliches Antwortformat über alle Fragebögen zur Verfügung stellen zu können. Die zur Verfügung gestellten Antwortmöglichkeiten lauten: „Stimme gar nicht zu“ (1), „Stimme kaum zu“ (2), „Stimme etwas zu“ (3), „Stimme ziemlich zu“ (4) und „Stimme sehr zu“ (5).

Item	MW (SD)	r <sub>it</sub>
<i>(Cronbachs Alpha = .91, N = 126)</i>		
Im Allgemeinen macht es mir Spaß, mich mit naturwissenschaftlichen Themen zu befassen.	3.40 (.97)	.87
Ich lese gerne etwas über Naturwissenschaften.	2.68 (1.04)	.90
Ich beschäftige mich gerne mit naturwissenschaftlichen Problemen.	2.63 (1.12)	.89
Ich eigne mir gerne neues Wissen in den Naturwissenschaften an.	3.26 (1.09)	.88
Ich bin interessiert, neues in den Naturwissenschaften zu lernen.	3.40 (1.05)	.87

Tabelle 6: Kennwerte der Items zu Freude und Interesse an den Naturwissenschaften

### Naturwissenschaftsbezogene Selbstwirksamkeitserwartung

Wie bei der vorangegangenen Skala, wurde auch die Skala zur naturwissenschaftsbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung in der PISA-Studie 2006 (Frey & Asseburg, 2009) eingesetzt. Das dortige vierstufige Antwortformat war Folgendes: „Das könnte ich nicht“ (1), „Es würde mir schwerfallen, das allein zu schaffen“ (2), „Das könnte ich mit ein bisschen Mühe schaffen“ (3), „Das wäre einfach für mich“ (4). Auch für diese Skala wurde ein fünfstufiges Antwortformat entwickelt. Das fünfstufige Antwortformat hat folgenden Wortlaut: „Das könnte ich nicht“ (1), „Es würde mir schwerfallen, das allein zu schaffen“ (2), „Das könnte ich mit ein bisschen Mühe schaffen“ (3), „Das könnte ich ziemlich gut alleine schaffen“ (4) und „Das wäre

sehr einfach für mich“ (5). Tabelle 7 zeigt die Kennwerte für die Items zur naturwissenschaftsbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung in der vorliegenden Studie.

Item	MW (SD)	r <sub>it</sub>
<i>(Cronbachs Alpha = .78, N = 123)</i>		
Die naturwissenschaftliche Fragestellung erkennen, die einem Zeitungsbericht über ein Gesundheitsthema zu Grunde liegt.	3.24 (.94)	.74
Erklären, warum Erdbeben in manchen Gegenden häufiger vorkommen, als in anderen.	4.00 (1.06)	.76
Die Rolle der Antibiotika bei der Behandlung von Krankheiten beschreiben.	3.35 (1.06)	.75
Wissenschaftliche Fragestellungen herausfinden, die mit der Müllentsorgung zusammenhängen.	2.75 (.98)	.74
Vorhersagen, wie Änderungen in der Natur das Überleben bestimmter Tierarten beeinflussen können.	3.66 (.98)	.74
Die wissenschaftlichen Informationen auf einem Lebensmitteletikett interpretieren.	3.14 (1.01)	.78
Zeigen, wie neue Erkenntnisse zu einem neuen Verständnis über die Möglichkeit von Leben auf dem Mars führen können.	2.57 (1.12)	.74
Die bessere von zwei Erklärungen über die Bildung von saurem Regen erkennen.	3.14 (1.19)	.75

Tabelle 7: Kennwerte der Items zur Naturwissenschaftlichen Selbstwirksamkeitserwartung

### Schulfachspezifische Interessen

Das fachspezifische Interesse am Fach Physik der Schülerinnen und Schüler wurde mit einer Skala von Schilling et al. (2004) gemessen. Die Skala wird in der ursprünglichen Version mit einem sechsstufigen Antwortformat von den Schülerinnen und Schülern beantwortet. Die Antworten werden zwischen „trifft gar nicht zu“ (1) und „trifft genau zu“ (6) abgestuft. Zur Vereinheitlichung mit den anderen Skalen wurde für die vorliegende Arbeit das Antwortformat auf fünf Antwortmöglichkeiten reduziert. Diese lauten: „Trifft gar nicht zu“ (1), „Trifft kaum zu“ (2), „Trifft etwas zu“ (3), „Trifft ziemlich zu“ (4), „Trifft sehr zu“ (5). Tabelle 8 zeigt die Kennwerte für die Items zum schulfachspezifischen Interesse.

Item	MW (SD)	r <sub>it</sub>
<i>(Cronbachs Alpha = .94, N = 124)</i>		
Das Fach Physik interessiert mich.	2.92 (1.12)	.93
Ich könnte mir vorstellen, Physik zu studieren.	1.70 (1.06)	.94
Das Fach Physik ist eines meiner Lieblingsfächer.	2.07 (1.17)	.93
Es macht mir Spaß Aufgaben in Physik zu bearbeiten.	2.20 (1.05)	.93
Für das Fach Physik zu arbeiten, ist eine schöne Sache.	2.24 (1.13)	.93
Ich beschäftige mich gerne mit Physik in meiner Freizeit.	1.80 (1.03)	.94
Nach einem langen Wochenende oder Urlaub freue ich mich auf den Unterricht in Physik.	1.40 (.81)	.94
Über Inhalte und Aufgaben des Faches Physik zu reden, macht mir Spaß.	2.23 (1.10)	.94

Tabelle 8: Kennwerte der Items zum schulfachspezifischem Interesse

### Selbstregulation

Die Skala zur Selbstregulation misst die Regulationsleistung der Schülerinnen und Schüler, Motivation aufrechtzuerhalten oder wiederherstellen zu können, wenn diese gestört oder beeinträchtigt wurde (Schwarzer & Jerusalem, 1999).

Das ursprüngliche vierstufige Antwortformat („stimmt nicht“ (1), „stimmt kaum“ (2), „stimmt eher“ (3), „stimmt genau“ (4)) wurde zur Vereinheitlichung und zum leichteren Ausfüllen der Schülerinnen und Schüler auf ein fünfstufiges Antwortformat („trifft gar nicht zu“ (1), „trifft kaum zu“ (2), „trifft etwas zu“ (3), „trifft ziemlich zu“ (4), „trifft sehr zu“ (5)) übertragen. Im Rahmen der Itemanalyse wurden drei Items invertiert. Tabelle 9 zeigt die Skala mit den Kennwerten zur Selbstregulation in der vorliegenden Studie.

Item	MW (SD)	r <sub>it</sub>
<i>(Cronbachs Alpha = .82, N = 128)</i>		
Ich kann mich lange Zeit auf eine Sache konzentrieren.	3.42 (.87)	.80
Ich behalte mein Ziel im Auge und lasse mich nicht vom Weg abbringen.	3.57 (.98)	.78
Wenn ich von einer Sache abgelenkt werde, komme ich schnell zum Thema zurück.	3.24 (.95)	.79
Wenn ich bei einer Tätigkeit zu aufgeregt werde, kann ich mich so beruhigen, dass ich bald wieder weitermachen kann.	3.23 (1.03)	.80
Wenn bei einer Tätigkeit eine sachliche Haltung nötig ist, kann ich meine Gefühle unter Kontrolle bringen.	3.38 (1.06)	.80
Ich kann es verhindern, dass meine Gedanken ständig von der Aufgabe abschweifen.	3.28 (.96)	.78
Nach einer Unterbrechung finde ich problemlos zu einer konzentrierten Arbeitsweise zurück.	3.26 (.87)	.78

Tabelle 9: Kennwerte der Items zur Selbstregulation

### Freude und Interesse am Arbeiten mit dem Computer

Die Skala „Freude und Interesse am Arbeiten mit dem Computer“ (Hertel & Klieme, 2014) wurde bereits in der PISA-Studie 2009 im Rahmen der ergänzenden Fragen zur Informations- und Kommunikationstechnologie eingesetzt. Wie bei den Erhebungsinstrumenten davor, wurde die vierstufige Ratingskala („Stimmt überhaupt nicht“ (1), „Stimmt eher nicht“ (2), „Stimmt eher“ (3), „Stimmt ganz genau“ (4)) auf ein fünfstufiges Antwortformat („Stimme gar nicht zu“ (1), „Stimme kaum zu“ (2), „Stimme etwas zu“ (3), „Stimme ziemlich zu“ (4), „Stimme sehr zu“ (5)) angepasst. Tabelle 10 zeigt Skala der Items mit den Kennwerten in der vorliegenden Studie.

Item	MW (SD)	r <sub>it</sub>
<i>(Cronbachs Alpha = .88, N = 133)</i>		
Es ist mir sehr wichtig, mit dem Computer zu arbeiten.	3.48 (1.13)	.86
Es macht mir wirklich Spaß, mit dem Computer zu spielen oder zu arbeiten.	3.74 (1.05)	.79
Ich benutze den Computer, weil ich sehr daran interessiert bin.	3.32 (1.14)	.85

Tabelle 10: Kennwerte der Items zu Freude und Interesse am Arbeiten mit dem Computer

### Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung

Um die Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung zu erheben, wurde die Skala von Venkatesh (Venkatesh, 2000) zum wahrgenommenen Bedienkomfort ins Deutsche übersetzt. Den Schülerinnen und Schülern wurden fünf Antwortmöglichkeiten zur Verfügung gestellt: „Gar nicht“ (1), „kaum“ (2), „etwas“ (3), „ziemlich“ (4) und „sehr“ (5). Tabelle 11 zeigt die Kennwerte der Items zur Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung.

Item	MW (SD)	r <sub>it</sub>
<i>(Cronbachs Alpha = .82, N = 133)</i>		
Die Bedienung der Lernumgebung ist klar und verständlich.	3.88 (.85)	.76
Die Bedienung der Lernumgebung erfordert nicht viel Denkarbeit.	3.34 (1.03)	.81
Ich finde es leicht, das die Lernumgebung das macht, was ich möchte.	3.29 (1.02)	.76
Ich finde es einfach, die Lernumgebung zu bedienen.	3.77 (.92)	.77

Tabelle 11: Kennwerte der Items zur Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung

### Soziodemografische Merkmale

Neben den beschriebenen Items wurden Angaben zu den soziodemografischen Merkmalen der Schülerinnen und Schüler (Alter, Geschlecht, Schulzweig) sowie die Deutsch- und Physiknoten des Vorjahres erfasst. Zusätzlich wurde abgefragt, in welchem Fach die Schülerinnen und Schüler an dem Projekt teilnehmen.

## 6.4. Umgang mit fehlenden Werten

Bei der Aufbereitung der Fragebögen wurden die fehlenden Werte näher analysiert. Die fehlenden Werte, die je in den drei Messzeitpunkten zwischen  $N = 1$  und  $N = 15$  liegen, lassen sich hauptsächlich durch Abwesenheitstage aufgrund von Krankheit der Schülerinnen und Schüler erklären. Die Problematiken, die mit fehlenden Werten in einer empirischen Untersuchung einhergehen, sind verzerrte Parameterschätzungen, Verlust der Teststärke und mögliche unzulässige Ergebnisse (Enders, 2010; Lüdtke, Robitzsch, Trautwein, & Köller, 2007; Schafer & Graham, 2002; Willems, 2011). Darüber hinaus erschweren fehlende Werte die statistische Analyse, da für diese häufig komplette Datensätze vorausgesetzt werden (Enders, 2010; Lüdtke et al., 2007; Willems, 2011).

Im Rahmen der vorliegenden empirischen Untersuchung wurden Ausfallanalysen (IBM SPSS Statistics 24 – Analyse fehlender Werte) durchgeführt. Die verwendeten Daten der Schülerinnen und Schüler weisen bezogen auf die Beantwortung der Einzelitems einen Anteil fehlender Werte von maximal 12.7% (durchschnittlich 7.54%) auf. Auf Ebene der zusammengefassten Fragebogenskalen liegt der Anteil fehlender Werte bei maximal 10.4% (durchschnittlich 4.8%). Damit überschreiten diese Werte den kritischen Schwellenwert von 5% für statistische Analysen (Enders, 2010; Lüdtke et al., 2007; Rubin, 1996; Schafer & Graham, 2002).

Da die fehlenden Werte den kritischen Schwellenwert überschreiten, muss ein geeignetes Verfahren zum Schätzen der fehlenden Werte herangezogen werden. Um eine geeignete Methode für die fehlenden Werte im vorliegenden Datensatz auswählen zu können, ist es nötig zu wissen, welchem Typ die fehlenden Werte zugeordnet werden können. Die fehlenden Daten lassen sich nach Rubin (1976) drei verschiedenen Typen zuordnen: (1) vollständig zufällig fehlende Werte (Missing Completely at Random (MCAR)), (2) zufällig fehlende Werte (Missing at Random (MAR)) und (3) nicht zufällig fehlende Werte (Missing not at Random (MNAR)) (u.a. Enders, 2010; Lüdtke, Robitzsch, Trautwein, & Köller, 2007; Rubin, 1976; Schafer & Graham, 2002).

Die Annahme, dass fehlende Daten dem MCAR-Typ zugeordnet werden können, wird durch zwei Bedingungen charakterisiert (Lüdtke et al., 2007). Zum einen muss mittels T-Tests überprüft werden, ob die Nichtbeantwortung der Fragen mit der Ausprägung der entsprechenden Variablen zusammenhängt. Und zum anderen muss mittels des MCAR-

Tests nach Little (Little, 1988) überprüft werden, ob das Auftreten fehlender Werte systematisch mit der Ausprägung anderer Variablen zusammenhängt.

Der Vergleich (T-Tests) der vollständig ausgefüllten Fragebögen mit den Fragebögen, die mindestens einen fehlenden Wert auf der Skala aufweisen (Willems, 2011), zeigen für alle verwendete Skalen keine signifikanten Unterschiede, wodurch die MCAR-Annahme beibehalten werden kann. Auch der MCAR-Test nach Little (Little, 1988) bestätigt diese Annahme, da es keine signifikanten Abweichungen von der Nullhypothese gibt.

Eine angemessene Imputationsmethode für den Umgang mit den vorliegenden fehlenden Werten stellt die stochastische Imputation mittels Regressionsanalyse dar. Während beim Schätzungsverfahren mithilfe der Regressionsanalyse Streuungen und Kovarianzen verzerrt geschätzt werden, umgeht die stochastische Imputation mittels Regression dieses Problem, in dem zu den vorhergesagten Werten ein zufälliger Wert hinzugefügt wird (Lüdtke et al., 2007; Rubin & Little, 2002). Darüber hinaus ist diese Methode für kleinere Stichproben geeignet (Lüdtke et al., 2007; Neubauer, 2015) und liefert in Folge dessen gute Schätzungen der fehlenden Werte.

Basierend auf den vorangegangenen Ausführungen wurden die Daten der vorliegenden Studie auf Skalenebene imputiert und entsprechend für alle Analysen zur Überprüfung der Hypothesen herangezogen.

## 6.5. Datenanalyse

Die Zielsetzung des Kapitels ist es, die systematische Auswertung der gewonnenen Daten darzustellen. Für die Datenanalyse in der vorliegenden Arbeit kamen verschiedene statistische Verfahren zum Einsatz, die nachfolgend erläutert werden sollen. Kapitel 6.5.1. geht auf die Kodierung und Analyse der naturwissenschaftlichen Argumente ein. In Kapitel 6.5.2. wird die Auswertung des Tests zum physikalischen Grundverständnis beschrieben. Im Kapitel 6.5.3. werden die statistischen Verfahren, die zur Beantwortung der Forschungsfragen herangezogen wurden, erläutert.

### 6.5.1. Analyse der naturwissenschaftlichen Argumente

Damit die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler untersucht werden kann, wird ein Kodiermanual zur strukturellen Analyse der Argumente eingesetzt. Der Fokus wird auf die Verwendung des TAP-Basisschemas gelegt. In Abschnitt 6.5.1.1. wird das eingesetzte Kodiermanual beschrieben. Abschnitt 6.5.1.2. geht auf die Güte des Kodiermanuals ein. Weitere Details zur Analyse der Argumente sind in Abschnitt 6.5.1.3. beschrieben.

#### 6.5.1.1. Kodiermanual „ArguKos“

Das eingesetzte Kodiermanual (Anhang 6) baut auf den Arbeiten und dem Kodiermanual von Christiane Zimmer (Zimmer, 2015) und Frau Dr. Ulrike Gromadecki-Thiele zum Projekt „Energetingen“ auf. In enger Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Priemer (Lehrstuhl Didaktik der Physik an der Humboldt-Universität zu Berlin) ist eine Masterarbeit entstanden (Denkovski, 2016), bei der das bereits vorhandene Kodiermanual für das Projekt „ArguKos“ angepasst wurde.

Um die teils komplexen Strukturen innerhalb der von Schülerinnen und Schülern generierten Argumente besser abbilden zu können, werden die Elemente eines Arguments nicht nur dem Basisschema nach Toulmin (Kapitel 2.3.2.2.), also den Bestandteilen Behauptung, Datum und Schlussregel zugeordnet, sondern auch verschiedenen Ebenen. Die Anzahl der genutzten Ebenen kann als Maß für die Tiefe des logisch-strukturellen Aufbaus eines Arguments gesehen werden.

Die Kodierung der Argumente (*Concept Cartoons* und Argumentationsaufgaben) erfolgt in drei aufeinander aufbauenden Schritten.

1. Trennung: Das Argument, das in der Regel aus mehreren Sätzen besteht, wird getrennt und in einzelne Abschnitte aufgeteilt. Durch Trennungsregeln (Anhang 6) ist genau festgelegt, wie ein Argument aufgeteilt werden muss. Wichtig hierbei ist, dass jedes entstehende Element eine eigenständige Aussage beinhaltet und dass die Reihenfolge der Aussagen bei der Aufteilung erhalten bleibt.

2. Kodierung der Aussage: Bei der Kodierung wird die Aussage mit einer zweistelligen Zahl (XY) kodiert. Die erste Stelle „X“ entspricht der Zuordnung der Ebene und die zweite Stelle „Y“ entspricht der Zuordnung eines Elements aus dem Basisschema (Behauptung, Fakt und Schlussregel). Kann eine Aussage nicht zugeordnet werden, wird mit (88) kodiert.
3. Zuordnung eines Skalenwerts: Den getrennten und auf die Ebenen zugeordneten Argumenten wird jeweils ein Skalenwert zugewiesen, der die Gesamtleistung der Schülerinnen und Schüler zusammenfasst und bewertet. Der Skalenwert spiegelt die verwendeten Bestandteile und die Ebenen wieder. Besonderes Augenmerk wird auf die Verwendung der Schlussregel gelegt, die in ihrer Funktion als logische Verbindung zwischen Behauptung und Fakt, als Maßstab für ein hochwertiges Argument angelegt wird. Durch die Bewertung mittels einer siebenstufigen Skala wird ein differenzierter Blick auf die Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler ermöglicht.

#### 6.5.1.2. Die Güte des Kodiermanuals

Zur Bestimmung der Güte des Kodiermanuals wurde die *Interrater*-Reliabilität, also das „Maß, mit dem mehrere Personen, die unabhängige Codierungen vornehmen, offene Antworten denselben Antwortkategorien zuordnen“ (Krüger, Parchmann, & Schecker, 2013, S. 175), herangezogen. Es wurden jeweils 30 Argumente aus dem Vor- und Nachtest (*Concept Cartoons*) und 30 Argumente aus den Argumentationsaufgaben randomisiert ausgewählt und durch die Kodierung von zwei unabhängigen, zuvor an Beispielen geschulten Personen, bestimmt.

Die Feststellung der *Interrater*-Reliabilität erfolgte in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurde das Argument in Aussagen aufgeteilt. Im zweiten Schritt erfolgte eine Zuordnung der Aussagen zu den Elementen des Basisschemas (Behauptung, Datum und Schlussregel) sowie die Kodierung der Ebenen.

Zur statistischen Überprüfung der *Interrater*-Reliabilität wird der Cohen's Kappa (Bortz & Döring, 2016) herangezogen. Tabelle 12 zeigt eine Übersicht über die Kappa-Werte für die einzelnen Kodierungsschritte.

Identifikation der ...	Ermittlung des Cohen's Kappa ( $\kappa$ )	
	... Grundelemente	... Ebenen
Concept Cartoons	.93	.74
Argumentationsaufgaben	.92	.81

Tabelle 12: Übersicht der Kappa-Werte für die einzelnen Kodierungsschritte

Aufgrund des zufriedenstellenden Ergebnisses der *Interrater*-Reliabilität (Bortz & Döring, 2016), wurden die verbleibenden Argumente nur noch von einer Person kodiert.

### 6.5.1.3. Auswertung der Argumente

Für die Analyse der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit wurden aus den jeweils drei *Concept Cartoons* in der Vor- und Nachbefragung jeweils das Argument mit der besten Leistung, also dem höchsten vom Probanden erreichten Skalenwert, herangezogen.

Wie in Kapitel 6.3.1.2. erläutert werden die Argumentationsaufgaben aus den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 mithilfe des Kodiermanuals ausgewertet. Die Unterrichtseinheiten 1 und 5 zeigen die Argumentationsfähigkeit zu Beginn und am Ende der Bearbeitung der Lernumgebung. Durch die zusätzliche Auswertung in Unterrichtseinheit 3 kann die Argumentationsfähigkeit während des Verlaufs der Lernumgebung analysiert werden.

## **6.5.2. Analyse des physikalischen Grundverständnisses**

Die Auswertung des Fachwissentests „Mechanik“ zur Erfassung des physikalischen Grundverständnisses orientiert sich am Analyseverfahren von Ludwig (2017). Die Items des Tests zur Erfassung des physikalischen Grundverständnisses wurden gemäß der richtigen Lösung binär kodiert und zur weiteren Auswertung mit einem einparametrischen Rasch-Modell skaliert (R Version 3.3.3.). Das einparametrische Rasch-Modell „überführt dabei dichotome, binäre Itemantworten in Messwerte des dahinterstehenden latenten Merkmals anhand einer Wahrscheinlichkeitsfunktion, die über den Parameter der Itemschwierigkeit das Antwortverhalten und die Personenfähigkeit in Beziehung setzt.“ (Ludwig, 2017, S.74). Anschließend folgt die

Schätzung der Modellparameter und der Personenfähigkeiten. Die Schätzung der Modellparameter erfolgt durch das Marginal-Maximum-Likelihood (MML) – Verfahren (Neumann, 2014; J. Rost, 2004). Die Personenfähigkeiten werden durch das Weighted-Likelihood-Estimator (WLE)-Verfahren bestimmt (Warm, 1989).

### **6.5.3. Eingesetzte Analyseverfahren zur Beantwortung der Forschungsfragen**

Bei der Überprüfung der Daten mittels eines Shapiro-Wilk-Tests hat sich herausgestellt, dass die Daten nicht normal verteilt sind ( $p < .05$ ). Aus diesem Grund werden für die Analysen statistische Verfahren für nichtparametrische Daten herangezogen. Diese werden nachfolgend erläutert.

#### Wilcoxon-Test

Zur Beantwortung der Frage nach der Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit wird ein Wilcoxon-Test (Wilcoxon, 1945) durchgeführt. Dieser gepaarte t-Test soll die Mittelwerte von zwei abhängigen Stichproben miteinander vergleichen. Es werden die Mittelwerte der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Erfassung durch *Concept Cartoons*) aus der Vorbefragung mit den Mittelwerten aus der Nachbefragung verglichen, um somit Aufschluss über die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zu bekommen.

#### Mann-Whitney-Test, Kruskal Wallis-Test und Dunn-Bonferroni-Test

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Tests sollen zur Analyse des Einflusses von individuellen, situationalen und instruktionalen Faktoren auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und des Einflusses der instruktionalen Faktoren auf die situationalen Faktoren herangezogen werden.

In einem ersten Schritt wird der Mann-Whitney-Test (Mann & Whitney, 1947) eingesetzt. Dieser vergleicht die Entwicklungen zwischen der Experimentalgruppe (strukturierte und unstrukturierte Prompts) und der Kontrollgruppe (keine Prompts).

Aufbauend auf dem Mann-Whitney-U-Test wird der Kruskal-Wallis-Test (Kruskal & Wallis, 1952) eingesetzt. Während der Mann-Whitney-Test zwei unabhängige Stichproben vergleicht, vergleicht der Kruskal-Wallis-Test mehr als zwei unabhängige

Stichproben. Mithilfe des Kruskal-Wallis-Test können die Entwicklungen zwischen den drei Treatments (A: strukturiert, B: unstrukturiert und C: keine Prompts) miteinander verglichen werden.

Der Kruskal-Wallis-Test kann zwar einen Effekt zwischen Gruppen anzeigen, , aber erst mittels des Dunn-Bonferroni-Tests, einem Post-hoc-Test, kann bestimmt werden, welche Gruppen sich signifikant voneinander unterscheiden.

### Spearman Korrelation

Zur Überprüfung, ob es einen Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse bzw. zwischen dem Kompetenz- und Autonomieerleben und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Forschungsfragen 2.4. und 2.7.) sowie dem situationalen Interesse und dem Kompetenz- und Autonomieerleben (Forschungsfrage 3.5.) gibt, wird deren bivariater Zusammenhang mittels einer Spearman-Korrelation (Spearman, 1910) berechnet.

## 7. Ergebnisse

Gegenstand dieses Kapitels ist die Ergebnisdarstellung der Datenanalyse (Kapitel 6.5.). Dabei werden die Ergebnisse entsprechend der Gliederung der Fragestellungen aus Kapitel 5. präsentiert. Vorab werden allgemeine deskriptive Ergebnisse beschrieben.

Vor der Präsentation der Ergebnisse sei darauf hingewiesen, dass sich in der vorliegenden Arbeit alle nicht signifikanten Werte fortlaufend auf ein 5%iges Signifikanzniveau beziehen (nicht signifikant „ns“ entspricht  $p > .05$ ).

### 7.1. Deskriptive Ergebnisse

Betreffend den Einsatz der Lernplattform „mebis“ und der situativen Rahmenbedingungen des Einsatzes werden während der Erhebung verschiedene Beobachtungen gemacht, die in diesem Abschnitt deskriptiv beschrieben sind. Des Weiteren werden die (individuellen) Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler in den verschiedenen Treatments miteinander verglichen. Die Ergebnisse werden ebenfalls in diesem Abschnitt dargestellt.

#### 7.1.1. Lernplattform „mebis“

Die Lernumgebung „ArguKos“ wurde, wie in Kapitel 4 beschrieben, den Lehrkräften sowie den Schülerinnen und Schülern über die Lernplattform „mebis“ zur Verfügung gestellt. In der Kontaktphase mit den Schulen und im Rahmen der *Kick-Off*-Veranstaltungen wird ersichtlich, dass die Lernplattform „mebis“ in einigen der Schulen bisher kaum oder bisher noch gar nicht genutzt wird. Im Zuge der Studie fand daher bei einem Teil der Lehrkräfte sowie der Schülerinnen und Schüler eine Erstnutzung der Lernplattform „mebis“ statt. Mögliche Auswirkungen dieser Erstnutzung auf die Studienergebnisse werden in Kapitel 8. diskutiert.

### 7.1.2. Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“

Der Bearbeitungszeitpunkt und die Bearbeitungsgeschwindigkeit der Inhalte konnten über Zeit- und Datumsstempel verfolgt werden. Dabei wird beobachtet, dass es Schülerinnen und Schüler gab, die die Lernumgebung „ArguKos“ nicht in der vorgesehenen Weise bearbeitet haben. Zum Teil wurde die Lernumgebung außerhalb der eigentlichen Unterrichtszeiten, als Hausaufgabe bearbeitet. Auffällig war auch, dass die Inhalte teilweise deutlich schneller als in der empfohlenen Zeit bearbeitet wurden, so dass zum Beispiel zwei Unterrichtseinheiten innerhalb einer Unterrichtsstunde durchgeführt wurden und die tatsächliche Bearbeitungszeit der Lernumgebung stark von den empfohlenen Bearbeitungszeiten (6 - 7 Unterrichtsstunden) abgewichen ist. Dies betrifft nicht nur einzelne Schülerinnen und Schüler, sondern zum Teil auch ganze Klassen, die auch in der Ausfallquote von 72% berücksichtigt wurden (Kapitel 6.2.).

Zur Identifikation der Probanden, die die Lernumgebung „ArguKos“ in der beabsichtigten Weise bearbeitet haben, wird die eingebrachten Bearbeitungszeit der Gesamtstichprobe (N = 134) mittels eines Median-Splits in der Variable „Bearbeitungszeit“ aufgeteilt. Der Median-Split (*Median* = 6.0) zeigt, dass n = 68 (Ü6) Schülerinnen und Schüler die Lernumgebung in der empfohlenen Zeit (6 - 7 Unterrichtsstunden) bearbeitet haben. N = 66 (U6) haben die Lernumgebung „ArguKos“ in nur 2 - 5 Unterrichtsstunden bearbeitet.

Es ist davon auszugehen, dass Lernmaterial, welches nicht in der vorgesehenen Art und Weise genutzt wird, keinen Effekt auf den Lernerfolg hat. Aus diesem Grund werden die Schülerinnen und Schüler der Teilstichprobe U6 von den Analysen der Forschungsfragen ausgeschlossen und nur die Schülerinnen und Schüler der Teilstichprobe Ü6 (n = 68) herangezogen. Die Teilstichprobe Ü6 wird im nächsten Kapitel (Kapitel 7.2.) näher charakterisiert.

Die möglichen Gründe für die hohe Ausfallquote und die Implikationen für weitere Forschungen werden in Kapitel 8. diskutiert.

## 7.2. Charakteristika der Teilstichprobe Ü6

Die Analyse der Forschungsfragen wird mit der Teilstichprobe Ü6 durchgeführt. Diese wird nun im nachfolgenden Abschnitt näher charakterisiert. Analog erfolgt eine Charakterisierung der Teilstichprobe U6, um mögliche Unterschiede zu identifizieren. Die Ergebnisse sind im Anhang 7 zu finden.

In der Teilstichprobe Ü6 verbleiben  $N = 68$  Schülerinnen und Schüler aus  $N = 6$  Klassen von  $N = 5$  bayerischen Gymnasien.

Die Schülerinnen und Schüler sind zwischen 15 und 18 Jahre alt, wobei das durchschnittliche Alter der Schülerinnen und Schüler bei  $M = 15.79$  Jahren ( $SD = .64$ ) liegt. Dabei sind  $n = 39$  (57.4%) der Befragten weiblich und  $n = 29$  (42.6%) männlich.

### Verteilung der Schülerinnen und Schüler auf die Treatments

Wie in Abbildung 18 zu sehen ist, verteilen sich die Schülerinnen und Schüler folgendermaßen auf die Treatments:

In Treatment A (strukturierte Prompts) sind  $n = 23$  (33.8%) Teilnehmende. Von diesen Teilnehmenden sind  $n = 14$  (60.9%) weiblich und  $n = 9$  (39.1%) männlich. Das durchschnittliche Alter beträgt  $M = 15.8$  ( $SD = .58$ ).

Ähnlich sieht die Verteilung im Treatment B (unstrukturierte Prompts) aus. Auch in dieser Gruppe sind  $n = 23$  (33.8%) der Befragten. Davon sind  $n = 10$  (43.5%) Schülerinnen und  $n = 13$  (56.5%) Schüler, deren durchschnittliches Alter  $M = 15.8$  ( $SD = .60$ ) beträgt.

In Treatment C (keine Prompts; Kontrollgruppe) sind  $n = 22$  (32.4%) Probanden. Das Geschlechterverhältnis teilt sich in  $n = 15$  (68.2%) Schülerinnen und  $n = 7$  (31.8%) Schüler auf. Die Schülerinnen und Schüler haben ein durchschnittliches Alter von  $M = 15.78$  ( $SD = .75$ ).

Die Abbildung 18 zeigt die Verteilung der Stichprobe auf die Teilstichproben.

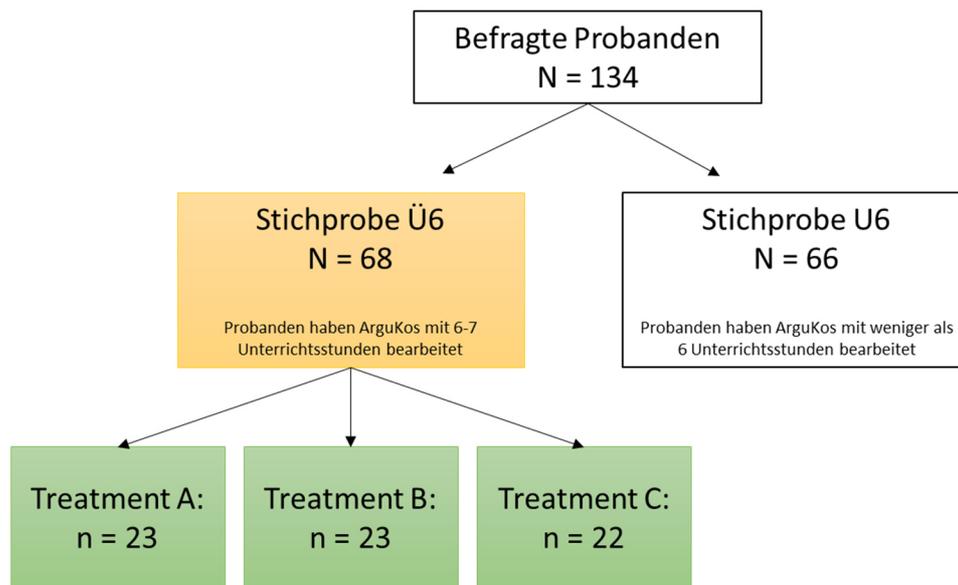


Abbildung 18: Verteilung der Stichprobe auf die Teilstichproben Ü6/U6

### Kontrolle weiterer (individueller) Voraussetzungen

Zur reliablen Vergleichbarkeit der Treatments werden in der Teilstichprobe Ü6 die (individuellen) Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler in den Treatments kontrollierend miteinander verglichen. Bei den (individuellen) Voraussetzungen handelt es sich analog zu Kapitel 6.2. um die Variablen Vorwissen zum Thema „Schwarzes Loch“, Freude und Interesse an den Naturwissenschaften (Frey & Asseburg, 2009), naturwissenschaftliche Selbstwirksamkeitserwartung (Frey & Asseburg, 2009), Selbstregulation (Schwarzer & Jerusalem, 1999), schulfachspezifische Interessen (Schilling et al., 2004) sowie Freude und Interesse am PC (Hertel & Klieme, 2014). Darüber hinaus wird auch die Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung (in Anlehnung an Venkatesh, 2000) in die Erhebung mit einbezogen. Die Analysen mittels Kruskal-Wallis-Tests (Kruskal & Wallis, 1952) ergeben, dass sich die Schülerinnen und Schüler der Teilstichprobe Ü6 in und zwischen den Treatments hinsichtlich ihrer (individuellen) Voraussetzungen nicht unterscheiden. Tabelle 13 berichtet die asymptotische Signifikanz.

Variable	Asymptotische Signifikanz
Vorwissen zum Thema „Schwarzes Loch“	.47
Freude und Interesse an den Naturwissenschaften	.42
Naturwissenschaftliche Selbstwirksamkeitserwartung	.99
Selbstregulation	.11
Schulfachspezifische Interessen	.06
Freude und Interesse am PC	.42
Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung	.64

Tabelle 13: Asymptotische Signifikanz der Teilstichprobe Ü6

### 7.3. Die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses (Forschungsfrage 1)

Um die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses festzustellen, wurden Mittelwertvergleiche mittels Wilcoxon-Paarvergleichstests durchgeführt.

Obwohl die Teilstichprobe U6 für die Analyse der vorliegenden Arbeit ausgeschlossen wurde, wird diese zur Überprüfung der Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses noch einmal mit herangezogen. Damit soll die Annahme geprüft werden, inwiefern Lernmaterial, in diesem Fall die Lernumgebung „ArguKos“, welches nicht in der vorgesehenen Art und Weise bearbeitet wurde, Auswirkungen auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und das situationale Interesse hat.

Für diese Analyse werden die Variablen „Argumentationsfähigkeit“ aus der Vor- und Nachbefragung (Kapitel 6.3.1.1.) herangezogen. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit der Gesamtstichprobe ist nach Bearbeitung der Lernumgebung

„ArguKos“ nicht signifikant höher ( $Median = 4.0$ ) als vor der Bearbeitung ( $Median = 4.0$ ); asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -1.459, p = .14, N = 134$ ).

Ebenso wird für die Überprüfung der Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung des situationalen Interesses verfahren. Für die Analyse werden die Variablen „situationales Interesse“ aus der 1. und 5. Unterrichtsstunde (Kapitel 6.3.3.1) herangezogen. Die Analyse zeigt, dass sich das situationale Interesse zwischen der 1. Unterrichtsstunde ( $Median = 2.8$ ) und der 5. Unterrichtsstunde ( $Median = 3.0$ ) nicht signifikant verändert hat (asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -1.395, p = .16, N = 134$ ).

Um nun mögliche Effekte der Art und Weise, wie die Lernumgebung bearbeitet wurde, zu identifizieren, wird die Entwicklung der beiden unabhängigen Teilstichproben U6 und Ü6 mittels eines Mann-Whitney-U-Tests verglichen. Damit dies möglich ist, wird eine *Change-Variable* „Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zwischen Vor- und Nachbefragung“ (Mittelwertdifferenz zwischen Nach- und Vorbefragung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit) berechnet, deren Wertebereich zwischen -4 und 4 liegt. Der Boxplot (Abbildung 19) zeigt, dass sich die Mediane der beiden Teilstichproben (U6 und Ü6) voneinander unterscheiden.

Die Schülerinnen und Schüler der Teilstichprobe U6 (*mittlerer Rang* 59.39;  $Median = -.50$ ) weichen in der Entwicklung ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit hochsignifikant ( $U = 1708.5, p = .02, z = -2.44; r = .21$ ) von den Schülerinnen und Schülern der Teilstichprobe Ü6 (*mittlere Rang* 75.38;  $Median = .00$ ) ab, wobei die Effektstärke  $r$  nach Cohen (1992) einem geringen bis mittleren Effekt entspricht.

Aufgrund dieses Ergebnisses werden die Entwicklungen der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses innerhalb der zwei Teilstichproben nochmal mittels eines Wilcoxon-Paarvergleichstest betrachtet und miteinander verglichen.

Die Ergebnisse der Teilstichprobe U6 ( $Median = 4.0$ ) zeigen hochsignifikant (asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -2.983, p = .00, n = 66$ ) eine negative Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Mittlere Ränge: *Vorbefragung* = 25.36; *Nachbefragung* = 20.79). Die Effektstärke nach Cohen (1992) liegt bei  $r = .367$  und entspricht einem mittleren Effekt.

Bezüglich der Argumentationsfähigkeit zeigt sich bei Teilstichprobe Ü6 (*Median* = 4.0) deskriptiv eine leichte Verbesserung bei den mittleren Rängen (*Vorbefragung* = 21.76; *Nachbefragung* = 24.08), die allerdings nicht signifikant ist (asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -.697, p = .49, n = 68$ ).

Die erneute Analyse der Entwicklung des situationalen Interesses zeigt in der Teilstichprobe U6 keine signifikante Entwicklung (asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -.302, p = .76, n = 66$ ) zwischen der 1. Unterrichtsstunde (*Median* = 3.0) und der 5. Unterrichtsstunde (*Median* = 3.0).

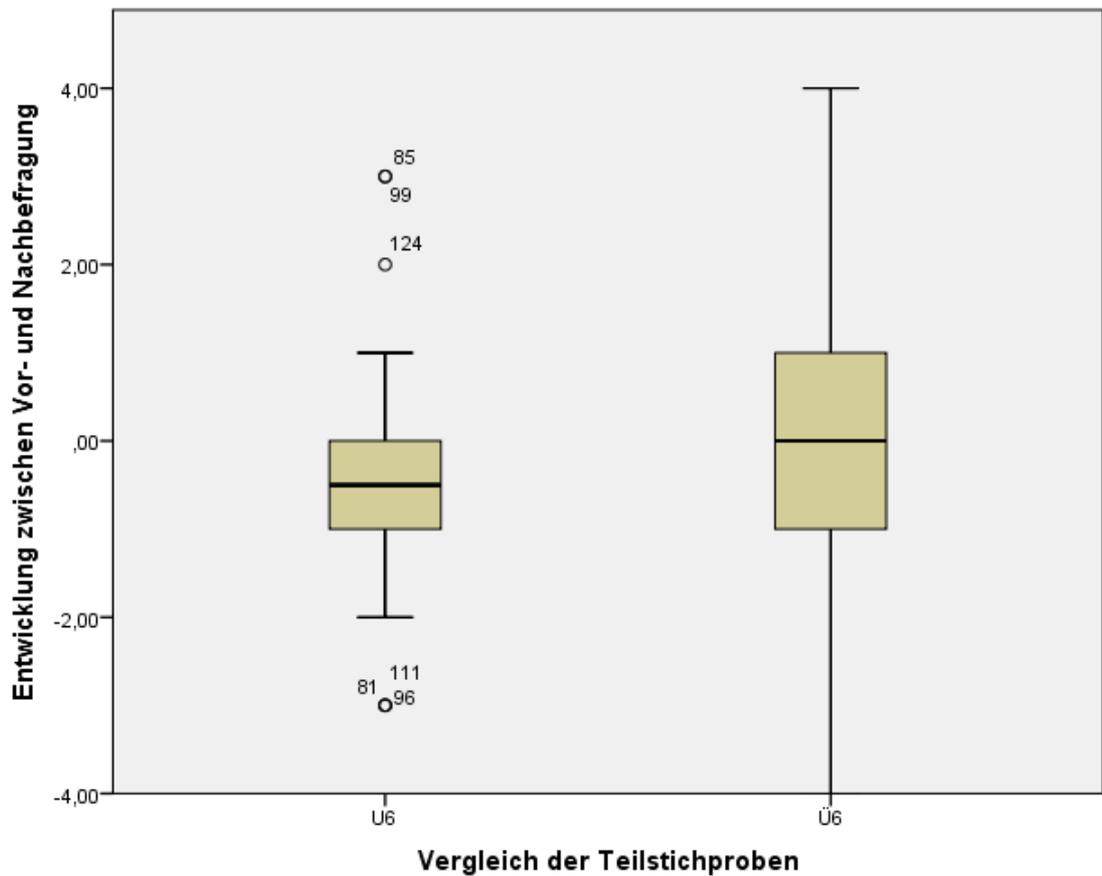


Abbildung 19: Boxplot zur Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit für die Teilstichproben „U6“ und „Ü6“

Bei der Teilstichprobe Ü6 hingegen ist eine signifikant positive Veränderung des situationalen Interesses (asymptotischer Wilcoxon - Test:  $z = -2.217$ ,  $p = .03$ ,  $n = 68$ ) zwischen der 1. Unterrichtsstunde (*Median* = 2.6) und der 5. Unterrichtsstunde (*Median* = 2.8) festzustellen.

Es zeigt sich, dass die Art und Weise der Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ Auswirkungen auf die Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und das situationale Interesse haben. Die Annahme, dass eine falsche Bearbeitung keine Auswirkungen hat, kann durch die durchgeführte Analyse bestätigt werden. Darüber hinaus kann es sogar zu einem negativen Effekt kommen, wie die Ergebnisse zur Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zeigen.

#### 7.4. Auswirkungen instruktionaler, individueller und situationaler Faktoren auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfragen 2.1. – 2.6.)

Der nun folgende Abschnitt analysiert den Einfluss und den Zusammenhang der instruktionalen, individuellen und situationalen Faktoren. Die Darstellung der Ergebnisse gliedert sich nach den in Kapitel 5 dargestellten Forschungsfragen.

##### **7.4.1. Die Auswirkung unterschiedlich strukturierter Prompts auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.1.)**

Wie in Kapitel 5 dargestellt, teilt sich die Forschungsfrage 2.1. in zwei Analyseschritte auf. In einem ersten Schritt wird analysiert, ob eine Auswirkung auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit der Experimentalgruppe (Treatment A und B) im Vergleich zur Kontrollgruppe (Treatment C) festzustellen ist. In einem weiteren Schritt wird dann analysiert, ob Auswirkungen durch die einzelnen Treatments (A, B und C) auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit festzustellen sind.

Die Auswirkungen der Prompts in den Experimentalgruppen (Treatment A: strukturierte Prompts und B: unstrukturierte Prompts) im Vergleich zur Kontrollgruppe (Treatment C:

keine Prompts) wurde mittels eines Whitney-U-Tests in den Unterrichtseinheiten (UE) 1, 3 und 5 überprüft. Die nachfolgende Tabelle (Tabelle 14) zeigt die mittleren Ränge (Median in Klammern) und den exakten Mann-Whitney-U-Test (U) sowie die asymptotische Signifikanz.

	Unterrichtseinheiten		
	1	3	5
Experimentalgruppe (Treatment A und B) n = 46	35.35 (4)	33.25 (4)	33.23 (3)
Kontrollgruppe (Treatment C) n = 22	32.73 (4)	37.11 (4)	37.16 (3)
U	467.0	448.5	447.5
Asymptotische Signifikanz	.59	.44	.43

Tabelle 14: Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollgruppe bei der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (UE 1, 3 & 5)

Der durchgeführte Mann-Whitney-U-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe in allen drei Unterrichtseinheiten.

In der weiteren Analyse werden nun Auswirkungen der einzelnen Treatments (A, B und C) ebenfalls in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 mittels eines Kruskal-Wallis-Tests überprüft. Es gibt in keiner der drei Unterrichtseinheiten einen signifikanten Unterschied zwischen den Treatments. Tabelle 15 zeigt die mittleren Ränge (Median in Klammern) der einzelnen Treatments in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5. Zusätzlich ist die asymptotische Signifikanz berichtet.

	Unterrichtseinheiten		
	1	3	5
Treatment A: n=23	31.78 (4)	32.11 (4)	32.93 (3)
Treatment B: n=23	38.91 (4)	34.39 (4)	33.52 (3)
Treatment C: n=22	32.73 (4)	37.11 (4)	37.16 (3)
Asymptotische Signifikanz	.38	.68	.73

Tabelle 15: Vergleich des Einflusses der Treatments A, B und C

#### 7.4.2. Die Auswirkungen des unterschiedlichen physikalischen Grundverständnisses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.2.)

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 2.2. nach möglichen Auswirkungen des physikalischen Grundverständnisses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit wird zuerst der Test zum physikalischen Grundverständnis mit dem einparametrischen Rasch-Modell skaliert. Die Auswertung der Daten erfolgt exakt nach Ludwig (2017). Diese zeigt, dass durchschnittlich 69% (SD = 20.5 %, min. = 12.6%, max. = 95%) der Items korrekt beantwortet werden. Zur Testauswertung wurden die Antworten der Schülerinnen und Schüler binär kodiert (1 = richtige Antwort). „Zur weiteren Analyse wurde die Passung des einparametrischen Rasch-Modells evaluiert (Boone, Staver, & Yale, 2014; Neumann, 2014). Hierfür wurde der Mittelwert der Personenfähigkeitsverteilung auf null fixiert.“ (Ludwig, 2017, S.83) Die Analyse zeigt, dass die Itemschwierigkeiten zwischen -3.4 und 2.25 Logits ( $M = -1.14$  Logits;  $SD = .19 - .42$ ) und die Mean-Square (MNSQ)-Fit-Statistiken im Intervall von 0.47 bis 1.30 (Outfit) bzw. 0.85 bis 1.19 (Infit) liegen. Das Item K06F02 hat die Cut-off-Kriterien von  $0.5 < \text{Infit} / \text{Outfit} < 1.5$  (Neumann, 2014) verfehlt. Das Item scheint aufgrund der Formulierung mehrdeutig zu sein. Dennoch erscheint aufgrund theoretischer Überlegungen der Einbezug des Items für die weiteren Analysen als sinnvoll.

Abbildung 20 zeigt die Personenfähigkeiten und Itemschwierigkeiten des physikalischen Grundverständnisses in einer Wright-Map. Im Bereich von ca. -2.0 Logits bis 0 zeigt die Wright-Map eine gleichmäßige Verteilung der Items. Zwischen 0 und +2 Logits liegen lediglich zwei Items, so dass davon auszugehen ist, dass der Test im oberen

Fähigkeitsbereich nicht ausreichend differenziert. „Im Rasch-Modell werden für die Bestimmung sowohl der Item- als auch der Personenfähigkeiten Reliabilitäten geschätzt (Bond & Fox, 2007)“ (Ludwig, 2017, S. 84). Die Reliabilitäten liegen bei  $EAP^{12}=.70$  und  $\rho WLE^{13}=.70$ . Diese Werte zeigen, dass die Zuverlässigkeit der Bestimmung der Itemparameter und die Personenfähigkeiten akzeptabel geschätzt werden.

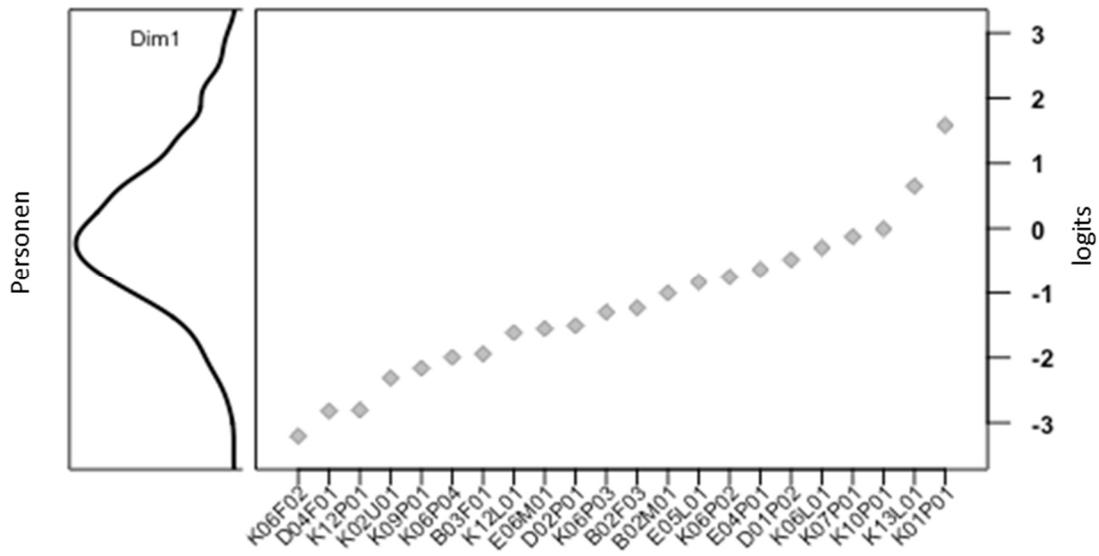


Abbildung 20: Wright-Map des physikalischen Grundverständnisses

Mit den Daten aus der Auswertung des Tests zum physikalischen Grundverständnis erfolgt die Analyse der Forschungsfrage 2.2. „Welche Auswirkungen hat ein unterschiedliches physikalisches Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit?“. Zur Beantwortung der Forschungsfrage werden mittels einer visuellen Klassierung (IBM SPSS Statistics 24) Cut-Off-Werte gebildet und die Schülerinnen und Schüler den Gruppen niedriges, mittleres und hohes physikalisches Grundverständnis zugeordnet (Abbildung 21). Die Vor- und Nachbefragung sowie die Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 werden getrennt voneinander analysiert.

<sup>12</sup> Die EAP-Reliabilität zeigt die Zuverlässigkeit der Bestimmung der Itemparameter an.

<sup>13</sup> Die WLE-Personenreliabilität kann mit dem Cronbachs-  $\alpha$  verglichen werden.

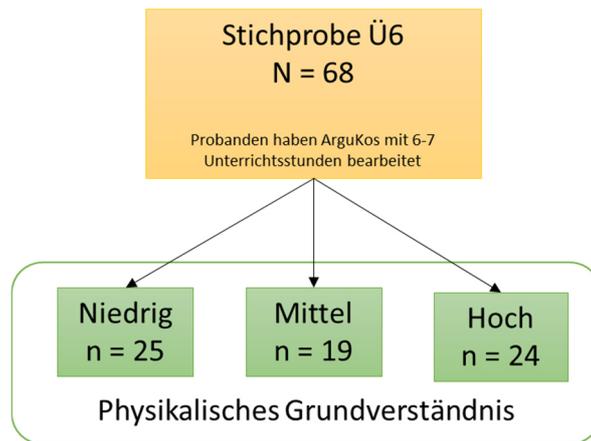


Abbildung 21: Teilstichprobe für Forschungsfrage 2.2.

Die Analyse mittels Kruskal-Wallis-Tests zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen mit unterschiedlichem physikalischen Grundverständnis in der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. In Tabelle 16 und Tabelle 17 sind die mittleren Ränge (Median in Klammern) angegeben

	Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit	
	Vorbefragung	Nachbefragung
Niedriges physikalisches Grundverständnis (n = 25)	35.32 (4)	36.88 (4)
Mittleres physikalisches Grundverständnis (n = 19)	36.32 (4)	35.53 (4)
Hohes physikalisches Grundverständnis (n = 24)	32.20 (4)	31.21 (4)
Asymptotische Signifikanz	.75	.56

Tabelle 16: Auswirkungen von unterschiedlichem physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Vor- & Nachbefragung)

	Unterrichtseinheiten		
	1	3	5
Niedriges physikalisches Grundverständnis (n = 25)	30.02 (4)	35.16 (4)	33.98 (3)
Mittleres physikalisches Grundverständnis (n = 19)	33.95 (4)	30.89 (4)	33.76 (3)
Hohes physikalisches Grundverständnis (n = 24)	39.60 (4)	36.67 (4)	35.63 (3)
Asymptotische Signifikanz	.20	.60	.94

Tabelle 17: Auswirkungen von unterschiedlichem physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (UE 1, 3 & 5)

### 7.4.3. Die Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit? (Forschungsfrage 2.3.)

Nach der jeweiligen Analyse des Einflusses der Prompts (Forschungsfrage 2.1.) und des physikalischen Grundverständnisses (Forschungsfrage 2.2.) soll nun der Einfluss der unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit untersucht werden. Zur Beantwortung der Fragestellung werden neue Teilstichproben gebildet. Dazu wird die bisherige Stichprobe (n = 68) in neun Teilstichproben aufgeteilt. Diese setzen sich aus dem vorhanden physikalischen Grundverständnis (niedrig, mittel, hoch) und dem zugehörigen jeweiligen Treatment (A: strukturierte Prompts, B: unstrukturierte Prompts und C: Kontrollgruppe) der Schülerin oder des Schülers zusammen (Abbildung 22).

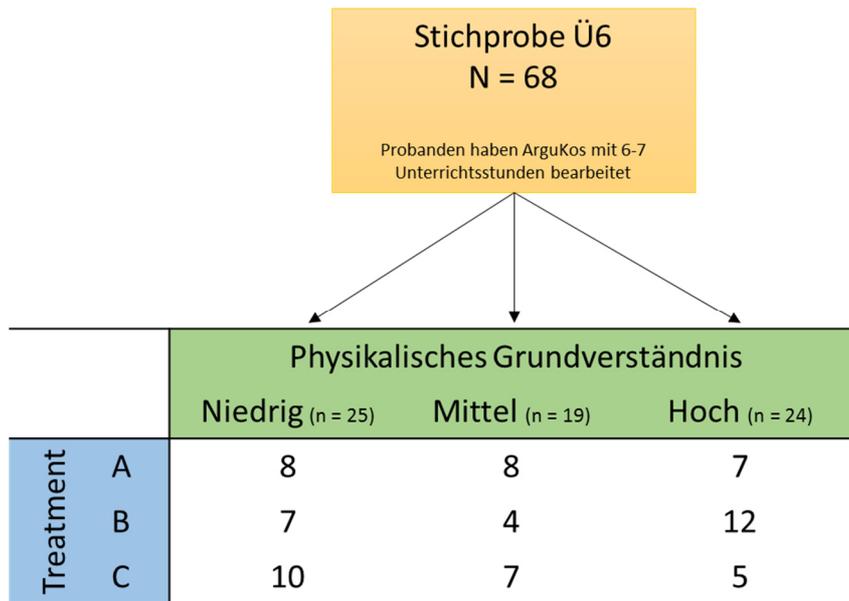


Abbildung 22: Neun Teilstichproben für Forschungsfrage 2.3.

Für die Analyse mittels eines Kruskal-Wallis-Tests werden die neun Teilstichproben herangezogen und mit der *Change-Variable* „Entwicklung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zwischen Vor- und Nachbefragung“ (Mittelwertdifferenz zwischen Nach- und Vorbefragung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit) berechnet.

Tabelle 18 zeigt die nicht signifikanten Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests ( $\chi^2(2) = 9.259$ ;  $p = .32$ ). Es werden die mittleren Ränge angegeben.

Physikalisches Grundverständnis	Treatment	Entwicklung (Mittlerer Rang)
Niedrig	A (n = 8)	46.06
	B (n = 7)	41.86
	C (n = 10)	27.00
Mittel	A (n = 8)	27.44
	B (n = 4)	30.75
	C (n = 7)	43.64
Hoch	A (n = 7)	36.71
	B (n = 12)	43.64
	C (n = 5)	30.50

Tabelle 18: Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit

#### 7.4.4. Die Auswirkungen von unterschiedlichem situationalen Interesses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.4.)

Um der Forschungsfrage 2.4. nachzugehen, ob sich Schülerinnen und Schüler mit niedrigem, mittlerem oder hohem situationalen Interesse bezüglich ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit unterscheiden, wird zur Analyse ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Für die Variable „situationales Interesse“ werden, wie bei der Analyse der Forschungsfrage 2.2., mittels einer visuellen Klassierung (IBM SPSS Statistics 24) *Cut-Off*-Werte für die Gruppen „niedriges situationales Interesse“, „mittleres situationales Interesse“ und „hohes situationales Interesse“ gebildet. Die Analyse wird in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 durchgeführt.

Die Ergebnisse der Analyse werden in Tabelle 19 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Größe der Teilstichproben in jeder Unterrichtseinheit variiert, da sich das situationale Interesse der Lernenden in jeder Unterrichtseinheit entsprechend verändern kann. Es werden mittlere Ränge (Median in Klammern) berichtet.

Situationales Interesse	Unterrichtseinheiten		
	1	3	5
niedrig ( $n_1 = 21, n_3 = 21, n_5 = 17$ )	36.21 (4)	31.83 (4)	31.85 (3)
mittel ( $n_1 = 29, n_3 = 25, n_5 = 26$ )	33.97 (4)	35.14 (4)	31.56 (3)
hoch ( $n_1 = 18, n_3 = 22, n_5 = 25$ )	33.36 (4)	36.32 (4)	39.36 (3)
Asymptotische Signifikanz	.88	.73	.28

Tabelle 19: Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bei unterschiedlichem situationalem Interesse

In der Unterrichtseinheit 1, 3 und 5 zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Schülerinnen und Schülern mit niedrigem, mittlerem oder hohem situationalem Interesse bezüglich der Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit.

#### 7.4.5. Der Zusammenhang zwischen dem situationalem Interesse und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.5.)

Für die Zusammenhangsanalyse wird die Rangkorrelationsanalyse nach Spearman (Spearman, 1910) herangezogen. Die Analyse wird jeweils für die Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 durchgeführt. Die Analyseergebnisse zeigen, dass weder in der Unterrichtseinheit 1 ( $r_s = .042, p = .74$ ), in der Unterrichtseinheit 3 ( $r_s = .114, p = .35$ ) noch in der Unterrichtseinheit 5 ( $r_s = .201, p = .10$ ) das situationale Interesse mit der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit signifikant korreliert.

#### 7.4.6. Die Auswirkungen von unterschiedlichem Autonomie- und Kompetenzerleben auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.6.)

Die Forschungsfrage 2.6., welche Auswirkungen unterschiedliches Erleben von Autonomie und Kompetenz auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit hat, wird identisch wie die Forschungsfrage 2.4. durch einen Kruskal-Wallis-Test analysiert. Das Autonomie- und Kompetenzerleben wird in der Variable „motivational-relevantes Erleben“ zusammengefasst und mittels *Cut-Off*-Werten in „niedriges motivational-relevantes Erleben“, „mittleres motivational-relevantes Erleben“ und „hohes motivational-relevantes Erleben“ aufgeteilt. Die Analyse wird in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 durchgeführt.

Auch in der nachfolgenden Ergebnisdarstellung ist zu beachten, dass die Größe der Teilstichproben in jeder Unterrichtseinheit variiert, da sich das motivational-relevante Erleben entsprechend in jeder Unterrichtseinheit verändert hat. Es werden mittlere Ränge (Median in Klammern) berichtet.

Motivational-relevantes Erleben	Unterrichtseinheiten		
	1	3	5
niedrig ( $n_1 = 27, n_3 = 23, n_5 = 24$ )	30.13 (4)	35.22 (4)	33.02 (3)
mittel ( $n_1 = 17, n_3 = 22, n_5 = 21$ )	33.26 (4)	33.20 (4)	32.21 (3)
hoch ( $n_1 = 24, n_3 = 23, n_5 = 23$ )	40.29 (4)	35.02 (4)	38.13 (3)
Asymptotische Signifikanz	.15	.93	.53

Tabelle 20: Naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bei unterschiedlichem motivational-relevantem Erleben (UE 1.3 und 5)

Die Tabelle 20 zeigt die mittleren Ränge für die Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5. Es zeigen sich bezüglich der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zwischen den Schülerinnen und Schülern mit niedrigem, mittlerem und hohem motivational-relevantem Erleben keine signifikanten Unterschiede.

#### 7.4.7. Der Zusammenhang zwischen dem Autonomie- und Kompetenzerleben und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Forschungsfrage 2.7.)

Die Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Autonomie- und Kompetenzerleben und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit findet ähnlich wie in Forschungsfrage 2.5. statt. Auch dieses Mal wird der bivariate Zusammenhang mittels einer Spearman-Korrelation (Spearman, 1910) berechnet. Hierfür wird jeweils das motivational-relevante Erleben mit der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 analysiert.

In der Unterrichtseinheit 1 korreliert das Autonomie- und Kompetenzerleben signifikant mit der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit ( $r_s = .239, p = .05, n = 68$ ). In der Unterrichtseinheit 3 ( $r_s = -.022, p = .86, n = 68$ ) und in der Unterrichtseinheit 5 ( $r_s = .154, p = .211, n = 68$ ) ist diese Korrelation nicht festzustellen.

## 7.5. Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts auf das situationale Interesse und das Autonomie- und Kompetenzerleben (Forschungsfragen 3.1. – 3.5)

Der nachfolgende Abschnitt untersucht den Einfluss der unterschiedlich strukturierten Prompts auf das situationale Interesse und das Autonomie- und Kompetenzerleben. Darüber hinaus wird abschließend der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen analysiert. Wie im vorangegangenen Abschnitt gliedert sich die Darstellung der Ergebnisse nach den in Kapitel 5 dargestellten Forschungsfragen.

### 7.5.1. Die Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das situationale Interesse (Forschungsfrage 3.1.)

Für die Analyse, ob unterschiedlich strukturierte Prompts eine Auswirkung auf das situationale Interesse haben, werden die Variablen aus den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 herangezogen. Die Analyse der Forschungsfrage erfolgt mittels eines Kruskal-Wallis-Tests. Dieser zeigt keinen signifikanten Einfluss der unterschiedlich strukturierten Prompts auf das situationale Interesse. Tabelle 21 zeigt die mittleren Ränge (Median in Klammern).

	Unterrichtseinheiten		
	1	3	5
Treatment A: n=23	34.04 (3.08)	36.04 (3.29)	31.41 (3.17)
Treatment B: n=23	40.22 (3.08)	37.80 (3.29)	40.54 (3.17)
Treatment C: n=22	29.00 (3.08)	29.43 (3.29)	31.41 (3.17)
Asymptotische Signifikanz	.16	.33	.20

Tabelle 21: Auswirkungen der unterschiedlich strukturierten Prompts auf das situationale Interesse

### 7.5.2. Die Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben (Forschungsfrage 3.2.)

Die Frage nach den Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben wird ebenfalls mit einem Kruskal-Wallis-Test in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 analysiert. Für die Analyse wird das Autonomie- und Kompetenzerleben zu der Variable „motivational-relevantes Erleben“ zusammengefasst. Bei der Analyse zeigt sich in der ersten Unterrichtsstunde eine Signifikanz. Hier ist das motivational-relevante Erleben (zusammengefasstes Autonomie- und Kompetenzerleben) zwischen der Treatment B (unstrukturierte Prompts) und Treatment C (Kontrollgruppe) signifikant unterschiedlich voneinander. Die Effektstärke nach Cohen (1992) liegt hierbei bei  $r = .72$ . Dabei handelt es sich um einen starken Effekt.

In den Unterrichtseinheiten 3 und 5 zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Tabelle 22 zeigt die Mittleren Ränge (Median in Klammern) des Kruskal-Wallis-Tests.

	Unterrichtseinheiten		
	1	3	5
Treatment A: n=23	33.96 (3.19)	35.93 (2.88)	31.48 (3.00)
Treatment B: n=23	41.80 (3.19)	39.91 (2.88)	41.59 (3.00)
Treatment C: n=22	27.43 (3.19)	27.34 (2.88)	30.25 (3.00)
Asymptotische Signifikanz	.05	.09	.11

Tabelle 22: Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das zusammengefasste Autonomie- und Kompetenzerleben

Um zu überprüfen, welche Aspekte des motivational-relevanten Erlebens (zusammengefasstes Autonomie- und Kompetenzerleben) sich in den Stichproben signifikant beziehungsweise tendenziell voneinander unterscheiden, wird die Unterrichtseinheit 1 noch detaillierter analysiert. Statt dem zusammengefassten motivational-relevanten Erleben werden nun die Variablen „Autonomie: Selbstbestimmt“, „Autonomie: Passung mit Wünschen & Zielen“, also die zwei Facetten der Autonomie, und die Variable „Kompetenz“ in die Analyse aufgenommen.

	Unterrichtseinheit 1		
	Autonomie: Selbstbestimmt	Autonomie: Passung mit Wünschen & Zielen	Kompetenz
Treatment A: n=23	37.07 (3.25)	38.00 (3.00)	30.57 (3.20)
Treatment B: n=23	38.28 (3.25)	39.41 (3.00)	42.74 (3.20)
Treatment C: n=22	27.86 (3.25)	25.07 (3.00)	30.00 (3.20)
Asymptotische Signifikanz	.15	.04	.05

**Tabelle 23: Detaillierte Analyse der Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben**

Tabelle 23 zeigt die Mittleren Ränge (Median in Klammern) für die Detailanalyse. Die Effektstärken nach Cohen (1992) liegen bei „Autonomie: Selbstbestimmt“  $r = .45$ , „Autonomie: Passung mit Wünschen & Zielen“  $r = .81$  und „Kompetenz“  $r = .74$ . Dabei handelt es sich um starke Effekte.

Um zu sehen, welche Treatments sich signifikant voneinander unterscheiden, werden für die Autonomiefacette „Autonomie: Passung mit Wünschen & Zielen“ und für die „Kompetenz“ jeweils ein Post-hoc-Test (Dunn-Bonferroni-Test) berechnet.

Der Post-hoc-Test für „Autonomie: Passung mit Wünschen & Zielen“ zeigt, dass für die Probanden in Treatment A (strukturierte Prompts) dieses Bedürfnis signifikant besser erfüllt wurde als für Treatment C ( $z = 2.115$ ,  $p = .03$ ). Ebenso verhält es sich zwischen Treatment B (unstrukturierte Prompts) und Treatment C (Kontrollgruppe). Die Probanden des Treatments B sehen ihre Wünsche und Ziele in der Unterrichtseinheit 1 signifikant besser befriedigt als die Probanden des Treatments C ( $z = 2.358$ ,  $p = .18$ ).

Der Vergleich der Treatments mittels Post-hoc-Test mit Blick auf ihr Kompetenzerleben zeigt, dass sich die Probanden des Treatments B in der Unterrichtseinheit 1 signifikant kompetenter fühlen als die Probanden von Treatment C ( $z = 2.176$ ,  $p = .03$ ). Ebenso fühlen sich die Probanden der Treatment A signifikant kompetenter als die Probanden der Treatment B ( $z = -2.103$ ,  $p = .04$ ).

### 7.5.3. Die Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das situationale Interesse? (Forschungsfrage 3.3.)

Für die Analyse dieser Forschungsfrage 3.3. werden die neuen Teilstichproben aus der Analyse der Forschungsfrage 2.3. herangezogen (Abbildung 22). Für die Untersuchung wird ein Kruskal-Wallis-Test in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 durchgeführt. Dieser zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Teilstichproben. Tabelle 24 zeigt die Mittleren Ränge (Median in Klammern) des Kruskal-Wallis-Tests.

Physikalisches Grundverständnis	Treatment	Unterrichtseinheiten		
		1	3	5
Niedrig	A (n = 8)	21.50 (2.58)	23.88 (2.75)	18.00 (2.83)
	B (n = 7)	34.36 (2.58)	34.21 (2.75)	37.14 (2.83)
	C (n = 10)	27.10 (2.58)	18.90 (2.75)	24.00 (2.83)
Mittel	A (n = 8)	40.06 (2.58)	39.44 (2.75)	34.44 (2.83)
	B (n = 4)	29.75 (2.58)	38.13 (2.75)	38.50 (2.83)
	C (n = 7)	27.00 (2.58)	35.57 (2.75)	35.14 (2.83)
Hoch	A (n = 7)	41.50 (2.58)	46.07 (2.75)	43.29 (2.83)
	B (n = 12)	47.13 (2.58)	39.79 (2.75)	43.21 (2.83)
	C (n = 5)	35.60 (2.58)	41.90 (2.75)	41.00 (2.83)
Asymptotische Signifikanz		.13	.12	.11

Tabelle 24: Auswirkungen der unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das situationale Interesse

#### **7.5.4. Die Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnisses auf das Autonomie- und Kompetenzerleben (Forschungsfrage 3.4.)**

Die Analyse der Forschungsfrage 3.4. läuft identisch mit der Analyse der Forschungsfrage 3.3. ab. Statt der Variable „Situationales Interesse“ wird der Kruskal-Wallis-Test mit der Variable „motivational-relevantes Erleben“ (zusammengefasstes Autonomie- und Kompetenzerleben) in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 durchgeführt

Es zeigt sich in der Unterrichtseinheit 1 ein signifikanter Unterschied zwischen den Treatments. Der anschließend durchgeführte Post-hoc-Test (Dunn-Bonferroni-Test) zeigt, dass sich die Teilstichprobe „niedriges physikalisches Grundverständnis und Treatment C“ signifikant von der Teilstichprobe „hohes physikalisches Grundverständnis und Treatment B“ unterscheidet ( $z = -3.903$ ,  $p = .018$ ). Die Effektstärken nach Cohens (1992) für den Post-hoc-Test beträgt  $r = .47$ , womit es sich um einen starken Effekt handelt. Hierbei ist allerdings die sehr geringe Probandenzahl in den Teilstichproben zu berücksichtigen.

Die Unterrichtseinheiten 3 und 5 zeigen tendenziell signifikante Ergebnisse. Die Effektstärke nach Cohen (1992) liegt in der Unterrichtseinheit 3 bei  $r = 1.75$  und in der Unterrichtseinheit 5 bei  $r = 1.85$ . Es handelt sich um starke Effekte. Tabelle 25 zeigt die Mittleren Ränge (Median in Klammern) des Kruskal-Wallis-Tests.

Physikalisches Grundverständnis	Treatment	Unterrichtseinheiten		
		1	3	5
Niedrig	A (n = 8)	35.19 (3.19)	32.00 (2.88)	23.75 (3.00)
	B (n = 7)	30.14 (3.19)	33.36 (2.88)	38.29 (3.00)
	C (n = 10)	16.80 (3.19)	15.25 (2.88)	18.90 (3.00)
Mittel	A (n = 8)	38.44 (3.19)	33.75 (2.88)	28.69 (3.00)
	B (n = 4)	38.25 (3.19)	37.00 (2.88)	44.00 (3.00)
	C (n = 7)	30.64 (3.19)	37.93 (2.88)	36.64 (3.00)
Hoch	A (n = 7)	27.43 (3.19)	42.93 (2.88)	43.50 (3.00)
	B (n = 12)	49.79 (3.19)	44.71 (2.88)	42.71 (3.00)
	C (n = 5)	44.20 (3.19)	36.70 (2.88)	44.00 (3.00)
Asymptotische Signifikanz		.02	.07	.06

Tabelle 25: Einfluss der unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das Autonomie- und Kompetenzerleben

### 7.5.5. Der Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und dem Erleben von Autonomie und Kompetenz (Forschungsfrage 3.5.)

Abschließend wird der bivariate Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und dem Erleben von Autonomie und Kompetenz mittels einer Spearman-Korrelation (Spearman, 1910) in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 analysiert. Es zeigt sich, dass das situationale Interesse in der Unterrichtseinheit 1 ( $r_s = .481, p = .00$ ), in der Unterrichtseinheit 3 ( $r_s = .618, p = .00$ ) sowie in der Unterrichtseinheit 5 ( $r_s = .685, p = .00$ ) hochsignifikant mit dem Autonomie- und Kompetenzerleben korreliert. Dabei handelt es sich nach Cohen (1992) um starke Effekte.

## 8. Diskussion

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und das situationale Interesse von Schülerinnen und Schülern mittels Prompts gefördert werden können. Bezugnehmend auf die zentralen Analyseergebnisse aus Kapitel 7. werden in Kapitel 8.1. „*null findings*“ und deren Bedeutung dargestellt. Im Anschluss daran werden in Kapitel 8.2. die zentralen Befunde der Arbeit vor dem Hintergrund der theoretischen Überlegungen (Kapitel 2. und 3.) interpretiert und diskutiert. Nachfolgend werden die ökologische Validität und die Limitationen der Studie (Kapitel 8.3.) diskutiert und reflektiert. Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Kapitel werden die Implikationen für die pädagogische Praxis sowie für weitere Forschungsarbeiten in Kapitel 8.4. aufgezeigt. In Kapitel 8.5. wird ein Fazit gezogen.

### 8.1. „*Null findings*“ und deren Bedeutung

Das Kapitel 7. zeigt, dass die zentralen Analysen der Studie keine signifikanten Befunde, also „*null findings*“, liefern. Dies bedeutet, dass die Intervention auf Basis der Ergebnisse keine Effekte bezüglich der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses zeigt. Daher erscheint es zweckmäßig, die Bedeutung der „*null findings*“ für die wissenschaftliche Forschung aufzuzeigen, bevor die Interpretation und Diskussion der Studienergebnisse erfolgen.

Bei „*null findings*“ handelt es sich um nicht signifikante Analyseergebnisse, die aus unterschiedlichen Gründen Effekte möglicherweise nicht aufklären konnten (Aberson, 2002). Die Darstellung, Diskussion und Veröffentlichung der „*null findings*“ trägt dazu bei, die Verzerrungen bei Veröffentlichungen („*publication bias*“) zu reduzieren. In den letzten Jahrzehnten haben Analysen von Veröffentlichungen gezeigt, dass über 80% der veröffentlichten Studienergebnisse signifikante Effekte berichten und dass nicht signifikante Ergebnisse in der Regel nicht berichtet oder veröffentlicht werden (Aberson, 2002; Franco, Malhotra, & Simonovits, 2014; Osborne, Simon, Christodoulou, Howell-Richardson, & Richardson, 2013; Sterling, 1959). Bei der Annahme, dass ein Mangel an statistischer Signifikanz stets ein Beweis für nicht vorhandene Interventionseffekte ist,

handelt es sich um eine Fehlvorstellung (Sainani, 2013). „*Just as a large sample may yield small P values even when effects are trivial, important effects may miss statistical significance if the sample size is small, the outcome is rare, or the variability is high.*“ (Sainani, 2013, S. 520)

Im Zusammenhang mit „*null findings*“ können zwei verschiedene Möglichkeiten der Interpretation unterschieden werden (Aberson, 2002). Die erste Möglichkeit ist, dass die nicht signifikanten Analyseergebnisse der Wirklichkeit entsprechen. Die zweite Möglichkeit ist, dass die nicht signifikanten Analyseergebnisse als wahr interpretiert werden, obwohl mögliche Effekte vorhanden sind.

In den nachfolgenden Kapiteln sollen beide Möglichkeiten für die Interpretation der vorliegenden Befunde diskutiert werden. In Kapitel 8.2. werden die zentralen Befunde der Arbeit unter der Annahme diskutiert, dass diese der Wirklichkeit entsprechen. In Kapitel 8.3 werden die Gründe diskutiert, warum trotz der nicht signifikanten Analyseergebnisse mögliche Effekte unentdeckt geblieben sind.

## 8.2. Zusammenfassende Diskussion zentraler Befunde

Ein wesentliches Ziel der vorliegenden Arbeit ist es Faktoren zu identifizieren, die die Vermittlung und den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit begünstigen. Nachfolgend werden die Befunde der Forschungsfragen zu den Auswirkungen von individuellen, situationalen und instruktionalen Faktoren auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit anhand des theoretischen Hintergrunds (Kapitel 2. und 3.) diskutiert. Die Befunde der vorliegenden Arbeit bieten die Möglichkeit sich näher mit den Ergebnissen auseinanderzusetzen, um ein tiefer gehendes Verständnis zu erlangen, was im Rahmen des Unterrichtsgeschehens zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses zu leisten ist. Daraus können Rückschlüsse für die pädagogische Praxis und für weitere Forschungsarbeiten gezogen werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden ausgewählte Ergebnisse diskutiert.

### 8.2.1. Physikalisches Grundverständnis

Die PISA-Rahmenkonzeption der naturwissenschaftlichen Grundbildung (Schiepe-Tiska, Schöps, Köller, & Prenzel, 2013) zeigt, dass für den allgemeinen Kompetenzerwerb das Wissen der Schülerinnen und Schüler von Bedeutung ist. Besonders das fachliche Wissen spielt hierbei eine zentrale Rolle. Es dient als Grundlage zum Erwerb des Wissens über die Naturwissenschaften, zu dem auch die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit als naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise zählt (Kapitel 3.1.). Gestützt wird diese Annahme durch die Befunde von Kuhn (Kuhn, 1991), Voss und Means (Voss & Means, 1991) sowie Sadler und Fowler (Sadler & Fowler, 2006), deren Studienergebnisse zeigen, dass die Schülerinnen und Schüler über ein Mindestmaß an Wissen verfügen müssen, um sich die Fähigkeit des naturwissenschaftlichen Argumentierens anzueignen. Diese Annahme findet auch aus Sicht der *Cognitive Load Theory* (Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011b; Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998) Unterstützung. Die Schülerinnen und Schüler werden beim Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit vor eine komplexe Aufgabe gestellt, in der sie Fachinhalte für die Konstruktion eines Arguments im Sinne des TAP-Basisschemas (Kapitel 2.3.2.2.) zuordnen müssen. Diese Aufgabe erfordert von den Schülerinnen und Schülern eine hohe Informationsverarbeitung, durch die ein hoher *cognitive load* entstehen kann (Sweller et al., 2011). Wie in Kapitel 3.1. bereits ausgeführt, kann dieser *cognitive load* durch ein bereits vorhandenes Grundverständnis reduziert werden (Sweller et al., 2011). Dadurch können sich die Schülerinnen und Schüler mehr auf die Konstruktion eines Arguments konzentrieren und werden nicht noch mit unbekanntem Konzeptionen kognitiv überlastet.

Unter Berücksichtigung der Bedeutung eines bereits vorhandenen Grundverständnisses für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit, greift die vorliegende Studie das physikalische Grundverständnis (Kapitel 3.1.) als individuelle Lernvoraussetzung der Schülerinnen und Schüler auf und untersucht in der Forschungsfrage 2.2. die Auswirkungen des bereits vorhandenen unterschiedlichen physikalischen Grundverständnisses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit (Kapitel 7.4.2.). Es wird erwartet, dass sich je nach physikalischem Grundverständnis der Schülerinnen und Schüler Unterschiede in der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zeigen. Die Analyseergebnisse der Forschungsfrage 2.2. (Kapitel 7.4.2.) liefern keine signifikanten Unterschiede zwischen

den Gruppen „niedriges physikalisches Grundverständnis“, „mittleres physikalisches Grundverständnis“ und „hohes physikalisches Grundverständnis“.

Entgegen der allgemeinen Annahme aus der PISA-Rahmenkonzeption (Schiepe-Tiska u.a., 2013), aus der sich ableiten lässt, dass das (physikalische) Grundverständnis für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit relevant ist, bestätigen die Befunde der vorliegenden Arbeit die früheren Studienergebnisse von Kuhn (Kuhn, 1991), Voss und Means (Voss & Means, 1991) sowie Sadler und Fowler (Sadler & Fowler, 2006), die zeigen, dass das naturwissenschaftliche Wissen keinen signifikanten Einfluss auf den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit hat. Ein direkter Bezug zu den Befunden ist allerdings nicht möglich, da sich diese in der Regel auf Analysen der inhaltlichen Gültigkeit eines naturwissenschaftlichen Arguments beziehen. Unter der Beachtung der Interpretation der abhängigen Variable „naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit“ können allerdings Parallelen zu den bisher bekannten Ergebnissen gefunden werden. Denn das bereits vorhandene physikalische Grundverständnis der Schülerinnen und Schüler hat in dieser Arbeit keine Effekte auf die strukturelle Konstruktion eines Arguments gezeigt. Damit liefern die Ergebnisse eine erste Orientierung über die Rolle des physikalischen Grundverständnisses in Bezug auf die strukturelle Konstruktion eines Arguments, wodurch bisherige Befunde ergänzt werden können.

### **8.2.2. Situationale Interesse und Autonomie- und Kompetenzerleben**

Mit den Analysen zu den Auswirkungen der motivationalen Orientierung der Schülerinnen und Schüler trägt die vorliegende Arbeit zur weiteren Erschließung der aktuellen Forschung bei. Befunde der empirischen Lehr-Lern-Forschung weisen sowohl kognitiven als auch motivational-affektiven Faktoren eine tragende Rolle für den Lernerfolg zu (Boekarts et al., 2000; Deci & Ryan, 2002; Schiefele, 2009a; Schiefele & Heinen, 2006; Willems, 2011). Dennoch gibt es bisher kaum Studien, die die Auswirkungen des situationalen Interesses sowie des Autonomie- und Kompetenzerlebens auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit sowie deren Zusammenhänge analysieren. Nachfolgend (Kapitel 8.2.2.1.) werden die Befunde aus den Kapiteln 7.4.4. und 7.4.5. zum situationalen Interesse und der naturwissenschaftlichen

Argumentationsfähigkeit diskutiert. Im Anschluss daran werden in Kapitel 8.2.2.2. die Befunde zu den Auswirkungen des Autonomie- und Kompetenzerlebens auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit aus den Kapiteln 7.4.6. und 7.4.7. ebenfalls diskutiert.

#### 8.2.2.1. Situationales Interesse

In der bisherigen Forschungsliteratur werden die Auswirkungen und der Zusammenhang der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses kaum gemeinsam betrachtet. Diese Arbeit möchte einen Beitrag auf diesem Gebiet leisten. In diversen Studien konnte bereits ein positiver Zusammenhang zwischen dem Interesse der Schülerinnen und Schüler und deren Lernerfolg nachgewiesen werden (Boekaerts et al., 2000; Hidi & Renninger, 2006, Schiefele 2009b, Schiefele & Heinen, 2006). Aufgrund dieser theoretischer Annahmen wird davon ausgegangen, dass Schülerinnen und Schüler mit einem hohen situationalen Interesse eine höhere naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit aufweisen und dass Schülerinnen und Schüler mit einem mittleren oder niedrigen situationalen Interesse jeweils eine geringere naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit aufweisen. Entgegen dieser Annahme zeigen die Befunde zur Forschungsfrage 2.4. (Kapitel 7.4.4.) in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 zwischen den Schülerinnen und Schülern mit niedrigem, mittlerem und hohem situationalen Interesse keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit.

Damit ist nun allerdings nicht gesagt, dass das situationale Interesse für den Erwerb der Fähigkeit des naturwissenschaftlichen Argumentierens keine Bedeutung hat. Wahrscheinlicher ist es bei einer näheren Betrachtung, dass die Schülerinnen und Schüler die Items zum situationalen Interesse (Anhang 4) nur auf die Inhalte und Thematiken der Lernumgebung<sup>14</sup> „ArguKos“ und nicht auf die Argumentationsaufgaben bezogen haben. Zum Beispiel lautet ein Item: „Die Beschäftigung mit den Inhalten des E-Learning-Kurses war für mich nützlich.“. Es ist anzunehmen, dass die Schülerinnen und Schüler die Items in Bezug auf die Thematik „Schwarze Löcher“ und nicht in Bezug auf den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit ausgefüllt haben.

---

<sup>14</sup> Der Wortlaut im Fragebogen (Anhang 4) lautet statt „Lernumgebung“ „E-Learning-Kurs“, um für eine bessere Verständlichkeit bei den Schülerinnen und Schülern zu sorgen.

Die Zusammenhangsanalysen der Forschungsfrage 2.5. (Kapitel 7.4.5.) zeigen ebenfalls keine signifikanten Zusammenhänge. Dies deutet ebenfalls daraufhin, dass die Items nur auf die Inhalte der Lernumgebung und nicht auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bezogen wurden. Diese Annahme wird durch die Befunde der Forschungsfrage 1 gestützt. In Kapitel 8.2.4.2. wird näher darauf eingegangen.

Nicht unerwähnt bleiben darf, dass hier die Auswirkungen und der Zusammenhang des situationalen Interesses mit der Fähigkeit, ein Argument strukturell richtig zu konstruieren analysiert wird. Die Befunde dieser Studie können lediglich für diese Interpretation der abhängigen Variablen verstanden werden. Inwiefern Auswirkungen und Zusammenhänge des situationalen Interesses bei einer inhaltlichen Betrachtung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit bestehen, gilt es in weiteren Forschungsarbeiten herauszufinden.

#### 8.2.2.2. Autonomie- und Kompetenzerleben

Analog zum situationalen Interesse wurden bisher auch die Auswirkungen des Autonomie- und Kompetenzerlebens der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf deren naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit kaum untersucht. Studien zeigen, dass durch die Befriedigung des Bedürfnisses nach Autonomie und Kompetenz im Unterricht erwartet wird, dass die Schülerinnen und Schüler Interesse an einem Lerngegenstand zeigen und die Motivation der Lernenden, sich mit diesem Lerngegenstand zu beschäftigen, steigt (Deci & Ryan, 2000; Lewalter & Schreyer, 2000; Willems, 2011). Dabei geht es besonders um die subjektive Wahrnehmung des Schwierigkeitsgrads einer Aufgabe (Willems, 2011). Ein Ziel der vorliegenden Studie ist es, zu prüfen, ob das auch auf den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit übertragbar ist. Eine Studie von Niemiec und Ryan (2009) zeigt, dass es einen starken Zusammenhang zwischen dem Autonomie- und dem Kompetenzerleben im Unterricht gibt. Daher werden diese beiden Erlebensqualitäten für die Analyse der Forschungsfragen 2.6. (Kapitel 7.4.6.) und 2.7. (Kapitel 7.4.7.) in die Variable „motivational-relevantes Erleben“ zusammengefasst. Aufgrund der bisher bekannten theoretischen Annahmen wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler mit einem hohen motivational-relevanten Erleben eine stärker ausgeprägte naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit

aufweisen als Schülerinnen und Schüler mit einem mittleren oder niedrigem motivational-relevanten Erleben.

Die Befunde in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 zeigen keine signifikanten Auswirkungen eines unterschiedlichen motivational-relevanten Erlebens der Schülerinnen und Schüler auf deren naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit.

Wie bereits beim situationalen Interesse stellt sich auch bei diesen erwartungswidrigen Befunden die Frage, ob die Skala zum Autonomie- und Kompetenzerleben von den Schülerinnen und Schülern auf die Arbeit mit der Lernumgebung „ArguKos“, oder auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bezogen wurde. Zwar beziehen sich vier Items der Skala auch im Wortlaut explizit auf die Lernumgebung<sup>15</sup> „ArguKos“ allerdings spricht gegen diese Annahme, dass Items, wie zum Beispiel „Während des E-Learning-Kurses hatte ich das Gefühl, dass ich auch schwierige Fragen selbstständig lösen konnte.“ oder „Während des E-Learning-Kurses hatte ich das Gefühl, dass ich die gestellten Anforderungen gut bewältigen konnte.“ sich recht eindeutig auf die gestellten Aufgaben, also auch die Argumentationsaufgaben, innerhalb der Lernumgebung „ArguKos“ beziehen.

Ein weiterer Grund, dass sich keine signifikanten Unterschiede in der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zwischen den Lernenden mit niedrigem, mittlerem und hohem motivational-relevanten Erleben zeigen, könnte sein, dass die Varianz des motivational-relevanten Erlebens zwischen den drei gebildeten Gruppen (niedriges, mittleres und hohes motivational-relevantes Erleben) nicht sehr groß ist.

Damit sich die Schülerinnen und Schüler autonom und kompetent fühlen, sollten die Aufgaben an die individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler angepasst werden. Da durch den Einsatz von unterschiedlich strukturierten Prompts in der vorliegenden Arbeit eine Anpassung an die individuellen Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler erfolgt, werden in Kapitel 8.2.3.3. und 8.2.3.4. die Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts auf das motivational-relevante Erleben (zusammengefasstes Autonomie- und Kompetenzerleben) der Schülerinnen und Schüler ausführlich diskutiert, um zu klären, inwiefern eine ausreichende Befriedigung

---

<sup>15</sup> Wie bereits bei der Skala zum situationalen Interesse lautet der Wortlaut im Fragebogen (Anhang 4) statt „Lernumgebung“ „E-Learning-Kurs“, um für eine bessere Verständlichkeit bei den Schülerinnen und Schülern zu sorgen.

des Autonomie- und Kompetenzerlebens stattgefunden hat. Diese Befunde können für die Frage nach den Auswirkungen eines unterschiedlichen Autonomie- und Kompetenzerlebens auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit eine wichtige Rolle spielen.

Dass ein Zusammenhang zwischen dem motivational-relevanten Erleben und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler besteht, zeigt das Analyseergebnis der Spearman-Korrelation (Kapitel 7.4.7.) für die Forschungsfrage 2.7.. In der Unterrichtseinheit 1 ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem motivational-relevanten Erleben und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Lernenden festzustellen. Dieser Zusammenhang ist in den Unterrichtseinheiten 3 und 5 nicht mehr zu finden. Gründe für diese Befunde können mit der Gestaltung der Instruktion zusammenhängen, die das motivational-relevante Erleben anregen sollen. Ursachen für diese Befunde werden daher ebenfalls in den Kapiteln 8.2.3.3. und 8.2.3.4. diskutiert.

#### 8.2.2.3. Situationales Interesse und Autonomie- und Kompetenzerleben

Im Kontext der Personen-Gegenstands-Theorie des Interesses (Krapp, 2002; Krapp & Prenzel, 1992; Prenzel, et al., 1986) hat sich das Erleben von Autonomie und Kompetenz in Anlehnung an die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (Deci & Ryan, 1985, 1993, 2002; Ryan, 1995) zur Förderung des situationalen Interesses als wesentlich erwiesen (Krapp, 2002a; Doris Lewalter & Willems, 2009; Ryan, 1995).

Mit der Analyse (Kapitel 7.5.5.) der Forschungsfrage 3.5. soll geprüft werden, ob der theoretisch postulierte Zusammenhang zwischen dem situationalen Interesse und dem motivational-relevanten Erleben (zusammengefassten Autonomie- und Kompetenzerleben) auch in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden kann. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse nach Spearman (1910) zeigen, dass das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5 hochsignifikant mit dem motivational-relevanten Erleben korreliert.

### 8.2.3. Prompts

In der vorliegenden Arbeit werden die Auswirkungen der unterschiedlich strukturierten Prompts zum einen auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und zum anderen auf das situationale Interesse sowie das Autonomie- und Kompetenzerleben untersucht. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Befunde zu den Prompts diskutiert.

#### 8.2.3.1. Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit

Die Herausforderung für den Schulunterricht besteht darin die Fähigkeit des naturwissenschaftlichen Argumentierens unter Berücksichtigung des physikalischen Grundverständnisses, des situationalen Interesses sowie des Autonomie- und Kompetenzerlebens zu vermitteln. In der vorliegenden Studie werden Prompts als instruktionale Möglichkeit zur Vermittlung und Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit herangezogen (Kapitel 3.3.2.) und als Kurzintervention eingesetzt. Die Prompts haben in der vorliegenden Arbeit die Aufgabe Lernende bei den jeweiligen Argumentationsaufgaben anzuleiten und sie in ihren kognitiven Fähigkeiten zu unterstützen. Dabei wird die unmittelbare Informationsaufnahme, -verarbeitung und –speicherung der Schülerinnen und Schüler gezielt angeregt (Schmidt-Weigand, Hänze, & Wodzinski, 2009). Verschiedene Studienergebnisse zeigen, dass strukturierte Instruktionen den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern steigern können (Große & Renkl, 2007; Seufert, Schütze, & Brünken, 2009; Snow, 1977). Aus diesen Befunden lässt sich ableiten, dass Lernende am meisten von strukturierten und lenkenden Instruktionen profitieren (Klauer & Leutner, 2012). Neben der Gestaltung von strukturierten Prompts (Treatment A) wird in dieser Studie auch der Ansatz der *Aptitude-Treatment-Interaktion* (ATI) berücksichtigt, die besagt, dass Instruktionen auf die individuellen Unterschiede, besonders beim vorhandenen Kenntnisstand der Lernenden, abgestimmt werden müssten (Klauer & Leutner, 2012). Für die vorliegende Arbeit werden daher zu den strukturierten Prompts, die besonders Schülerinnen und Schüler mit niedrigem oder mittlerem physikalischen Grundverständnis unterstützen sollen (Glogger et al. 2009), auch unstrukturierte Prompts (Treatment B) für Schülerinnen und Schüler mit einem hohen physikalischen Grundverständnis eingesetzt. Es soll untersucht werden, ob die theoretischen Annahmen für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit zutreffen, denn trotz der beschriebenen Theorien gibt es bisher

nur wenige Befunde über die Auswirkungen eines unterschiedlichen Strukturierungsgrad der Prompts bei der Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit.

Neben dem Strukturierungsgrad wird in der vorliegenden Studie mittels dem „*Outfading*“ ab der Unterrichtseinheit 3 dem *Expertise Reversal Effect* (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a) Rechnung getragen. Dieser besagt, dass „instruktionale Maßnahmen und Lernmaterialien, die für Lernende mit geringem Vorwissen hilfreich und sogar notwendig sind, mit zunehmenden Wissensstand nicht nur unnötig werden, sondern das Lernen sogar beeinträchtigen können.“ (Leutner et al., 2014, S. 311). Aus diesem Grund wird mit einem angenommenen Zuwachs der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler der Strukturierungsgrad der Prompts nach der Hälfte der Bearbeitung der Lernumgebung nach und nach reduziert.

Entgegen der theoretischen Annahmen zur Wirkung und zum Einsatz der Prompts zeigen die Analyseergebnisse der Forschungsfrage 2.1. (Kapitel 7.4.1.) keinen signifikanten Unterschied zwischen der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppe (Treatment A und B) und der Kontrollgruppe (Treatment C) in den Unterrichtseinheiten 1, 3 und 5. Ebenfalls liefert auch der Vergleich der einzelnen Treatments (A, B und C) keinen signifikanten Unterschied in der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler.

Unter Berücksichtigung des physikalischen Grundverständnisses als individuelle Voraussetzung der Schülerinnen und Schüler zeigen die Analysen der Forschungsfrage 2.3. ebenfalls keine signifikanten Effekte der Prompts auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit.

Als Ursachen, warum sich zwischen den Treatments keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit zeigen, können zwei Punkte angeführt werden.

Eine erste Ursache könnte sein, dass die strukturierten und unstrukturierten Prompts nicht differenziert genug waren. Bei der Konstruktion der Prompts wurde darauf geachtet, dass der Wortlaut der Prompts möglichst identisch ist, um mögliche Effekte durch diesen zu vermeiden. Gegen diese Annahme spricht, dass sich in den Ergebnissen auch keine

signifikanten Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe (Treatment A und B) und der Kontrollgruppe (keine Prompts, Treatment C) zeigen.

Eine zweite Ursache könnte sein, dass die Prompts für die Schülerinnen und Schüler weder ausführlich noch verständlich genug waren. Unter der Annahme, dass die Prompts nicht differenziert genug waren, könnte es sein, dass die Schülerinnen und Schüler die damit vermittelten Instruktionen möglicherweise nicht verstanden haben. Damit stellt sich die Frage, ob die Prompts als Instruktion zur Konstruktion eines naturwissenschaftlichen Arguments ausreichend waren. Möglicherweise hätten die Lernenden detailliertere Prompts besser verstanden.

Im nachfolgenden Kapitel werden die Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das situationale Interesse sowie das Autonomie- und Kompetenzerleben diskutiert.

#### 8.2.3.2. Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das situationale Interesse

Neben den Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit wird in der vorliegenden Arbeit auch der Frage nach den Auswirkungen der Prompts auf das situationale Interesse sowie das Autonomie- und Kompetenzerleben nachgegangen. Das Ziel ist es, mehr über die motivationale Wirkung von unterschiedlich strukturierten Prompts zu erfahren, da in diesen Bereichen bisher kaum Studienergebnisse vorliegen.

Die Befunde zur Forschungsfrage 3.1., die sich mit den Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das situationale Interesse (Kapitel 7.5.1.) befassen, zeigen in der vorliegenden Arbeit keine signifikanten Unterschiede zwischen dem situationalen Interesse der Schülerinnen und Schüler der verschiedenen Treatments (A, B und C) in den Unterrichtseinheiten 1,3 und 5.

Neben den bereits im vorangegangenen Kapitel (Kapitel 8.2.3.1.) angeführten Gründen, dass die Prompts möglicherweise nicht ausreichend differenziert, ausführlich und verständlich waren, lassen sich die Befunde zum situationalen Interesse durch die Variablen an sich erklären. In der vorliegenden Studie wird das situationale Interesse in

Bezug auf die Lernumgebung „ArguKos“<sup>16</sup> und deren Inhalte erfasst. Die Prompts in der vorliegenden Arbeit werden hingegen zur Unterstützung der Schülerinnen und Schüler bei der Konstruktion eines Arguments eingesetzt. Die Befunde zeigen, dass die auf die Fähigkeit zu argumentieren gerichteten Prompts in der vorliegenden Arbeit keinen Einfluss auf das situationale Interesse haben.

#### 8.2.3.3. Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben

Zur Förderung des Autonomie- und Kompetenzerlebens werden klare Strukturierungen und Instruktionen benötigt, die bei den Unterrichtsangeboten berücksichtigt werden sollten (Deci & Moller, 2005; Elliot et al.; 2002; Prenzel, 1997 Rakoczy et al., 2007; Seidel et al., 2005; Willems, 2011). Um zu klären, inwieweit diese theoretische Annahme auch in dieser Studie bestätigt werden kann, wird mit der Fragestellung 3.2. (Kapitel 5) der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen unterschiedlich strukturierte Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben haben.

Die Analyseergebnisse der Forschungsfrage 3.2. (Kapitel 7.5.2.) zeigen in der Unterrichtseinheit 1 einen signifikanten Unterschied zwischen dem motivational-relevanten Erleben (zusammengefasstes Autonomie- und Kompetenzerleben) in den drei Treatments (A, B und C). Die Probanden des Treatments B (unstrukturierte Prompts) haben im Vergleich zu den anderen Treatments das stärkste motivational-relevante Erleben. Sie nehmen sehen ihre Wünsche und Ziele in der Lernumgebung „ArguKos“ berücksichtigt und nehmen sich als kompetenter wahr als die Schülerinnen und Schüler der anderen Treatments (A und C). Dieser Befund könnte für einen Effekt der unterschiedlich strukturierten Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben sprechen. Dieser könnte für einen Effekt der unterschiedlich strukturierten Prompts auf das Autonomie- und Kompetenzerleben sprechen. Durch die unterschiedlich strukturierten Prompts sollen die Schülerinnen und Schüler bei der Bewältigung der Argumentationsaufgaben unterstützt werden, so dass diese für die subjektive Wahrnehmung der Schülerinnen und Schüler angemessen bewältigt werden können (Deci & Ryan, 2000, 2002; Schiefele & Köller, 2006; Willems, 2011). Diesen theoretischen Annahmen entsprechend, zeigen die Schülerinnen und Schüler, die keine Prompts

---

<sup>16</sup> Der Wortlaut im Fragebogen (Anhang 4) lautet statt „Lernumgebung“ „E-Learning-Kurs“, um für eine bessere Verständlichkeit bei den Schülerinnen und Schülern zu sorgen.

erhielten (Treatment C) in der Unterrichtseinheit 1 ein niedrigeres motivational-relevantes Erleben als die Schülerinnen und Schüler des Treatments A (strukturierte Prompts) und des Treatments B (unstrukturierte Prompts). Die Schülerinnen und Schüler der Treatment B weisen bereits in der Unterrichtseinheit 1 ein höheres motivational-relevantes Erleben auf als die Schülerinnen und Schüler des Treatments A. Inwiefern die unterschiedlich strukturierten Prompts oder doch individuelle Merkmale der Lernenden ausschlaggebend für diesen Befund sind, muss in weiteren Forschungsarbeiten untersucht werden.

Ein weiterer auffälliger Befund ist der Einbruch des motivational-relevanten Erlebens in den Unterrichtseinheiten 3 und 5 bei den Treatments A (strukturierte Prompts) und C (keine Prompts; Kontrollgruppe). In der Unterrichtseinheit 3 setzt das „*Outfading*“ ein. Durch das „*Outfading*“ soll die Effektivität der Prompts aufrechterhalten werden, in dem der Strukturierungsgrad der Prompts merklich reduziert wird. Mit diesem Vorgehen wird dem *Expertise Reversal Effect* (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a) Rechnung getragen, der besagt, dass „instruktionale Maßnahmen und Lernmaterialien, die für Lernende mit geringem Vorwissen hilfreich und sogar notwendig sind, mit zunehmenden Wissensstand nicht nur unnötig werden, sondern das Lernen sogar beeinträchtigen können.“ (Leutner, Opfermann, & Schmeck, 2014, S.311).

Die Befunde der vorliegenden Arbeit legen die Vermutung nahe, dass das „*Outfading*“ zu früh einsetzt. Eine mögliche Ursache könnte sein, dass die Argumentationsaufgaben von Unterrichtseinheit zu Unterrichtseinheit thematisch anspruchsvoller werden. Die anspruchsvollere Thematik scheint bei der Konstruktion eines Arguments eine Rolle zu spielen. In Kombination mit der zeitgleichen Reduktion des Strukturierungsgrades der Prompts fühlen sich die Lernenden in den Unterrichtseinheiten 3 und 5 scheinbar bei der Bewältigung der Argumentationsaufgaben vor einer zu großen Herausforderung und in deren Folge weniger kompetent als noch in der Unterrichtseinheit 1. Bezüglich des Autonomieerlebens deuten die Befunde darauf hin, dass sich die Schülerinnen und Schüler mehr Unterstützung, in Form der unterschiedlich strukturierten Prompts, bei der Bearbeitung der Lernumgebung wünschen. Denn mit dem Einsetzen des „*Outfadings*“ verschwindet auch die Passung der Lernumgebung „ArguKos“ mit den Wünschen und Zielen der Schülerinnen und Schüler. Aus diesen Gründen lässt sich vermuten, dass die Schülerinnen und Schüler weiterhin ausführliche Instruktionen zur Bewältigung der Argumentationsaufgaben benötigt hätten, um sich autonom und kompetent zu fühlen.

Unter Berücksichtigung der Diskussion in den Kapitel 8.2.3.1. und 8.2.3.2. ist es allerdings fraglich, ob das Autonomie- und Kompetenzerleben in der Unterrichtseinheit 1 tatsächlich durch die unterschiedlich strukturierten Prompts ausgelöst wurde. Der gefundene Einbruch der Passung der Lernumgebung „ArguKos“ mit den Wünschen und Zielen der Schülerinnen und Schüler kann möglicherweise auch mit dem „Neuheitseffekt“ erklärt werden. Dieser besagt, dass die Motivation, zu der auch das Erleben der Passung mit den Wünschen und Zielen gehört, alleine durch eine Veränderung des traditionellen Unterrichts gesteigert werden kann (Hillmayr, Reinhold, Ziernwald, & Reiss, 2017). Dieser könnte möglicherweise in der Unterrichtseinheit 1 eingetreten und in der Unterrichtseinheit 3 wieder vergangen sein.

#### 8.2.3.4. Auswirkungen unterschiedlich strukturierter Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnisses auf das Autonomie- und Kompetenzerleben

Um zusätzlich das Autonomie- und Kompetenzerleben der Lernenden zu unterstützen, ist es hilfreich, wenn die unterschiedlich strukturierten Prompts für die Aufgabenbewältigung an die individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler angepasst werden (Willems, 2011). Daher soll mit der Forschungsfrage 3.4. (Kapitel 5) Informationen zu den Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts in Abhängigkeit vom physikalischen Grundverständnis auf das Autonomie- und Kompetenzerleben gewonnen werden.

Für die Analyse der Forschungsfrage werden die Probanden der drei Treatments auf die Gruppen „niedriges physikalisches Grundverständnis“, „mittleres physikalisches Grundverständnis“ und „hohes physikalisches Grundverständnis“ verteilt, wodurch sich die Stichprobenzahl in den einzelnen Gruppen sehr verringert. Aus diesem Grund werden für die Ergebnisdiskussion nur die Randgruppen, also niedriges und hohes physikalisches Grundverständnis, betrachtet. Aufgrund der niedrigen Stichprobenzahl können die Ergebnisse lediglich als Indikator für mögliche Effekte dienen.

Unter Berücksichtigung des physikalischen Grundverständnisses als individuelle Lernvoraussetzung zeigen die Befunde (Kapitel 7.5.4.) in der Unterrichtseinheit 1, dass die Schülerinnen und Schüler mit einem niedrigen physikalischen Grundverständnis und Treatment C (Kontrollgruppe ohne Prompts) ein signifikant geringeres motivational-relevantes Erleben (zusammengefasstes Autonomie- und Kompetenzerleben) haben, als die Schülerinnen und Schüler mit einem hohen physikalischen Grundverständnis und

Treatment B (unstrukturierte Prompts). Damit zeigen die Analysen analoge Ergebnisse zu den Befunden aus Kapitel 8.2.3.3..

Mit dem Einsatz von unterschiedlich strukturierten Prompts wird versucht auf die individuellen Unterschiede zwischen den Lernenden einzugehen, damit diese bestmöglich gefördert werden (Weinert, 1996). Aufgrund verschiedener Studienergebnisse (Große & Renkl, 2007; Seufert et. al., 2009; Snow, 1977) wird davon ausgegangen, dass strukturierte Prompts Schülerinnen und Schüler bei der eigenständigen und selbstbestimmten Bewältigung von Aufgaben, wie es für das Autonomie- und Kompetenzerleben relevant ist (Deci & Ryan, 2000, 2000; Ryan, 1995), bestmöglich unterstützen. Dies wird von Personen auch unter Anleitung erlebt, wenn sonst die Gefahr einer Überforderung besteht. Daher wird auch davon ausgegangen, dass Schülerinnen und Schüler mit einem niedrigen (physikalischen) Grundverständnis eine stärkere strukturierte Unterstützung benötigen als Schülerinnen und Schüler mit einem hohem (physikalischen) Grundverständnis (Klauer & Leutner, 2012). Beide theoretischen Annahmen können durch eine deskriptive Betrachtung der Schülerinnen und Schüler mit niedrigem physikalischen Grundverständnis in der Unterrichtseinheit 1 untermauert werden. Es zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppe (Treatment A und B) mindestens ein fast doppelt so hohes motivational-relevantes Erleben haben als die Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe. Diese Befunde können als ein Indikator für den Einfluss der unterschiedlich strukturierten Prompts auf das motivational-relevante Erleben gedeutet werden.

Bei einer deskriptiven Betrachtung der Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler mit einem hohen physikalischen Grundverständnis zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler des Treatments B (unstrukturierte Prompts) das größte motivational-relevante Erleben haben. Auffällig ist, dass die Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe (Treatment C, keine Prompts) in der ersten Unterrichtseinheit ein höheres motivational-relevantes Erleben zeigen, als die Schülerinnen und Schüler des Treatments A (strukturierte Prompts). Dies kann mit möglicherweise mit dem der *Expertise Reversal Effect* (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a) erklärt werden. Dieser besagt, dass strukturierte und lenkende Maßnahmen für Schülerinnen und Schüler mit geringem Grundverständnis hilfreich und notwendig sind, diese allerdings mit zunehmenden Wissensstand das Lernen beeinträchtigen können (Leutner et al., 2014). Die Lernenden, die bereits über ein hohes physikalisches Grundverständnis verfügen, könnten sich durch

die strukturierten Prompts in ihrer Autonomie und Kompetenz eingeschränkt gefühlt haben, wodurch ihr motivational-relevantes Erleben deutlich niedriger im Vergleich zu den Schülerinnen und Schülern mit hohem physikalischen Grundverständnis, die die gestellten Aufgaben mit unstrukturierten Prompts (Treatment B) beziehungsweise ohne Prompts (Treatment C) bearbeitet haben.

Durch den *Expertise Reversal Effect* (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a) ist das *Outfading* der Prompts indiziert. Allerdings zeigen sich analog zu den Analyseergebnissen der Forschungsfrage 3.2. (Kapitel 7.5.2.) auch bei der Analyse der Forschungsfrage 3.4. (Kapitel 7.5.4.) in den Unterrichtseinheiten 3 und 5 keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen niedriges und hohes physikalisches Grundverständnis im motivational-relevanten Erleben. Auch hier stellt sich die die Frage, was im Verlauf der Unterrichtseinheiten passiert, womit das geringere motivational-relevante Erleben erklärt werden kann. Wie bereits in Kapitel 8.2.3.3. diskutiert, könnte auch hier ein verfrühtes *Outfading* der Prompts ein Grund für das Verschwinden des Effekts sein. Ergänzend zu den bereits diskutierten Ursachen muss hier in Erwägung gezogen werden, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung des Themas „Schwarze Löcher“ ihr physikalisches Grundverständnis nicht ausreichend weiterentwickeln konnten, wodurch das *Outfading* ebenfalls zu früh eingesetzt hat und die Schülerinnen und Schüler die Aufgaben in den Unterrichtseinheiten 3 und 5 als subjektiv zu schwer einstufen.

Insgesamt können die Befunde der Kapitel 8.2.3.3. und 8.2.3.4. als erste Indikatoren gesehen werden, die darauf hinweisen, dass unterschiedlich strukturierte Prompts Auswirkungen auf das Autonomie- und Kompetenzerleben haben. Aufgrund der geringen Stichprobengröße in den einzelnen Gruppen bedarf es weiterer Forschungsarbeiten (Kapitel 8.4.), um den hier getroffenen Vermutungen nachgehen zu können.

#### **8.2.4. Die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses**

Die Eingangsmotivation dieser Studie ist es zu untersuchen, ob eine Lernumgebung, die instruktionale, individuelle und situationale Faktoren zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit berücksichtigt, Effekte zeigt und in den Unterricht integriert werden kann. Nach der Diskussion der Befunde zu den einzelnen Faktoren wird in diesem Kapitel auf die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses eingegangen. Neben den Analyseergebnissen der Forschungsfrage 1. wird nachfolgend auch auf die deskriptiven Befunde der Studie eingegangen.

##### 8.2.4.1. Die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit

Die Grundlage für die in dieser Arbeit entwickelten Lernumgebung ist die Arbeit von Osborne et al. (2013). Diese schulten Lehrkräfte über einen Zeitraum von zwei Jahren, damit diese mittels Instruktionen, insbesondere mittels einer dialogischen Herangehensweise unter Beachtung von Fakten und wissenschaftlichen Konzepten, die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit ihrer Schülerinnen und Schüler im Unterricht vermitteln und fördern können. Die daraus resultierenden Studienergebnisse zeigen kaum signifikante Veränderungen in der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler.

In Bezug auf die Studienergebnisse von Osborne et al. (2013) wurde die Lernumgebung „ArguKos“ entwickelt. Ein Hauptbefund der Studie von Osborne et al. ist, dass der Erfolg einer Intervention zum einen vom Engagement und zum anderen auch von der Kompetenz der Lehrkräfte abhängt. Um dieser Problematik zu begegnen, wird die Lernumgebung „ArguKos“ auf der digitalen Lernplattform „mebis“ so entwickelt, dass sich die Schülerinnen und Schüler die Fähigkeit, naturwissenschaftliche Argumente zu konstruieren, selbstständig unter einheitlichen Bedingungen erarbeiten können. Dadurch soll der Einfluss der Lehrperson minimiert und die Inhalte einheitlich dargestellt und präsentiert werden. Damit sich die Lernumgebung „ArguKos“ zur Vermittlung der

naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit eignet, wurden verschiedene Faktoren bei der Entwicklung berücksichtigt.

Das Basis-Argumentationsmodell nach Toulmin (Abbildung 3) und die damit zusammenhängende Fähigkeit, naturwissenschaftliche Argumente strukturell richtig zu konstruieren, wird den Schülerinnen und Schülern in der Unterrichtseinheit 1 durch ein Lehrvideo vermittelt (Anhang 1.1.). Durch die Schulung mittels eines Lehrvideos haben die Lernenden die Möglichkeit, sich einzelne Sequenzen, die sie nicht verstanden haben, nochmals, beziehungsweise zu einem späteren Zeitpunkt erneut anzuschauen. Zur Festigung des Gelernten erhalten die Schülerinnen und Schüler in jeder Unterrichtseinheit Argumentationsaufgaben, die sie zur Konstruktion eines Arguments anregen sollen. Die Lernenden erhalten dadurch die Möglichkeit, sich individuell in ihrem eigenen Tempo und dadurch sehr selbstständig in die inhaltliche Thematik einzuarbeiten und die Argumentationsaufgaben zu lösen. Ebenso bestand die Option, sich einzelne Inhalte noch einmal anzusehen.

Die Schülerinnen und Schüler werden bei der Bewältigung der Argumentationsaufgaben durch den Einsatz von unterschiedlich strukturierten Prompts unterstützt. Diese sollen nicht nur die Lernprozesse fördern (Wirth, 2009), sondern gleichzeitig das physikalische Grundverständnis der Lernenden als individuelle Lernvoraussetzung und das situationale Interesse sowie das Autonomie- und Kompetenzerleben der Schülerinnen und Schüler als relevante Grundlage für den Kompetenzerwerb berücksichtigen<sup>17</sup>. Dadurch soll der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler optimiert werden. In der vorliegenden Studie werden unterschiedlich strukturierte Prompts eingesetzt. Zwar zeigen verschiedene Studienergebnisse (Große & Renkl, 2007; Seufert et al., 2009; Snow, 1977), dass stark strukturierte Prompts helfen den *cognitive load* (Kapitel 3.1.) der Schülerinnen und Schüler zu verringern, aber es muss auch dem Ansatz der *Aptitude-Treatment-Interaktion* (ATI) Rechnung getragen werden, die besagt, dass Lernende in Abhängigkeit ihrer Lernvoraussetzungen von unterschiedlichen Lehrmethoden profitieren (Klauer & Leutner, 2012). Zusätzlich werden auch die Annahmen des *Expertise Reversal Effects* (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011a), nämlich dass die Effektivität der Prompts eng mit der Kenntnisenwicklung der Schülerinnen und Schüler zusammenhängt, in die Gestaltung der Prompts und somit in die Gestaltung der Lernumgebung „ArguKos“

---

<sup>17</sup> In Kapitel 8.2.4.2. wird ausführlicher auf das situationale Interesse sowie das Autonomie- und Kompetenzerleben eingegangen.

einbezogen. Da anzunehmen ist, dass die Schülerinnen und Schüler in den Unterrichtseinheiten 1 und 2 ihre naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit weiterentwickeln, setzt ab der Unterrichtseinheit 3 das „*Outfading*“ ein, um eine Beeinträchtigung durch die Prompts auszuschließen (Leutner et al.; 2014).

Aufgrund der Berücksichtigung der genannten individuellen, situationalen und instruktionalen Faktoren wird die Lernumgebung „ArguKos“ als eine Kurzintervention konzipiert. Dadurch soll auch die Implementierung in den Unterricht erleichtert werden.

Basierend auf den dargestellten Überlegungen zur Konzeption der Lernumgebung „ArguKos“ wird erwartet, dass diese zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit geeignet ist. Die Überprüfung der Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit (Kapitel 7.3.) zeigt in der Gesamtstichprobe keinen signifikanten Unterschied zwischen der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit in der Vor- und der Nachbefragung der Schülerinnen und Schüler.

Bei der Datenaufbereitung war auffällig, dass ein Teil der Stichprobe die Lernumgebung „ArguKos“ nicht in der vorgesehenen Art und Weise bearbeitet hat (Kapitel 7.1.2.). Inwiefern die Bearbeitungsart Auswirkungen auf die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ hat, wird ebenfalls untersucht. Dabei zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler, die die Lernumgebung „ArguKos“ nicht in der vorgesehenen Art und Weise bearbeitet haben (Teilstichprobe U6), eine signifikant schlechtere naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit aufweisen als die Schülerinnen und Schüler, die die Lernumgebung „ArguKos“ entsprechend der Konzeption bearbeitet haben (Teilstichprobe Ü6).

Dieser Befund macht deutlich, dass eine Implementierung der Lernumgebung „ArguKos“ nicht automatisch funktioniert. Parallel zu den Studienergebnissen von Osborne et al. (2013) ist auch hier festzustellen, dass den Lehrkräften eine tragende Rolle zukommt. Obwohl die Schülerinnen und Schüler sich selbstständig und unabhängig von der Lehrkraft die Inhalte erarbeiten konnten, sind die Lehrkräfte für die Rahmenbedingungen, in denen die Lernumgebung „ArguKos“ bearbeitet wird zuständig. Im Kontext der Studie wurde versucht, die Lehrkräfte bestmöglich bei der Implementierung der Lernumgebung „ArguKos“ in den Unterricht zu unterstützen. Vor Beginn der Studie erhielten die Lehrkräfte eine Schulung und Fortbildung zur Lernumgebung „ArguKos“ und deren

Einsatz im Unterricht. Anschließend erhielten die Lehrkräfte die zusammengefassten Informationen in Form eines Handbuchs (Anhang 2.1.). Zum Start der Studie und um eine erfolgreiche Implementierung der Lernumgebung „ArguKos“ im Unterricht sicherzustellen, fand in den teilnehmenden Klassen eine *Kick-Off*-Veranstaltung (Anhang 2.2.) statt. In dieser erhielten die teilnehmenden Lehrkräfte sowie die Schülerinnen und Schüler Informationen zu der Lernumgebung „ArguKos“ und der hier vorliegenden Studie sowie eine Einführung in die Lernplattform „mebis“. Während der Bearbeitung des Lernmaterials stand eine Ansprechpartnerin zur Verfügung und die Aktivitäten in der Lernumgebung „ArguKos“ wurden beobachtet, um für einen reibungslosen Ablauf zu sorgen. Trotz dieser unterstützenden Maßnahmen haben ein Großteil der Lehrkräfte keine moderierende Rolle bei der Bearbeitung der Lernumgebung eingenommen. Diese unterstützt nachweislich den Lernfortschritt der Lernenden bei der Arbeit mit digitalen Medien (Hillmayr et. al., 2017).

Durch die nicht sachgemäße Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ zeigt sich trotz der freiwilligen Studienteilnahme der Lehrkräfte, dass die Verbindlichkeit und das Engagement bei der Durchführung der Studie nicht durchgehend gegeben waren. Dies steht nicht nur dem Kompetenzerwerb entgegen, sondern es kann sogar zu einer negativen Entwicklung kommen, wie die Ergebnisse der Teilstichprobe U6 zeigen.

Aber auch die Teilstichprobe Ü6 zeigt keine signifikante Verbesserung in der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. Lediglich deskriptiv ist eine leichte Verbesserung in der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit festzustellen.

Auch bei der Teilstichprobe Ü6 sind die diskutierten Einflüsse der Lehrkraft nicht auszuschließen. Allerdings muss auch die Nachbefragung als mögliche Ursache diskutiert werden, weswegen es zu keiner signifikanten Verbesserung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit in dieser Teilstichprobe kommt. Durch die Analyse der Nachbefragung liegt die Vermutung nahe, dass die Antworten der Schülerinnen und Schüler durch einen Sättigungseffekt beeinflusst wurden. Häufig antworteten die Probeanden in der Nachbefragung, dass sie die Fragen bereits beantwortet haben. Eine Beispielantwort für einen *Concept Cartoon* in der Nachbefragung zeigt dies deutlich: „Hab ich schon beantwortet. Im Tal da es dort wärmer ist!<sup>18</sup>“. Aus diesen Antworten ist zu schließen, dass die Vorbefragung noch zu präsent war und der daraus resultierende

---

<sup>18</sup> Die Rechtschreibung der Originalantwort wird beibehalten.

Sättigungseffekt bei den Probanden auf eine fehlende Ernsthaftigkeit bei der wiederholten Bearbeitung der Nachbefragung schließen lässt. Aus diesem Grund sind die nicht signifikanten Veränderungen unter Vorbehalt zu interpretieren.

Ob die Schülerinnen und Schüler durch die Lernumgebung „ArguKos“ möglicherweise einem hohen *cognitive load* ausgesetzt waren, der neben der anspruchsvollen Thematik und den neuen Inhalten durch eine Erstnutzung der Lernplattform „mebis“ ausgelöst wurde, muss in weiteren Forschungsarbeiten geklärt werden. Gegen diese Annahme spricht, dass die Schülerinnen und Schüler individuell und in ihrem Tempo die Inhalte bearbeiten und diese gegebenenfalls auch wiederholen konnten.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie, dass auch eine direkte Instruktion der Schülerinnen und Schüler nicht den erwünschten Erfolg gezeigt hat, wenn die Lehrkräfte keine moderierende Rolle im Unterrichtsgeschehen einnehmen.

#### 8.2.4.2. Die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung des situationalen Interesses

Ergänzend zu der Diskussion in Kapitel 8.2.4.1. soll in diesem Kapitel die Zielsetzung der Lernumgebung „ArguKos“, das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler zu fördern, diskutiert werden.

Studien postulieren einen positiven Zusammenhang zwischen dem Interesse und dem Lernerfolg von Lernenden (Boekaerts et al., 2000; Hidi & Renninger, 2006; Schiefele, 2009b; Schiefele & Heinen, 2006). Darauf aufbauend wird angenommen, dass sich das situationale Interesse positiv auf die Aneignung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit auswirkt. Bisher gibt es kaum Befunde zu den Auswirkungen und dem Zusammenhang des situationalen Interesses und der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. Um diesen Fragen nachgehen zu können, muss geklärt werden, ob sich die Lernumgebung „ArguKos“ überhaupt zur Förderung des situationalen Interesses eignet.

Für die Anregung des situationalen Interesses im Unterricht muss eine Lernumgebung ein positives subjektives Erleben sowie Herausforderungen, Freude und Aufmerksamkeit bei den Schülerinnen und Schülern fördern (Willems, 2011). In der Lernumgebung

„ArguKos“ wird durch die aufeinander aufbauenden Unterrichtseinheiten zum potenziell interessanten Thema „Schwarze Löcher“ versucht, diese Kriterien zu erfüllen. Die Möglichkeit der Schülerinnen und Schüler sich die Inhalte in ihrem eigenen Tempo selbstständig zu erarbeiten, soll ebenfalls das situationale Interesse anregen.

Durch diese Maßnahmen wird erwartet, dass die Lernumgebung „ArguKos“ geeignet ist, das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler anzuregen. Die Analyse der Forschungsfrage 1 (Kapitel 7.3.) zeigt für die Gesamtstichprobe analog zu den Ergebnissen der Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit keine signifikante Veränderung des situationalen Interesses. Auch hier ist davon auszugehen, dass die nicht sachgemäße Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ (Kapitel 7.1.2.) einen Einfluss auf das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler hat. Die Befunde zeigen, dass es nicht reicht, eine Lernumgebung anregend und fordernd für die Schülerinnen und Schüler zu gestalten (Willems, 2011), sondern dass auch für die Entwicklung des situationalen Interesses eine sachgemäße Bearbeitung nötig ist.

Zum Vergleich ist es zweckmäßig, sich die Analyse der Teilstichprobe Ü6 anzuschauen. Diese zeigt eine signifikante positive Veränderung des situationalen Interesses zwischen den Unterrichtseinheiten 1 und 5. Diese Befunde zeigen, dass mit der Lernumgebung „ArguKos“ Inhalte behandelt werden, die die Neugier der Schülerinnen und Schüler geweckt hat und zu denen die Lernenden gern mehr erfahren hätten. Damit bietet die Lernumgebung „ArguKos“ Lehrkräften die Möglichkeit, das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler anzuregen.

Ebenfalls könnten diese Befunde die Annahme aus Kapitel 8.2.2.1. bestätigen. Die Schülerinnen und Schüler haben die Items zum situationalen Interesse (Anhang 4) auf die Lernumgebung „ArguKos“ bezogen, so dass die nicht signifikanten Befunde zu den Auswirkungen des situationalen Interesses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit schlüssig erscheinen.

### 8.3. Ökologische Validität und Limitationen

In diesem Kapitel soll die ökologische Validität diskutiert und reflektiert werden, da diese einen entscheidenden Einfluss auf die Studienergebnisse hat (Kapitel 8.3.1.). Wie eine Vielzahl von Forschungsarbeiten unterliegt auch diese Arbeit Limitationen, sodass die aus der Studie resultierenden Forschungsergebnisse (Kapitel 8.2.) nur unter deren Berücksichtigung interpretiert werden können (Kapitel 8.3.2.).

#### 8.3.1. Ökologische Validität

Beginnend soll die ökologische Validität der Studie angesprochen werden. Die Lernumgebung „ArguKos“ wurde so konzipiert (Kapitel 4.1.), dass diese in der Praxis für Fachlehrkräfte zur individuellen Förderung der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und ihres situationalen Interesses zur Verfügung stehen kann. Mit der Themenauswahl „Schwarze Löcher“ für die Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse an bayerischen Gymnasien konnten auch curriculare Anforderungen erfüllt werden. Damit konnte die Lernumgebung „ArgKos“ zur Datenerhebung direkt in das reguläre Unterrichtsgeschehen implementiert sowie selbstständig von den Lehrkräften angeleitet und von den Schülerinnen und Schülern bearbeitet werden. Lediglich die zwei Unterrichtseinheiten, die für der Vor- und Nachbefragung dienten, wichen vom regulären Aufbau einer Unterrichtsstunde ab. Daraus ergibt sich eine hohe ökologische Validität für die Studie, wodurch die Befunde, unter Berücksichtigung der weiteren Limitationen, eine hohe Aussagekraft für den regulären Physikunterricht haben.

#### 8.3.2. Limitationen

Trotz der hohen ökologischen Validität ist die Generalisierbarkeit der Befunde stark eingeschränkt.

So wurde die Studie ausschließlich mit Schülerinnen und Schülern der 10. Jahrgangsstufe an bayerischen Gymnasien im Physikunterricht zum Thema „Schwarze Löcher“ durchgeführt. Die Befunde aus Kapitel 7. können daher nicht auf andere Jahrgangsstufen, Schularten, Bundesländer, Fächer oder Thematiken übertragen werden und müssten im Rahmen weiterer empirischer Untersuchungen überprüft werden.

Zudem schränkt der geringe Stichprobenumfang die Aussagekraft der Ergebnisse ein. Durch die geringe Probandenzahl ist es nicht möglich, mittlere oder kleine Effekte zu identifizieren. Somit ermöglichten die verwendeten Testverfahren nur noch die Identifikation von großen Effekten. Darüber hinaus waren einige statistische Analyseverfahren nicht möglich, so dass Einflüsse und Entwicklungen nicht analysiert werden konnten. Insgesamt werden die gefundenen Befunde durch die geringe Stichprobenzahl so eingeschränkt, dass kaum empirisch belastbare Aussagen möglich sind. Ungeklärt ist daher, ob die gefundenen Indikatoren für Effekte bei einer größeren Stichprobe bestätigt werden können oder verworfen werden müssen.

Weitere Einschränkungen zeigen sich in der Interpretation der abhängigen Variable „naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit“. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit bezieht sich in der Studie auf die Fähigkeit, strukturell richtige Argumente nach Toulmins Argumentationsschema (Toulmin, 1958, 2003) zu konstruieren, und wurde nach einem hierfür eigens entwickeltem Kodiermanual ausgewertet. Die inhaltliche Gültigkeit der Argumente wurde nicht analysiert. Daraus folgt, dass durch die Studie nur eingeschränkt und im Hinblick auf die hier angenommene Definition der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit eine Aussage über die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler getroffen werden kann.

An dieser Stelle muss auch auf Limitationen des Studiendesigns verwiesen werden. Die Nachbefragung zur naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit scheint in diesem Kontext problematisch zu sein. Aufgrund der Äußerungen der Schülerinnen und Schüler lässt sich schließen, dass die Nachbefragung zeitlich zu nah an der Vorbefragung durchgeführt wurde, weswegen die Befunde eines Sättigungseffekts unterliegen könnten und sehr vorsichtig zu interpretieren sind (Kapitel 8.2.4.).

Den Befunden nach zu urteilen, sind die individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler relevant für die Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. Zwar wurden diese kontrollierend in die Analysen einbezogen, allerdings wurde keine vertiefte Analyse geleistet. Folglich konnten keine Aussagen getroffen werden, unter welchen Voraussetzungen ein bestimmtes Treatment für die Schülerinnen und Schüler am förderlichsten ist.

Die Studie fokussiert sich auf die Förderung der Schülerinnen und Schüler und versäumt es dabei, die Einstellungen und die Rolle der Lehrkräfte zu analysieren. Besonders unter der Berücksichtigung der hohen Ausfallquote der Studie hätten hier wertvolle Informationen zur erfolgreichen Implementierung einer Lernumgebung im Unterrichtsgeschehen gesammelt werden können.

#### 8.4. Implikationen für die pädagogische Praxis und die weitere Forschung

Basierend auf der Diskussion der Befunde und der Limitationen der vorliegenden Studie können relevante Implikationen für die pädagogische Praxis und für weitere Forschungsarbeiten getroffen werden.

Lehrkräfte sehen sich der Aufgabe gegenüber, neben Fachinhalten und Fachkompetenz auch fächerübergreifende Fähigkeiten, wie die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit, zu vermitteln. Dabei sollten das Grundverständnis, das situationale Interesse sowie das Autonomie- und das Kompetenzerleben als wesentliche Faktoren für den Kompetenzerwerb berücksichtigt werden.

Diese Arbeit liefert wichtige Anknüpfungspunkte für die pädagogische Praxis, wie die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit im Unterricht vermittelt und das situationale Interesse gefördert werden kann. Die Lernumgebung „ArguKos“ vereint und fördert diese Faktoren und ermöglicht es, die Schülerinnen und Schüler im Klassenverbund individuell zu fördern. Dabei zeigt sich der Einsatz von digitalen Unterrichtsmedien in den naturwissenschaftlichen Fächern als gewinnbringend, wie auch in der Metastudie von Hillmayr et al. (2017) darauf hingewiesen wird. Das allgemeine Ausbildungsziel von Lehrkräften, dass diese intensiver für den Einsatz von digitalen Medien geschult werden sollten und dass sich die Lehrkräfte stärker mit den Medien auseinandersetzen sollten (Hillmayr et al., 2017; Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, 2018), kann durch die Befunde der vorliegenden Arbeit unterstützt werden.

Grundsätzlich sind allerdings die Rahmenbedingungen, unter denen die Bearbeitung der Lernumgebung stattfindet, entscheidend. Die Befunde der vorliegenden Studie zeigen, dass die Eignung der Lernumgebung „ArguKos“ zur Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses stark

von der sachgemäßen Bearbeitung des Lernmaterials abhängt (Kapitel 8.2.4.). Es zeigt sich, dass die Lehrkräfte für die Rahmenbedingungen, das Engagement der Schülerinnen und Schüler und die Verbindlichkeit, mit der das Lernmaterial bearbeitet wird, verantwortlich sind. Im Kontext einer digitalen Lernumgebung ist es für den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler am förderlichsten, wenn die Lehrkraft eine moderierende Rolle einnimmt (Hillmayr et al., 2017). Dass der Rolle der Lehrkraft bei der Bearbeitung der Lernumgebung eine große Bedeutung zukommt, zeigen auch die Befunde der Metastudie von Hillmayr et al. (2017).

Basierend auf den vorliegenden Forschungsergebnissen zeigt sich, dass die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Unterricht unter Berücksichtigung des situationalen Interesses eine große Herausforderung darstellt und dass weitere Forschungen in diesem Bereich nötig sind.

Die abhängige Variable „naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit“ wird in der vorliegenden Arbeit sehr eng definiert. Hieraus ergeben sich Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungen. Die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler wird in der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Fähigkeit, ein Argument strukturell nach dem Basisschema von Toulmin (Abbildung 3) zu konstruieren, analysiert. Eine erneute Kodierung der Argumente im Hinblick auf die inhaltliche Gültigkeit kann die Befunde der vorliegenden Arbeit ergänzen. Es könnte ein möglicher Zusammenhang zwischen der Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler ein Argument strukturell richtig zu konstruieren, und der inhaltlichen Gültigkeit eines Arguments hergestellt werden. Ebenfalls von Interesse wäre eine Analyse des Zusammenhangs zwischen dem situationalen Interesse und der Fähigkeit, ein Argument inhaltlich gültig zu konstruieren, beziehungsweise der Auswirkungen des situationalen Interesses auf diese Fähigkeit. Diese Analyse könnte neue Befunde zur bisher bekannten Relevanz des situationalen Interesses für den Lernerfolg und die naturwissenschaftliche Grundbildung liefern (Boekaerts et al. 2000; Schiefele, 2009; Schiepe-Tiska et al., 2013).

Inwiefern das situationale Interesse und das Autonomie- und Kompetenzerleben Auswirkungen auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit haben, kann in der vorliegenden Arbeit nicht hinreichend beantwortet werden. Besonders die Befunde zum Autonomie- und Kompetenzerleben indizieren mögliche Effekte, so dass weitere Analysen hier aufschlussreiche Ergebnisse liefern könnten.

Relevant für die Förderung des situationalen Interesses sowie des Autonomie- und Kompetenzerlebens und somit auch für die Förderung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit scheinen zukünftige Forschungen zu sein, die sich intensiv mit der Gestaltung der unterschiedlich strukturierten Prompts auseinandersetzen. In Kapitel 8.2.3.1. werden die Möglichkeiten diskutiert, dass die unterschiedlich strukturierten Prompts des Treatments A (strukturierte Prompts) und des Treatments B (unstrukturierte Prompts) nicht differenziert genug waren und/oder die Schülerinnen und Schüler die Inhalte der Prompts nicht verstanden haben. Hier gilt es im Rahmen der Annahmen der *Aptitude-Treatment-Interaktion* (Kapitel 3.3.1) herauszufinden, welche Art der Strukturierung den Lernenden aufgrund ihrer individuellen Eingangsvoraussetzungen beim Kompetenzerwerb unterstützt. Entsprechend sollte auch eine vertiefte Analyse der individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler erfolgen.

Aufgrund der vorliegenden Befunde zum „*Outfading*“ der Prompts sollte ergänzend untersucht werden, zu welchem Zeitpunkt und unter welchen Voraussetzungen ein „*Outfading*“ der unterschiedlich strukturierten Prompts stattfinden kann und sollte, um die Schülerinnen und Schüler in der Entwicklung ihrer naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit, aber auch in ihrem Autonomie- und Kompetenzerleben zu fördern.

Insgesamt wäre es angeraten, die Auswirkungen von unterschiedlich strukturierten Prompts auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit und das situationale Interesse in weiteren Unterrichtsfächern zu variierenden naturwissenschaftlichen Themen zu analysieren, um mehr Einblick in die Generalisierbarkeit und Gültigkeit der Befunde zu erlangen.

Grundsätzlich ist es allerdings aufgrund der geringen Stichprobengröße notwendig, die gefundenen Befunde mittels eines größeren Stichprobenumfangs zu überprüfen. Zur Sicherung der Stichprobengröße ist es auf der Grundlage der vorliegenden Befunde (Kapitel 8.2.4.1.) notwendig, dass die Lehrkräfte noch stärker auf ihre moderierende Rolle beim Einsatz von digitalen Lernangeboten geschult werden (Hillmayr et al., 2017; Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, 2017, 2018). Um weitere Informationen zu der Rolle der Lehrkräfte und deren Einstellung gegenüber der Lernumgebung sowie der Studie zu erhalten, sollten diese Aspekte zusätzlich erfasst werden.

## 8.5. Fazit

Basierend auf den vorliegenden Forschungsergebnissen bestätigt sich, dass die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit im Unterricht unter Berücksichtigung des situationalen Interesses eine große Herausforderung darstellt.

Zwar ist es der Dissertation nicht gelungen, eindeutig Faktoren zu identifizieren, die den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit und des situationalen Interesses begünstigen. Dennoch liefert die vorliegende Arbeit relevante Informationen, wie Rahmenbedingungen gestaltet werden müssen, um digitale Lernumgebungen gewinnbringend in den Unterricht zu implementieren. Darüber hinaus liefert die Arbeit erste Indikatoren zu den Auswirkungen und dem Zusammenhang des situationalen Interesses auf die naturwissenschaftliche Argumentationsfähigkeit.

Für Lehrkräfte sowie für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gilt es weiterhin nach Wegen, Ansätzen und Bedingungen zu suchen, die den Erwerb der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit unterstützen und das situationale Interesse fördern. Die vorliegende Arbeit liefert wertvolle Anknüpfungspunkte dafür.

## 9. Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419. doi: 10.1002/sce.10118
- Aberson, C. (2002). Interpreting Null Results: Improving Presentation and Conclusions with Confidence Intervals. *Journal for Articles in Support of the Null Hypothesis*, 1(3), 36–42.
- Ainley, M., Hidi, S., & Berndorff, D. (2002). Interest, learning, and the psychological processes that mediate their relationship. *Journal of Educational Psychology*, 94(3), 545–561. doi: 10.1037//0022-0663.94.3.545
- Anderson, R. D. (2007). Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 807–830). Mahwah, N.J.: Erlbaum.
- Ball, W. J. (1994). Using Virgil to Analyze Public Policy Arguments: A System Based on Toulmin's Informal Logic. *Social Science Computer Review*, 12(1), 26–37. doi: 10.1177/089443939401200102
- Bandura, A. (2000). *Self-efficacy. The Exercise of Control*. New York: Freeman.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Clausen, M., Hosenfeld, I., Neubrand, J., ... Jungclaus, H. (1998). *Testaufgaben Naturwissenschaften TIMSS 7./8. Klasse (Population 2)*. (W. Günther, Ed.). Berlin: Max-Planck-Inst. für Bildungsforschung.
- Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus. (2009). *Fach-/Jahrgangsstufenlehrplan Physik Jgst. 10*. Wolnzach: Kastner ISB. Retrieved from <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/content/serv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26439>
- Bell, P. (2004). Promoting students' argument construction and collaborative debate in the science classroom. *Internet Environments for Science Education*, 115–143.
- Blackburn, S. (2005). *The Oxford dictionary of philosophy*. OUP Oxford.
- Boekaerts, M., Pintrich, P. R., & Zeidner, M. (Eds.). (2000). *Handbook of Self-Regulation*. San Diego, California: Academic Press.
- Bond, T., & Fox, C. (2007). *Applying the Rasch model: Fundamental measurement in the human sciences*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Ass.

- Boone, W. J., Staver, J. R., & Yale, M. S. (2014). *Rasch Analysis in the Human Science*. New York, NY: Springer New York.
- Bortz, J., & Döring, N. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Bybee, R., McCrae, B., & Laurie, R. (2009). PISA 2006: An assessment of scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 865–883. doi: 10.1002/tea.20333
- Chin, C., & Osborne, J. (2010). Students' questions and discursive interaction: Their impact on argumentation during collaborative group discussions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 883–908. doi: 10.1002/tea.20385
- Dawson, V., & Venville, G. J. (2009). High-school Students' Informal Reasoning and Argumentation about Biotechnology: An indicator of scientific literacy? *International Journal of Science Education*, 31(11), 1421–1445. doi: 10.1080/09500690801992870
- Deci, E., & Moller, A. C. (2005). The Concept of Competence: A Starting Place for Understanding Intrinsic Motivation and Self-Determined Motivation. In A. J. Elliot & C. S. Dweck (Eds.), *Handbook of Competence and Motivation* (pp. 579–597). New York: Guilford Press.
- Deci, E., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York, NY: Plenum Press.
- Deci, E., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift Für Pädagogik*, 39(2), 223–289.
- Deci, E., & Ryan, R. M. (2000). The “What” and “Why” of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behaviour. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268.
- Deci, E., & Ryan, R. M. (2002). *Handbook of Self-Determination research*. Rochester: University of Rochester Press.
- Denkovski, P. (2016). *Analyse von schriftlichen Argumentationen von Schülerinnen und Schülern zum Thema Schwarze Löcher*. Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Deutsches PISA-Konsortium (Ed.). (2004). *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland-Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.

- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (2008). *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation*. Sense Publishers.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., Shouse, A. W., National Research Council (U.S.), National Research Council (U.S.), & National Research Council (U.S.) (Eds.). (2007). *Taking science to school: learning and teaching science in grades K-8*. Washington, D.C: National Academies Press.
- Elliot, J. A., McGregor, H. A., & Trash, T. M. (2002). The Need for Competence. In E. Deci & R. M. Ryan (Eds.), *Handbook of Self-Determination Research* (pp. 361–387). Rochester: University of Rochester Press.
- Enders, C. K. (2010). *Applied missing data analysis*. New York: Guilford Press.
- Erduran, S. (2008). Methodological Foundations in the Study of Argumentation in Science Classrooms. In S. Erduran & M. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 47–69). Springer.
- Erduran, S., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (Eds.). (2007). *Argumentation in Science Education* (Vol. 35). Dordrecht: Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-1-4020-6670-2
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915–933. doi: 10.1002/sci.20012
- Fleischhauer, J. (2013). *Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik*. Logos, Berlin.
- Franco, A., Malhotra, N., & Simonovits, G. (2014). Publication bias in the social sciences: Unlocking the file drawer. *Science*, 345(6203), 1502–1505. doi: 10.1126/science.1255484
- Frey, A., & Asseburg, R. (Eds.). (2009). *PISA-2006-Skalenhandbuch: Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.
- Friege, G., & Lind, G. (2004). Leistungsmessung im Leistungskurs. *Der Mathematische Und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 57(5), 259–265.
- Glogger, I., Holzäpfel, L., Schwonke, R., Nückles, M., & Renkl, A. (2009). Activation of Learning Strategies in Writing Learning Journals: The Specificity of Prompts Matters. *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 95–104. doi: 10.1024/1010-0652.23.2.95

- Gromadecki, U. (2009). *Argumente in physikalischen Kontexten: welche Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend?* Berlin: Logos Verl. Berlin.
- Große, C. S., & Renkl, A. (2007). Finding and fixing errors in worked examples: Can this foster learning outcomes? *Learning and Instruction*, 17(6), 612–634. doi: 10.1016/j.learninstruc.2007.09.008
- Gudjons, H. (2011). *Frontalunterricht - neu entdeckt: Integration in offene Unterrichtsformen* (3., aktualisierte Aufl). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hefter, M. H., Berthold, K., Renkl, A., Riess, W., Schmid, S., & Fries, S. (2014). Effects of a training intervention to foster argumentation skills while processing conflicting scientific positions. *Instructional Science*, 42(6), 929–947. doi: 10.1007/s11251-014-9320-y
- Hertel, S., & Klieme, E. (Eds.). (2014). *PISA 2009 Skalenhandbuch*. Münster: Waxmann.
- Hidi, S. (2000). An Interest Researcher's Perspective on the effect of Extrinsic and Intrinsic Factors on Motivation. In C. Sansone & J. M. Harackiewicz (Eds.), *Intrinsic and Extrinsic Motivation. The Search for Optimal Motivation and Performance* (pp. 309–339). San Diego, California: Academic Press.
- Hidi, S. (2006). Interest: A unique motivational variable. *Educational Research Review*, 1(2), 69–82.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The Four-Phase Model of Interest Development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111–127.
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., & Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe: Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. (Zentrum für Internationale Vergleichsstudien, Ed.). Münster New York: Waxmann.
- Hogan, K., & Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 663–687.
- Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2009). The Meaning of Scientific Literacy. *International Journal of Environmental and Science Education*, (4), 275–288.
- Jiménez-Aleixandre, M., & Erduran, S. (2008a). Argumentation in Science Education: An Overview. In S. Erduran & M. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education* (pp. 3–28). Dordrecht: Springer
- Jiménez-Aleixandre, M., & Erduran, S. (Eds.). (2008b). *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Springer.

- Jiménez-Aleixandre, M., & López Álvarez, A. (2009). *Resources for introducing argumentation and the use of evidence in science classrooms*. Santiago de Compostela: Danú.
- Kalyuga, S. (2007). Expertise Reversal Effect and Its Implications for Learner-Tailored Instruction. *Educational Psychology Review*, 19(4), 509–539. doi: 10.1007/s10648-007-9054-3
- Kelly, G. J., Druker, S., & Chen, C. (1998). Students' reasoning about electricity: combining performance assessments with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 20(7), 849–871. doi: 10.1080/0950069980200707
- Kelly, G. J., & Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314–342. doi: 10.1002/sce.10024
- Keogh, B., & Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: an evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431–446. doi: 10.1080/095006999290642
- Klauer, K. J., & Leutner, D. (2012). *Lehren und Lernen: Einführung in die Instruktionspsychologie* (2., überarb. Aufl). Weinheim: Beltz.
- Knittel, C., & Mikelskis-Seifert, S. (2010). Argumentationsfähigkeit der Lehramtsstudierenden im Fach Physik - Eine Hypothesen generierende Studie. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Konrad, K. (2014). Kooperatives Lernen. In K. Konrad, *Lernen lernen – allein und mit anderen* (pp. 79–87). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. doi: 10.1007/978-3-658-04986-7\_8
- Koslowski, B. (1996). *Theory and Evidence: The Development of Scientific Reasoning*. MIT Press.
- Krapp, A. (1998). Interesse. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (pp. 213–219). Weinheim: Beltz.
- Krapp, A. (2002a). An educational-psychological theory of interest and its relation to self-determination theory. In E. Deci & R. M. Ryan (Eds.), *The handbook of self-determination research* (pp. 405–427). Rochester: University of Rochester Press.
- Krapp, A. (2002b). Structural and Dynamic Aspects of Interest Development: Theoretical Considerations from an Ontogenetic Perspective. *Learning and Instruction*, 12(4), 383–409. doi: 10.1016/S0959-4752(01)00011-1

- Krapp, A., Geyer, C., & Lewalter, D. (2014). Motivation und Emotion. In T. Seidel & A. Krapp (Eds.), *Pädagogische Psychologie* (6th ed., pp. 193–219). Beltz.
- Krapp, A., & Prenzel, M. (1992). Interesse, Lernen, Leistung. *Neuere Ansätze Der Pädagogisch Psychologischen Interessenforschung*. Münster.
- Kraus, M., & von Aufschnaiter, C. (2005). Physikalisch argumentieren lernen. Methoden zur Förderung der diskursiven Kompetenz. *Unterricht Physik*, 87, 32–37.
- Krüger, D., Parchmann, I., & Schecker, H. (2013). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583. doi: 10.2307/2280779
- Kück, A. (2014). *Unterrichten mit dem Flipped-Classroom-Konzept: das Handbuch für individualisiertes und selbstständiges Lernen mit neuen Medien*. Mülheim an der Ruhr: Verlag an der Ruhr.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319–337. doi: 10.1002/sce.3730770306
- Kuhn, D., Amsel, E., O'Loughlin, M., Schauble, L., Leadbeater, B., & Yotive, W. (1988). *The development of scientific thinking skills* (Vol. 11). San Diego, CA, US: Academic Press.
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84(1), 71–94. doi: 10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C
- Leach, J., Millar, R., Ryder, J., & Séré, M.-G. (2000). Epistemological understanding in science learning: The consistency of representations across contexts. *Learning and Instruction*, 10(6), 497–527.
- Leutner, D., Opfermann, M., & Schmeck, A. (2014). Lernen mit Medien. In T. Seidel & A. Krapp (Eds.), *Pädagogische Psychologie* (6th ed., pp. 297–322). Weinheim und Basel: Beltz.
- Leutner, D., & Wirth, J. (2018). Instruktionspsychologie. In D. H. Rost, J. R. Sparfeldt, & S. R. Buch (Eds.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5th ed., pp. 269–278). Weinheim Basel: Beltz.

- Lewalter, D., & Knogler, M. (2014). A questionnaire to assess situational interest – theoretical considerations and findings (Poster). Presented at the 50th Annual Meeting of the American Educational Research Association (AERA), Philadelphia, USA.
- Lewalter, D., & Schreyer, I. (2000). Entwicklung von Interessen und Abneigungen - zwei Seiten einer Medaille. In U. Schiefele & K. P. Wild (Eds.), *Interesse und Lernmotivationa* (pp. 53–72). Münster: Waxmann.
- Lewalter, D., & Willems, A. S. (2009). Die Bedeutung des motivationsrelevanten Erlebens und des individuellen Fachinteresses für das situationale Interesse im Mathematikunterricht. *Psychologie in Erziehung Und Unterricht*, (56), 243–257.
- Linnenbrink-Garcia, L., Durik, A. M., Conley, A. M., Barron, K. E., Tauer, J. M., Karabenick, S. A., & Harackiewicz, J. M. (2010). Measuring Situational Interest in Academic Domains. *Educational and Psychological Measurement*, 70(4), 647–671. doi: 10.1177/0013164409355699
- Little, R. J. (1988). A test of missing completely at random for multivariate data with missing values. *Journal of the American Statistical Association*, 83(404), 1198–1202.
- Lüdtke, O., Robitzsch, A., Trautwein, U., & Köller, O. (2007). Umgang mit fehlenden Werten in der psychologischen Forschung. *Psychologische Rundschau*, 58(2), 103–117. doi: 10.1026/0033-3042.58.2.103
- Ludwig, T. (2017). *Argumentieren beim Experimentieren in der Physik - Die Bedeutung personaler und situationaler Faktoren*. Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin. doi: 10.18452/18408
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–60. doi: 10.1214/aoms/1177730491
- Means, M. L., & Voss, J. F. (1996). Who reasons well? Two studies of informal reasoning among children of different grade, ability, and knowledge levels. *Cognition and Instruction*, 14(2), 139–178.
- Millar, R. (2008). “Scientific literacy” and its implications as a curriculum aim. In S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband, & M. Brückmann (Eds.), *Four Decades of Research in Science Education - from Curriculum Development to Quality Improvement* (pp. 43–55). Münster: Waxmann.

- Mitchell, M. (1993). Situational interest: Its multifaceted structure in the secondary school mathematics classroom. *Journal of Educational Psychology*, 85(3), 424–436. doi: 10.1037/0022-0663.85.3.424
- Mittelsten Scheid, N., & Hössle, C. (2008). Wie Schüler unter Verwendung syllogistischer Elemente argumentieren - Eine empirische Studie zu Niveaus von Argumentation im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, (14), 145–165.
- Neubauer, K. (2015). *Unterstützung naturwissenschaftlicher Grundbildung durch Schulklassenbesuche in naturwissenschaftlich-technischen Museen*. Technische Universität München, München.
- Neubauer, K., Geyer, C., & Lewalter, D. (2014). Bedeutung der basic needs für das situationale Interesse bei Museumsbesuchen mit unterschiedlichen Instruktionsdesigns. *Psychologie in Erziehung Und Unterricht*, 61(1), 28. doi: 10.2378/peu2014.art04d
- Neumann, K. (2014). Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Eds.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553–576. doi: 10.1080/095006999290570
- Niemiec, C. P., & Ryan, R. M. (2009). Autonomy, competence, and relatedness in the classroom: Applying self-determination theory to educational practice. *School Field*, 7(2), 133–144. doi: 10.1177/1477878509104318
- Nückles, M., Hübner, S., Glogger, I., Holzäpfel, L., Schwonke, R., & Renkl, A. (2010). Selbstreguliert lernen durch Schreiben von Lerntagebüchern. In M. Gläser-Zikuda (Ed.), *Lerntagebuch und Portfolio aus empirischer Sicht* (pp. 35–58). Landau: Empirische Pädagogik e.V.
- OECD (Ed.). (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: a framework for PISA 2006*. Paris: OECD.
- OECD (Ed.). (2007). *PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World*. Paris: OECD.
- OECD. (2013). *PISA 2012 assessment and analytical framework: Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*. Paris: OECD.

- Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328(5977), 463–466. doi: 10.1126/science.1183944
- Osborne, J., & Collins, S. (2001). Pupils' views of the role and value of the science curriculum: a focus-group study. *International Journal of Science Education*, 23(5), 441–467.
- Osborne, J., Erduran, S., Simon, S., & Monk, M. (2001). Enhancing the quality of argument in school science. *School Science Review*, 82(301), 63–70.
- Osborne, J., Erduran, Sibel, & Simon, S. (2004). IDEAS - Ideas, Evidence & Argument in Science. Ressources Pack.
- Osborne, J., & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95(4), 627–638. doi: 10.1002/sce.20438
- Osborne, J., Simon, S., Christodoulou, A., Howell-Richardson, C., & Richardson, K. (2013). Learning to Argue: A Study of Four Schools and Their Attempt to Develop the Use of Argumentation as a Common Instructional Practice and its Impact on Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(3), 315–347. doi: 10.1002/tea.21073
- Picard, C., & Imhof, M. (2010). Prompts zur Anleitung tiefenorientierten Schreibens in Lerntagebüchern und Portfolios. In M. Gläser-Zikuda (Ed.), *Lerntagebuch und Portfolio aus empirischer Sicht* (pp. 59–80). Landau: Empirische Pädagogik e.V.
- Prenzel, M. (1997). Sechs Möglichkeiten, Lernende zu demotivieren. *Wege Zum Können. Determinanten Des Kompetenzerwerbs*, 32–44.
- Prenzel, M., Krapp, A., & Schiefele, U. (1986). Grundzüge einer pädagogischen Interessenstheorie. *Zeitschrift Für Pädagogik*, 32, 163–173.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P., & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In Deutsches PISA-Konsortium, J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, M. Weiß (Eds.), *PISA 2000* (pp. 191–248). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. doi: 10.1007/978-3-322-83412-6\_6
- Prenzel, M., Schöps, K., Rönnebeck, S., Walter, O., Carstensen, C., & Hammann, M. (2007). Naturwissenschaftliche Kompetenz im internationalem Vergleich. In Deutsches PISA-Konsortium & M. Prenzel (Eds.), *PISA 2006: Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie* (pp. 63–105). Münster: Waxmann.

- Rakoczy, K., Klieme, E., Drollinger-Vetter, B., Lipowsky, F., Pauli, C., & Reusser, K. (2007). Structure as a Quality Feature in Mathematics Instruction. Cognitive and Motivational Effects of a Structured Organisation of the Learning Environment vs. a Structured Presentation of Learning Content. In M. Prenzel (Ed.), *Studies on the educational quality of schools: The final report on the DFG Priority Programme* (pp. 101–120). Münster: Waxmann.
- Renninger, K. A. (2000). Individual Interest and Its Implications for Understanding Intrinsic Motivation. In C. Sansone & J. M. Harackiewicz (Eds.), *Intrinsic and Extrinsic Motivation. The Search for Optimal Motivation and Performance* (pp. 375–407). San Diego, California: Academic Press.
- Riemeier, T., von Aufschnaiter, C., Fleischhauer, J., & Rogge, C. (2012). Argumentationen von Schülern prozessbasiert analysieren: Ansatz, Vorgehen, Befunde und Implikationen. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 18, 181–200.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific Literacy/Science Literacy. In *Handbook of Research on Science Education* (pp. 729–780). Mahwah, N.J.: Erlbaum.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie - Testkonstruktion*. Bern: Huber.
- Rubin, D. B. (1976). Inference and missing data. *Biometrika*, 63(3), 581–592. doi: 10.1093/biomet/63.3.581
- Rubin, D. B. (1996). Multiple Imputation after 18+ Years. *Journal of the American Statistical Association*, 91(434), 473–489. doi: 10.1080/01621459.1996.10476908
- Rubin, D. B., & Little, R. J. (2002). *Statistical analysis with missing data* (2nd ed). Hoboken, N.J: Wiley.
- Ryan, R. M. (1995). Psychological Needs and the Facilitation of Integrative Processes. *Journal of Personality*, 63(3), 397–427. doi: 10.1111/j.1467-6494.1995.tb00501.x
- Sadler, T. D., & Fowler, S. R. (2006). A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation. *Science Education*, 90(6), 986–1004. doi: 10.1002/sce.20165
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2004). The morality of socioscientific issues: Construal and resolution of genetic engineering dilemmas. *Science Education*, 88(1), 4–27.
- Sainani, K. (2013). Interpreting “Null” Results. *PM&R*, 5(6), 520–523. doi: 10.1016/j.pmrj.2013.05.003

- Sampson, V., & Clark, D. (2006). Assessment of Argument in Science Education: A Critical Review of the Literature. In *ICLS '06 Proceedings of the 7th international conference on Learning sciences* (pp. 655–661). Mahwah, NJ: International Society of the Learning Sciences; Distributed by L. Erlbaum Associates.
- Sampson, V., & Clark, D. B. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, 92(3), 447–472. doi: 10.1002/sce.20276
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The Quality of Students' Use of Evidence in Written Scientific Explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23–55. doi: 10.1207/s1532690xci2301\_2
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2008). What can argumentation tell us about epistemology? In S. Erduran & M. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education* (pp. 71–88). Dordrecht: Springer
- Schafer, J. L., & Graham, J. W. (2002). Missing data: Our View of the State of the Art. *Psychological Methods*, 7(2), 147–177. doi: 10.1037//1082-989X.7.2.147
- Schiefele, U. (2009a). Motivation. In E. Wild & J. Möller (Eds.), *Pädagogische Psychologie* (pp. 151–177). Berlin: Springer.
- Schiefele, U. (2009b). Situational and Individual Interest. In K. Wentzel, A. Wigfield, & D. Miele (Eds.), *Handbook of Motivation at School* (pp. 197–222). Routledge.
- Schiefele, U., & Heinen, S. (2006). Wissenserwerb und Motivation. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Schiefele, U., & Köller, O. (2006). Intrinsische und extrinsische Motivation. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (pp. 303–310). Weinheim: Beltz.
- Schiepe-Tiska, A., Schöps, K., Köller, O., & Prenzel, M. (2013). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2012: Ergebnisse und Herausforderungen. In M. Prenzel, *PISA 2012: Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland* (pp. 189–215). Münster: Waxmann.
- Schilling, S. R., Rost, D. H., & Sparfeldt, J. R. (2004). Schulfachspezifische Interessen - ökonomisch gemessen. *Psychologie in Erziehung Und Unterricht*, 51(3), 213–220.

- Schmidt-Weigand, F., Hänze, M., & Wodzinski, R. (2009). Complex Problem Solving and Worked Examples: The Role of Prompting Strategic Behavior and Fading-in Solution Steps. *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 129–138. doi: 10.1024/1010-0652.23.2.129
- Schwarz, B., Neumann, Y., Gil, J., & Ilya, M. (2003). Construction of collective and individual knowledge in argumentative activity. *Journal of the Learning Sciences*, 12(2), 219–256.
- Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (1999). *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen: Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen*. Berlin: Freie Universität Berlin.
- Schworm, S., & Renkl, A. (2007). Learning argumentation skills through the use of prompts for self-explaining examples. *Journal of Educational Psychology*, 99(2), 285–296. doi: 10.1037/0022-0663.99.2.285
- Seidel, T., & Krapp, A. (Eds.). (2014). *Pädagogische Psychologie* (6. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Seidel, T., Prenzel, M., & Rimmel, R. (2005). Clarity and Coherence of lesson goals as a scaffold for student learning. *Learning and Instruction*, 15, 539–556.
- Seufert, T., Schütze, M., & Brünken, R. (2009). Memory characteristics and modality in multimedia learning: An aptitude–treatment–interaction study. *Learning and Instruction*, 19(1), 28–42. doi: 10.1016/j.learninstruc.2008.01.002
- Silvia, P. J. (2005). What is interesting? Exploring the appraisal structure of interest. *Emotion*, 5(1), 89–102.
- Simon, S., Erduran, S., & Osborne, J. (2006). Learning to Teach Argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2–3), 235–260. doi: 10.1080/09500690500336957
- Simosi, M. (2003). Using Toulmin’s Framework for the Analysis of Everyday Argumentation: Some Methodological Considerations. *Argumentation*, 17(2), 185–202.
- Snow, R. E. (1977). Individual Differences and Instructional Theory. *Educational Researcher*, 6(10), 11–15. doi: 10.3102/0013189X006010011
- Spearman, C. (1910). Correlation calculated from faulty data. *British Journal of Psychology*, 1904-1920, 3(3), 271–295. doi: 10.1111/j.2044-8295.1910.tb00206.x

- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. München; Neuwied: Luchterhand.
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. München; Neuwied: Luchterhand.
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München; Neuwied: Luchterhand.
- Sterling, T. D. (1959). Publication decisions and their possible effects on inferences drawn from tests of significance—Or vice versa. *Journal of American Statistical Association*, *54*, 30–34.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011a). The Expertise Reversal Effect. In *Cognitive Load Theory* (pp. 155–170). New York, NY: Springer New York. doi: 10.1007/978-1-4419-8126-4\_12
- Sweller, J., Ayres, P. L., & Kalyuga, S. (2011b). *Cognitive load theory*. New York: Springer.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, *10*(3), 251–296.
- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J., & Leutner, D. (2009). Is it Merely a Question of “What” to Prompt or Also “When” to Prompt?: The Role of Point of Presentation Time of Prompts in Self-Regulated Learning. *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie*, *23*(2), 105–115. doi: 10.1024/1010-0652.23.2.105
- Toulmin, S. E. (1958). *The uses of argument*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument*. Cambridge, U.K.; New York: Cambridge University Press.
- van Eemeren, F. H., & Grootendorst, R. (2004). *A Systematic Theory of Argumentation: The pragma-dialectical approach*. Cambridge University Press.
- Van Meter, P. N., Cameron, C., & Waters, J. R. (2017). Effects of response prompts and diagram comprehension ability on text and diagram learning in a college biology course. *Learning and Instruction*, *49*, 188–198. doi: 10.1016/j.learninstruc.2017.01.003

- Venkatesh, V. (2000). Determinants of perceived ease of use: Integrating control, intrinsic motivation, and emotion into the technology acceptance model. *Information Systems Research*, 11(4), 342–365.
- Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (Ed.). (2017). *Digitale Bildung an bayerischen Schulen - Infrastruktur, Konzepte, Lehrerbildung und Unterricht*. München.
- Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (Ed.). (2018). Gutachten 2018: *Digitale Souveränität und Bildung*. Münster: Waxmann.
- Voss, J. F., & Means, M. L. (1991). Learning to reason via instruction in argumentation. *Learning and Instruction*, 1(4), 337–350. doi: 10.1016/0959-4752(91)90013-X
- Wächter, M., & Kauertz, A. (2013). Förderung argumentativer Fähigkeiten im Physikunterricht. Tagungsband der Jahrestagung der Gesellschaft für Chemie und Physik In S. Bernholt (Ed.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen* (pp. 605–607). Hannover.
- Warm, T. (1989). Weighted likelihood estimation of ability in item response theory. *Psychometrika*, (54), 427–450.
- Weinert, F. E. (1996). Lerntheorien und Instruktionsmodelle. In F. E. Weinert (Ed.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (Vol. 2, pp. 1–48). Göttingen; Seattle: Hogrefe.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen-eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Ed.), *Leistungsmessungen in Schulen* (pp. 17–32). Weinheim und Basel: Beltz.
- Wenzel, J. W. (1992). *Perspectives on argument*. Berlin.
- Widodo, A., & Duit, R. (2002). Conceptual Change Views and the Reality of Classroom Practice. In *Third European Symposium on Conceptual Change*. Turku, Finland.
- Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80. doi: 10.2307/3001968
- Willems, A. S. (2011). *Bedingungen des situationalen Interesses im Mathematikunterricht: eine mehrebenenanalytische Perspektive*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. (2009). Promoting Self-Regulated Learning Through Prompts. *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 91–94. doi: 10.1024/1010-0652.23.2.91
- Zander, S. (2016). *Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen*. Berlin: Logos Verlag.

- Zander, S., Krabbe, H., & Fischer, H. (2012). Entwicklung eines Fachwissenstests zur Mechanik für die Sekundarstufe I. In S. Bernholt (Ed.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht* (Vol. 32, pp. 176–178). Berlin: LIT Verlag.
- Zimmer, C. (2015). *Analyse der Argumentierkompetenz von Schülerinnen und Schülern am Beispiel des Planspiels „Energetingen“* (Unveröffentlichte Bachelorarbeit). Technische Universität München, München.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35–62. doi: 10.1002/tea.10008

# 10. Anhang

## Anhang 1: „ArguKos“ Unterrichtsmaterial



TUM School of Education  
Professur für Gymnasialpädagogik

### **Projekt „ArguKos – Argumentieren lernen in der Kosmologie“**

**- Unterrichtsmaterial -**

In Zusammenarbeit mit:

**Hans Böckler  
Stiftung** 

## Arbeiten mit diesem Kurs

Dieser Text ist eine kurze Anleitung, wie Du in diesem Kurs arbeiten kannst.

Der Kurs ist so konzipiert, dass Du Dir selbstständig Wissen rund um das Thema „Schwarze Löcher“ und das naturwissenschaftliche Argumentieren aneignen kannst. Folgende Formate helfen Dir dabei:



### **Forum:**

Das Forum ersetzt deine Frage im Unterricht. Im Forum hast Du die Möglichkeit Fragen zu stellen und Antworten zu bekommen. Und nicht nur das! Wenn Du eine Antwort auf eine Frage hast, dann kannst Du diese hier auch ins Forum stellen. Bitte schreibe nur Sachen in das Forum, die zum Kurs passen.



### **Video:**

Dazu müssen wir Dir bestimmt nicht viel erklären: Ohrstöpsel rein und "play" drücken.



### **PDFs:**

Auf das PDF, fertig, los. Klicke auf das PDF und tauche ein in die Geheimnisse um das Schwarze Loch. In den PDFs lernst Du viel über das Thema, was Du danach für die Argumentationsaufgaben brauchen kannst.



### **Argumentationsaufgaben**

Die Argumentationsaufgaben warten immer am Ende einer Lerneinheit auf Dich. Du hast über die Online-Texteingabe die Möglichkeit auf die Fragen Deine eigenen Argumente zu formulieren. Wenn Du Deine Antwort abgegeben hast, siehst Du eine Musterlösung.



### **Weiterführende Informationen:**

Bei Dir lief es richtig gut? Du bist schneller fertig als gedacht? Oder das Thema interessiert dich einfach brennend? Dann findest du hier weitere Informationen zu den Themenbereichen. Viel Spaß beim recherchieren und stöbern!

**Jetzt aber: Viel Spaß in diesem Kurs!**

## Lernziele

Damit Du weißt, was in diesem Kurs auf Dich zukommt und was Du am Ende wissen solltest, haben wir hier für Dich eine Übersicht zusammengestellt.

Das Thema dreht sich um Schwarze Löcher und die Konzepte, die helfen zu erklären, was ein Schwarzes Loch überhaupt ist. Folgende Konzepte solltest Du am Ende des Kurses wissen und verstanden haben:

- Du kennst das Konzept der Gravitation und kannst diese auch in verschiedenen Kontexten berechnen.
- Du weißt, dass Licht im Rahmen von Einsteins „Lichtquantenhypothese“ als ein Fluss von Lichtteilchen aufgefasst werden kann.
- Du kannst erklären, wie es zu einem Gravitationslinseneffekt kommt.
- Du kannst begründen, warum ein schwarzes Loch Licht anziehen kann und erklären, warum schwarze Löcher als „schwarz“ bezeichnet werden.
- Du kennst den Schwarzschildradius und kannst diesen auch berechnen. .

Gleichzeitig beschäftigt sich der Kurs auch mit der naturwissenschaftlichen Argumentationsfähigkeit. Folgende Fähigkeiten solltest Du am Kursende erworben haben:

- Du kennst die drei notwendigen Bestandteile eines Arguments (Behauptung, Begründung und Schlussregel) und deren sinnhafte Verknüpfung miteinander.
- Du kannst die Bestandteile eines Argumentes identifizieren und das gesamte Argument auf Vollständigkeit und Verknüpfung prüfen.
- Du kannst adressatenspezifische Argumente formulieren.

Durch die Argumentationsaufgaben kannst Du dein Wissen und Können selbstständig überprüfen!



## Anhang 1.1. Unterrichtseinheit 1

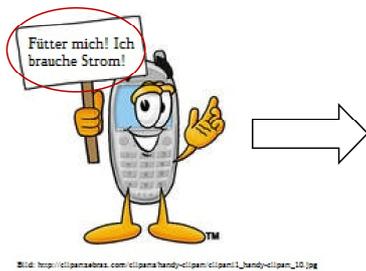
### „Naturwissenschaftliches Argumentieren“

Und was hat das mit mir zu tun?

Eine ganze Menge!



Ich enthalte Nanopartikel



Für uns muss jahrelang geforscht werden, damit wir wirken.

Naturwissenschaften umgeben dich überall. Genau wie Argumentationen. Diese können dir in folgenden Formen begegnen:



Für das naturwissenschaftliche Argumentieren gilt:

„Das Argumentieren ist eine zentrale naturwissenschaftliche Arbeitsweise zur Erkenntnisgewinnung. In Argumentationen vertreten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ihre Positionen und begründen diese. Dabei können die Argumente in Gesprächen und Vorträgen in mündlicher Form ausgetauscht werden. Aber auch schriftlich tauschen Forscher und Forscherinnen ihre Erkenntnisse und Positionen über Veröffentlichungen, E-Mails oder Briefe aus.“

Fleischhauer, J. (2013). *Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik*. Logos, Berlin.



# Video

Das Video kann auf Youtube unter <https://www.youtube.com/watch?v=ZsPnodnHwU4>  
(Stand 30.01.2018) abgerufen werden.

## Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 1

Auf dem Heimweg hörst du, wie sich zwei Mitschüler unterhalten. Der Schüler findet naturwissenschaftliches Wissen für seinen Alltag unnützlich. Von seiner Begleitung möchte er nun wissen, welches Argument sie dafür hat, dass naturwissenschaftliches Wissen für ihren Alltag wichtig ist.

„Naturwissenschaft und Technik prägen unseren Alltag. Wir nutzen z.B. Medikamente und Strom ohne zu wissen oder zu hinterfragen, wie sie funktionieren oder auf welchen generellen Prinzipien ihre Wirkung beruhen. Wenn wir volljährig sind, sollen wir vernünftige Entscheidungen treffen. Meine Lehrerin hat daher gesagt, dass es wichtig ist, dass wir naturwissenschaftliche Grundkenntnisse haben.“

Ist das Argument von der Schülerin überzeugend?

### **Treatment A:**

Entscheide Dich für eine Antwort „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Überlege Dir für diese Antwort, was aus dem Video zum naturwissenschaftlichen Argumentieren für Dein Argument relevant ist und was Du daraus folgern kannst. Welche Begriffe können für Dein Argument hilfreich sein? Nutze dieses Wissen und schreibe ein Argument mit den drei Bestandteilen (Behauptung, Begründung, Schlussregel).

### **Treatment B:**

Entscheide Dich für eine der Antworten „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Nutze bei der Entwicklung Deines Arguments die Videoinhalte, die Du gerade gesehen hast sowie mögliche Schlussfolgerungen die sich daraus ergeben. Berücksichtige die drei genannten Bestandteile eines Arguments.

### **Treatment C:**

Entscheide Dich für eine der Antworten „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

## Lösungsvorschlag für die erste Argumentationsaufgabe

### Behauptung:

Nein, das Argument ist nicht überzeugend.

### Fakt:

Nach der formalen Prüfung des Arguments fällt auf, dass der evidente Fakt fehlt. Damit kann die Schlussregel auch keine logische Verbindung zwischen Fakt und Behauptung herstellen.

### Schlussregel:

Die Aussage der Schülerin ist kein Argument, da die zwei Bestandteile Fakt und Behauptung fehlen. Auch die inhaltlichen Ausführungen können nicht überzeugen. Daher ist das Argument der Schülerin nicht überzeugend.

## Anhang 1.2. Unterrichtseinheit 2

### Was dich erwartet

In der letzten Unterrichtsstunde hast Du Dich mit den Funktionen des E-Learning-Kurses vertraut gemacht und etwas über das naturwissenschaftliche Argumentieren gelernt.

Ab dieser Unterrichtsstunde kommst Du dem „Schwarzen Loch“ immer näher. Dabei lernst Du Schritt für Schritt Konzepte kennen, die Dir helfen zu verstehen, was ein „Schwarzes Loch“ ist. Denn das fällt manchmal selbst Astrophysikern schwer.

In den Sprechblasen siehst Du, was Dich in den einzelnen Stunden erwarten wird:

#### 2 „Gravitation“ & „Licht hat Masse“

Im ersten Abschnitt lernst Du die Gravitation, eine Ursache für die Entstehung schwarze Löcher kennen und erfährst warum man annehmen kann, dass Licht eine Masse hat.

#### 3 „Lichtablenkung durch Gravitation“

In dieser Einheit erfährst Du warum Lichtwege nicht immer gradlinig verlaufen und unter welchen Bedingungen sie abgelenkt werden können.

Rund um das  
schwarze  
Loch

#### 5 „Schwarzschildradius“

Im letzten Abschnitt erfährst Du etwas über die unterschiedlichen Wirkungsbereiche schwarzer Löcher.

#### 4 „Schwarzes Loch“

Hier lernst Du wesentliche Merkmale von Schwarzen Löchern kennen und erfährst warum sie als „schwarz“ bezeichnet werden.

## Gravitation – Massen ziehen sich an

Isaac Newton nahm an, dass der Fall eines Apfels von einem Baum die gleiche Ursache hat wie die Bewegung der Erde um die Sonne. Diese Ursache nannte er Gravitation. Gravitation ist die Eigenschaft von Objekten, die Masse haben, sich gegenseitig anzuziehen.

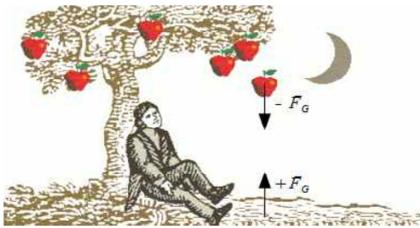


Abbildung: Die Pfeile verdeutlichen, wie die Gravitationskraft  $F_G$  wechselseitig zwischen Apfel und Erde wirkt.

(Quelle: [http://wizard.webquests.ch/pics/upload/758/ne\\_wtonap2\\_400.gif](http://wizard.webquests.ch/pics/upload/758/ne_wtonap2_400.gif), letzter Zugriff: 17.11.2015)

Das bedeutet, dass nicht nur die Erde den Apfel anzieht, sondern auch umgekehrt: der Apfel zieht die Erde! Beide üben wechselseitig dieselbe anziehende Kraft, die *Gravitationskraft*, aus. Der Grund, weshalb die Erde dabei nicht merklich auf den Apfel fällt, liegt darin, dass der Apfel eine viel kleinere Masse als die Erde hat und bei gleicher Gravitationskraft stärker beschleunigt wird.

Warum fällt dann die Erde nicht auf die Sonne? Anders als der Apfel, der anfangs am Baum ruht, hat die Erde eine Bahngeschwindigkeit von ca. 107.000 km/h auf einer Ellipse um die Sonne. Wenn die Erde stillstehen würde, müsste sie tatsächlich aufgrund der Gravitationskraft und ihrer Masse, die viel kleiner ist als die der Sonne, direkt auf die Sonne fallen. Eben wegen der Gravitationskraft, die hierbei der Zentripetalkraft entspricht, wird die Erde auf ihrer Bahn gehalten und „fällt“ quasi um die Sonne herum.

Für den Betrag der Gravitationskraft  $F_G$  zwischen zwei Körpern der Massen  $m_1$  und  $m_2$  im Abstand  $r$  gilt:

$$\text{Newton'sches Gravitationsgesetz: } F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \text{ mit } G = 6,67408 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

$$\text{Einheit: } [F_G] = 1 \frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{s}^2} = 1 \text{N}$$

Die Proportionalitätskonstante  $G$  ist die sogenannte Gravitationskonstante. Die Formel sagt aus, dass die Gravitationskraft  $F_G$  proportional zu beiden Massen ist. Das heißt, je größer die Massen, desto größer auch die Gravitationskraft  $F_G$ . Und je größer der Abstand  $r$  zwischen den Massen, desto kleiner die Gravitationskraft.

## Licht hat Masse

Newton ging davon aus, dass die Masse von Objekten eine konstante Größe ist. Aber Albert Einstein konnte zeigen, dass die Masse eines ruhenden Körpers nicht dieselbe ist wie die, wenn der Körper in Bewegung ist. Bei kleinen Geschwindigkeiten aus dem Alltag macht der Unterschied so gut wie nichts aus, so dass Newtons Gesetze immer noch gelten. Aber bei großen Geschwindigkeiten, die vor allem sehr kleine Objekte erreichen können, wie z. B. Elektronen, macht es einen Unterschied. Die Masse von bewegten Körpern ist größer als die von ruhenden Körpern.

Einstein zeigte auch, dass sich die Größen Energie und Masse entsprechen. Das bedeutet für uns, dass alles, was Energie besitzt, auch Masse haben muss. Stellen wir uns nun Licht modellhaft als einen Fluss von vielen kleinen Energiekörperchen, sogenannte Photonen, vor. Sie breiten sich mit der Lichtgeschwindigkeit  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$  aus. So gesehen sind Photonen bewegte Körper mit Energie und haben daher auch Masse. Es lässt sich auch zeigen, dass sie in Ruhe keine Masse/keine Energie tragen und somit nicht existieren.

Die Annahme, dass Licht als ein Fluss von Lichtteilchen aufgefasst werden kann, ist heute bekannt als Einsteins „Lichtquantenhypothese“. Mit dieser Modellvorstellung können viele Phänomene der Physik erklärt werden, wie z. B. der *photoelektrische Effekt*, für dessen Erklärung Einstein 1922 den Nobelpreis erhielt.

## Aufgaben

1. Berechne die Gravitationskraft  $F_G$  im Abstand des Erddurchmessers  $d_E$  zwischen ...
  - a) ... zwei Menschen mit den Massen  $m_1$  und  $m_2$ .
  - b) ... einem Menschen mit  $m_1$  und der Erde mit  $m_E$ .
2. Bestimme das Verhältnis deiner Ergebnisse für  $F_G$  .

**Hinweis:** Nimm an, dass  $m_1 = m_2 = 70kg$ ,  $m_E = 6 \cdot 10^{24}kg$ ,  $d_E = 12.800km$

## Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 2

Sicher hast du schon mal gehört, dass in der Physik Licht auch mit Welleneigenschaften beschrieben wird. Es wird von elektromagnetischen Wellen mit bestimmten Wellenlängen gesprochen. Die Welleneigenschaften erklären ferner, warum Licht auch um Ecken gehen kann (Stichwort Beugung) und dass Licht sich gegenseitig verstärken und abschwächen kann (Stichwort Interferenz). In diesem Text wird nun aber von Licht mit Teilcheneigenschaften ausgegangen.

Damit stellt sich folgende Frage: Was ist Licht nun?

- a) eine Welle?
- b) ein Teilchen?
- c) Welle und Teilchen zugleich?
- d) weder Teilchen noch Welle?

### **Treatment A:**

Entscheide Dich für eine der Antworten a.-d. und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Überlege Dir für diese Antwort, was aus dem Text über Gravitation und die Masse von Licht für Dein Argument relevant ist und was Du daraus folgern kannst. Welche Begriffe können für Dein Argument hilfreich sein? Nutze dieses Wissen und schreibe ein Argument mit den drei Bestandteilen (Behauptung, Begründung, Schlussregel), wie Du es im Video zum naturwissenschaftlichen Argumentieren gelernt hast.

### **Treatment B:**

Entscheide Dich für eine der Antworten a.-d. und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Nutze bei der Entwicklung Deines Arguments die Textinhalte, die Du gerade gelesen hast sowie mögliche Schlussfolgerungen die sich daraus ergeben. Berücksichtige die Inhalte des Videos zum naturwissenschaftlichen Argumentieren und die drei genannten Bestandteile eines Arguments.

### **Treatment C:**

Entscheide Dich für eine der Antworten a.-d. und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

## Lösungsvorschlag für die Unterrichtseinheit 2

### 1. Lösung für die Rechenaufgaben

*Tipp für die Schülerinnen und Schüler: Kilometer in Meter umrechnen!*

Aufgabe 1:

$$\text{a) } F_G = \frac{6,67408 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot 70 \text{kg} \cdot 70 \text{kg}}{(12800000 \text{m})^2} \approx 2 \cdot 10^{-21} \text{N}$$

$$\text{b) } F_G = \frac{6,67408 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot 70 \text{kg} \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{kg}}{(12800000 \text{m})^2} \approx 171 \text{N}$$

Aufgabe 2:

$$\frac{171 \text{N}}{2 \cdot 10^{-21} \text{N}} = 8,55 \cdot 10^{22}$$

### 2. Lösungsvorschlag für die Argumentationsaufgabe

Behauptung:

Licht ist Welle und Teilchen zugleich.

Fakt:

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben in einem Experiment beobachtet, dass Licht Welleneigenschaften haben kann. In einem anderen Experiment hatte das Licht Teilcheneigenschaften.

Schlussregel:

Durch die mehrfache Wiederholung der Experimente konnten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bestätigen, dass je nachdem, welche Eigenschaft man misst, sich Licht sowohl wie ein Teilchen, als auch wie eine Welle verhalten kann und daher beides zugleich ist.



#### Weitere Informationen

[http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt\\_g03.html#grav](http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt_g03.html#grav)

[http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt\\_p04.html#phot](http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt_p04.html#phot)

<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/gravitationsgesetz-und-feld>

<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/wellenmodell-des-lichts>

(Links zuletzt am 17.06.2018 getestet)

## Anhang 1.3. Unterrichtseinheit 3

### Lichtablenkung durch Gravitation

Wie ihr in Text 1 erfahren habt, kann man sich Licht auch als einen Strom von Lichtteilchen, den Photonen, vorstellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit  $c$  bewegen. In diesem Zustand der Bewegung haben sie Masse und sind damit von der Gravitation beeinflussbar. Nichts kann sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit  $c$  bewegen. Daher ist  $c$  die maximale Geschwindigkeit, mit der sich Informationen übertragen lassen.

Bei so einer großen Geschwindigkeit braucht man sehr große Massen, um überhaupt einen Einfluss der Gravitation beobachten zu können.

Im Jahre 1919 gelang es Arthur Eddington bei einer Sonnenfinsternis, die Ablenkung von Licht durch die Gravitation der Sonne nachzuweisen (Abbildung rechts). An jenem Tag sollten Berechnungen zufolge die *Hyaden* (ein Sternhaufen im Sternbild *Stier*) hinter der Sonne liegen. Da sich der Mond im Augenblick einer Sonnenfinsternis vor der Sonne befindet, wird es so dunkel, dass man Sterne am Himmel sehen kann – auch unmittelbar in der Nähe der Sonne.

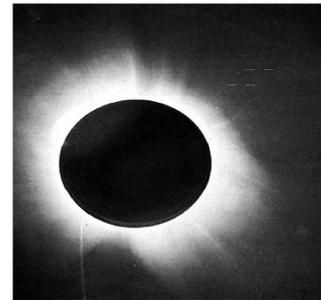


Abbildung: Ausschnitt einer Aufnahme der Sonnenfinsternis 1919.

(Quelle: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Solar\\_eclipse\\_of\\_May\\_1919](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Solar_eclipse_of_May_1919), letzter Zugriff: 18.11.2013.)

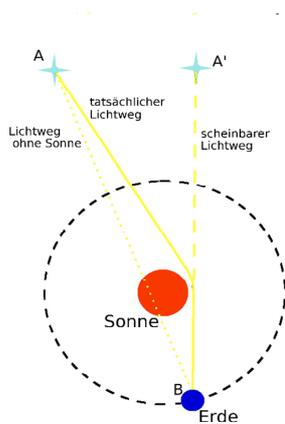


Abbildung: In übertriebener Darstellung: die Ablenkung eines Sternlichtbündels durch die Gravitation der Sonne. Zur Vereinfachung wurde ein einzelner Stern der Hyaden dargestellt und der Mond weggelassen.  
(verändert nach Tipler, Paul A. und Llewellyn, Ralph A.: *Moderne Physik*, 2. Auflage, München 2010, S.126.)

Abbildung links zeigt wie ein Lichtbündel eines Sterns der Hyaden in A nahe an der Sonne vorbeiläuft. Aufgrund der Gravitation zwischen Photonenmasse (Licht) und Sonnenmasse wird das Lichtbündel zur Sonne hin abgelenkt. So erreicht es den Beobachter in B auf der Erde. Das heißt, der Stern war für Eddington sichtbar! Für ihn sah es so aus, als wäre die Sternposition in A'. Wäre die Sonne zu jenem Zeitpunkt nicht in der Nähe gewesen, wäre der tatsächliche Lichtweg geradlinig von A nach B verlaufen und Eddington hätte den Stern in Position A gesehen.

Der Vergleich der beobachteten Sternposition A' und der genau berechneten tatsächlichen Sternposition A bestätigte Einsteins Vorhersage, dass sich Licht durch Gravitation ablenken lässt!

## Gravitationslinsen

Die Lichtablenkung durch Gravitation macht uns Dinge sichtbar, die wir ohne Gravitationswirkung gar nicht sehen könnten. Die moderne Astrophysik nutzt dieses Phänomen aus, um Erkenntnisse über weit entfernte Sterne und Galaxien zu gewinnen.

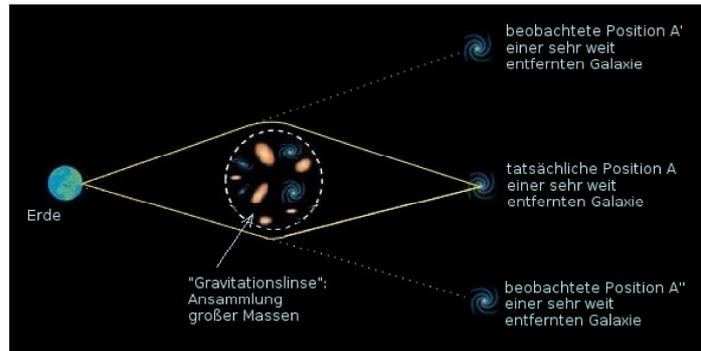


Abbildung: Schematische Darstellung des Gravitationslinseneffekts, Beispiel anhand zweier Lichtbündel, die von einer sehr weit entfernten Galaxie ausgehen.

(verändert nach: <http://www.der-kosmos.de/relativitaetstheorie.htm>, letzter Zugriff: 18.11.2015.)

Wenn sich eine Ansammlung großer Massen, z. B. näher gelegene Galaxien (Abbildung oben), zwischen Erde und einer viel weiter entfernten Galaxie befindet, so wird ihr Licht (dargestellt mit der durchgezogenen Linie) durch die Gravitationswirkung in Richtung der Massen abgelenkt. Für jedes abgelenkte Lichtbündel sieht der Beobachter auf der Erde eine andere scheinbare Position (hier: Position A' und A"). Dieser Effekt ist ähnlich wie bei einer optischen Linse, wobei die Gravitationslinse die Ansammlung großer Massen ist. Daher nennt man ihn Gravitationslinseneffekt.

### Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 3

Wenn du z. B. mit einer Sonnenfinsternisbrille hoch zur Sonne siehst, kannst du in dem Augenblick beobachten, was dort oben gerade vor sich geht. Es gibt aber Leute, die behaupten, dass wir wegen der Lichtgeschwindigkeit gar nicht sehen, was im Augenblick gerade auf der Sonne passiert. Wir sehen nur, was in der Vergangenheit dort passiert ist.

Damit stellt sich folgende Frage: Sehen wir nun beim Blick nach oben zur Sonne, was im Augenblick gerade auf der Sonne passiert oder sehen wir in die Vergangenheit?

**Treatment A:**

Entscheide Dich für eine der beiden Antworten und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Überlege Dir für diese Antwort, was aus dem Text über die Lichtgeschwindigkeit für Dein Argument relevant ist und was Du daraus folgern kannst. Welche Begriffe können für Dein Argument hilfreich sein? Nutze dieses Wissen und schreibe ein Argument mit den drei Bestandteilen (Behauptung, Begründung, Schlussregel), wie Du es im Video zum naturwissenschaftlichen Argumentieren gelernt hast.

**Treatment B:**

Entscheide Dich für eine der beiden Antworten und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Nutze bei der Entwicklung Deines Arguments die Textinhalte, die Du gerade gelesen hast sowie mögliche Schlussfolgerungen die sich daraus ergeben. Berücksichtige die Inhalte des Videos zum naturwissenschaftlichen Argumentieren und die drei genannten Bestandteile eines Arguments.

**Treatment C:**

Entscheide Dich für eine der beiden Antworten und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

## Lösungsvorschläge für die Unterrichtseinheit 3

### 1. Lösung für die Aufgaben

#### Aufgabe 1:

In Abbildung 3 sind nur 2 mögliche Lichtwege von vielen eingezeichnet. Das Licht der weit entfernten Galaxie strahlt aber in alle Richtungen. An der Gravitationslinse wird das Licht also auch ringsum abgelenkt. So kommt es zu einer ringförmigen Anordnung der beobachteten Bilder.

#### Aufgabe 2:

Das Licht kann nicht den direkten (geraden) Weg zur Erde nehmen, weil es von der Gravitationslinse zu weit abgelenkt werden würde. Es muss seinen Weg also so weit von der Linse entfernt wählen, dass es trotz einer Ablenkung durch die Gravitationslinse auf der Erde ankommt. In Abbildung 3 wäre diese Weg ein leicht nach oben gewölbter Bogen zwischen Stern und Erde.

### 2. Lösungsvorschlag für die Argumentationsaufgabe

#### Behauptung:

Bei dem Blick nach oben zur Sonne sehen wir in die Vergangenheit.

#### Fakt:

Nichts kann sich schneller als mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  bewegen. Die Lichtgeschwindigkeit ist eine Naturkonstante.

#### Schlussregel:

Die Lichtgeschwindigkeit  $c$  zeigt, dass auch Licht eine gewisse Zeit benötigt, um von einem Ort zum anderen zu kommen. Von der Sonne zur Erde beträgt die Zeit ca. 8 Min. Daher sehen wir, wenn wir mit einer Sonnenfinsternisbrille zur Sonne schauen, was vor 8 Minuten auf der Sonne passiert ist und blicken somit in die Vergangenheit.



#### Weitere Informationen

<http://www.einstein-online.info/vertiefung/Lichtablenkung>

<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/gravitative-lichtablenkung/6105>

(Links zuletzt am 17.06.2018 getestet)

## Anhang 1.4. Unterrichtseinheit 4

### Schwarze Löcher – Finsternis, aber keine Leere

Massereiche und massearme Sterne können unterschiedliche Lebenswege nehmen. Unsere Sonne (Masse der Sonne:  $m_s \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ ) wird zum Beispiel als massearmer Stern eines Tages als sogenannter *weißer Zwerg* enden. Massereiche Sterne können hingegen, wenn ihr Energievorrat zunichte geht, explodieren (*Supernova*) und, wenn dann noch genug Masse zurückbleibt, unter ihrem eigenen Gewicht zusammenbrechen. Ihre eigene Gravitationswirkung ist dann so groß, dass ihre gesamte Masse auf einen extrem kleinen Radius zusammengepresst wird. Wenn sie dabei einen bestimmten Radius, den sogenannten Schwarzschildradius  $R_s$ , unterschreiten, werden sie zu *schwarzen Löchern* (Abbildung unten). Dieser Radius grenzt den Bereich ein, in dem die Gravitation so stark ist, dass weder Materie noch Licht ihn jemals verlassen können. Er sieht darum völlig schwarz aus, weil keine Strahlung das schwarze Loch verlassen kann. Die meisten schwarzen Löcher, die bisher in unserer Galaxie, der Milchstraße, entdeckt wurden, haben etwa 10 bis 20mal so viel Masse wie unsere Sonne.

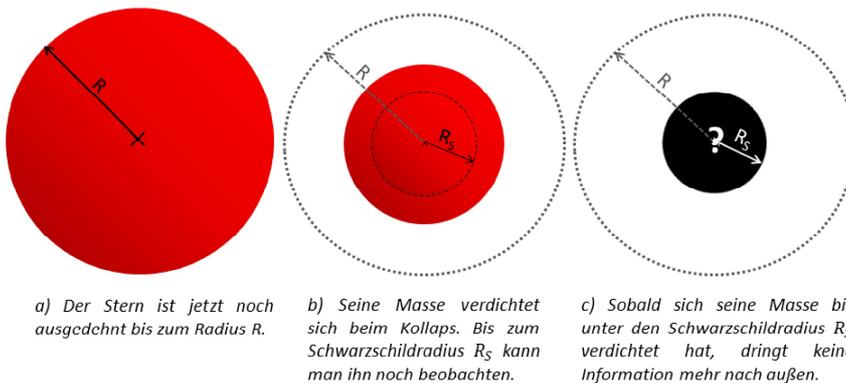


Abbildung: Schematischer Vergleich der Zustände eines massereichen Sterns a) vor dem Kollaps, b) während des Kollaps nach der Explosion und c) nach Verdichtung seiner Masse bis unter den Schwarzschildradius. (Das Bild ist nicht maßstabsgetreu.)

### Wirkung eines schwarzen Lochs

**Ein Beispiel:** *Beteigeuze* im Sternbild *Orion* (Abbildung rechts) hat 20mal mehr Masse als unsere Sonne und ist damit ein massereicher Stern, ein sogenannter *roter Überriese*. Seine Entfernung zur Erde beträgt etwa 642 Lichtjahre, das entspricht  $6,07 \cdot 10^{18} \text{ m}$ . Wissenschaftler sagen voraus, dass er in vielen hunderttausend Jahren zu einem schwarzen Loch kollabieren wird. *Abbildung 3* vergleicht *Beteigeuze* als roten Riesen (oben mit Radius  $R$ ) mit seiner möglichen Form als schwarzes Loch (unten mit Schwarzschildradius  $R_s$ ). Der gestrichelte Kreis markiert den ursprünglichen Radius  $R$ . Wir vergleichen nun die Wirkungen beider Versionen auf ein Raumschiff, das jeweils auf sie zufliegt.



Abbildung: *Beteigeuze*, die linke Schulter des *Orion*.  
(Quelle: [http://www.leifphysik.de/sites/default/files/medien/orion2\\_fixstern\\_auf.jpg](http://www.leifphysik.de/sites/default/files/medien/orion2_fixstern_auf.jpg), letzter Zugriff: 10.3.2016.)

Die Gravitationskraft  $F_G = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$  zwischen dem Raumschiff der Masse  $m$  und der Masse  $M$  von Beteigeuze wird größer, je geringer der Abstand  $r$  zwischen ihren Schwerpunkten ist. In dieser Rechnung wird angenommen, dass Beteigeuze als roter Überriese dieselbe Masse hat wie als schwarzes Loch.

Auf das Raumschiff wirkt bis zu einem Abstand  $r$  mit  $r \geq R$  in beiden Fällen dieselbe Gravitationskraft. Während es bei  $r = R$  auf dem Überriesen Beteigeuze theoretisch „Bodenkontakt“ hätte, kann es seinen Abstand zum schwarzen Loch noch viel weiter verringern ( $R_S < r < R$ ) und die Gravitationskraft wächst weiter mit  $F_G \sim \frac{1}{r^2}$ .

Verringert das Raumschiff seinen Abstand  $r$  sogar zu  $r < R_S$  tritt es in das schwarze Loch ein und kann nicht wieder heraus. Es fällt wie in ein „Loch“ und man kann von außen nicht mehr sehen, was sich im Innern abspielt.

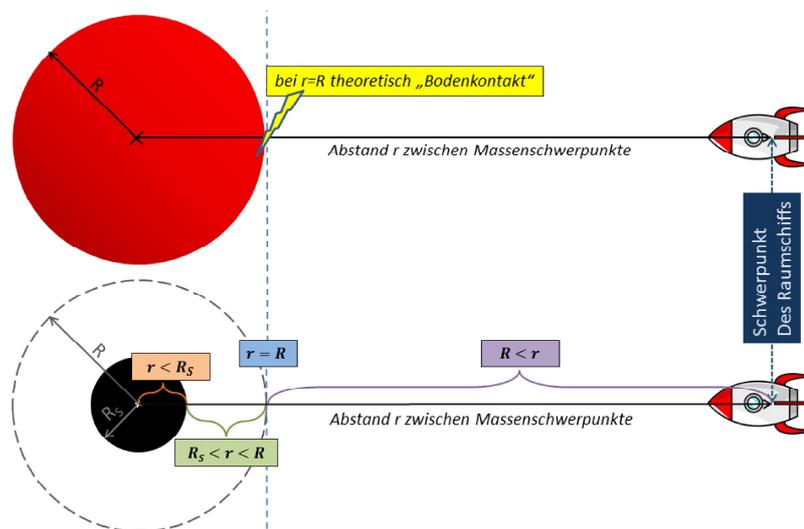


Abbildung: Darstellung der Abstandsgebiete zwischen dem Schwerpunkt des Raumschiffs und Beteigeuze als roter Überriese (oben), bzw. als schwarzes Loch (unten). Das Bild ist nicht maßstabsgetreu.

Die Gravitationskraft wird bei einem schwarzen Loch also viel größer, weil man den Abstand  $r$  der Massenschwerpunkte durch seine komprimierte Form viel weiter verringern kann als bei einem großen Stern.

### Aufgaben

- (1) Begründe, warum ein schwarzes Loch Licht anziehen kann!
- (2) Erkläre, warum für  $r > R$  die Gravitationskraft von Beteigeuze für den Zustand des roten Überriesen und den Zustand des schwarzen Loches gleich ist!

## Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 4

Astrophysiker sagen voraus, dass der rote Überriese *Beteigeuze* eines Tages explodieren und wahrscheinlich zu einem schwarzen Loch zusammenfallen wird. Auch wenn das Ereignis erst in mehreren 1000 oder gar erst in 100.000 Jahren stattfinden wird, gibt es jetzt schon hin und wieder Diskussionen darüber in der Öffentlichkeit (Abbildung unten). Immerhin hat *Beteigeuze* jetzt schon die 20fache Masse unserer Sonne. Wenn er sich zu einem schwarzen Loch verdichtet, dann könnte seine Gravitation doch plötzlich so stark werden – so die Befürchtung –, dass er auch die Erde an sich zieht! Wird unser Planet dann in dieses schwarze Loch fallen oder nicht?

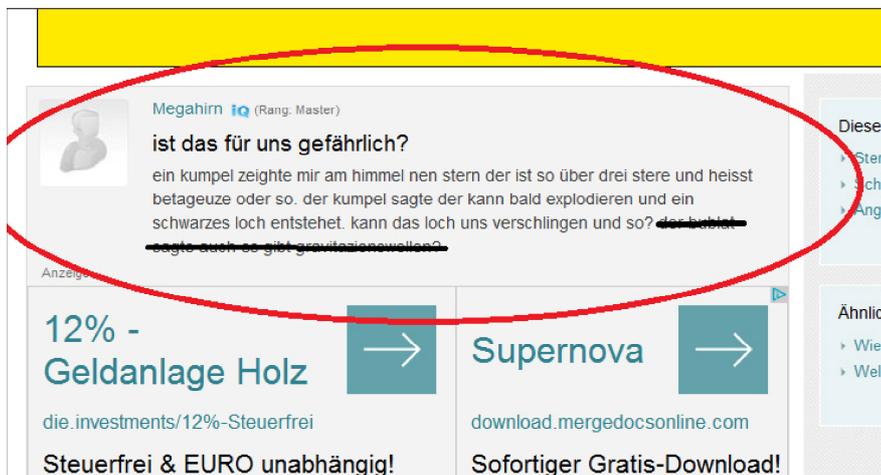


Abbildung: Beitrag in einem Internetforum. (Quelle: <http://www.cosmiq.de/qa/show/3038678/ist-das-fuer-uns-gefaehrlich/>, letzter Zugriff: 10.3.2016.)

### Treatment A:

Entscheide Dich für eine Antwort und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung! Überlege Dir dabei welche Inhalte aus dem Text für Dein Argument relevant sind und welche Folgerungen Du aus dem Text für Dein Argument ziehen kannst. Berücksichtige dabei alle drei Bestandteile eines Arguments.

### Treatment B:

Entscheide Dich für eine Antwort und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung! Nutze für Deine Antwort die Textinhalte und mögliche Folgerungen und schreibe ein vollständiges Argument.

### Treatment C:

Entscheide Dich für eine Antwort und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

## Lösungsvorschlag für Unterrichtseinheit 4

### 1. Lösung für die Aufgaben

#### Aufgabe 1:

Die Gravitationskraft zwischen zwei Objekten hängt von ihren Massen ( $F_G \propto m_1 \cdot m_2$ ) und umgekehrt vom Abstand ihrer Schwerpunkte ab ( $F_G \propto \frac{1}{r^2}$ ). Weil ein massereiches schwarzes Loch so dicht ist, wird ein geringer Abstand  $r$  zu anderen Objekten überhaupt erst möglich. Da Licht Energie und damit auch Masse besitzt, kann es vom schwarzen Loch abgelenkt und bei Unterschreiten eines bestimmten Abstands (Schwarzschildradius) auch „eingefangen“ werden.

#### Aufgabe 2:

Die Gravitationskraft zwischen zwei Objekten hängt von ihren Massen ( $F_G \propto m_1 \cdot m_2$ ) und umgekehrt vom Abstand ihrer Schwerpunkte ab ( $F_G \propto \frac{1}{r^2}$ ). Für  $r > R$  hat sich in beiden Fällen nichts verändert: Die Masse des schwarzen Lochs ist nahezu dieselbe wie die des roten Überriesen und Abstände im Bereich  $r > R$  sind ebenso in beiden Fällen möglich.

(Die Dichte des schwarzen Lochs bewirkt, dass es überhaupt erst möglich wird, den Radius  $R$  zu unterschreiten.)

### 2. Lösungsvorschlag für die Argumentationsaufgabe

#### Behauptung:

Nein, der Planet Erde wird nicht verschwinden, wenn Beteigeuze zu einem schwarzen Loch geworden ist.

#### Fakt:

Die Gravitationskraft zwischen zwei Objekten hängt von ihren Massen ( $F_G \propto m_1 \cdot m_2$ ) und umgekehrt vom Abstand ihrer Schwerpunkte ab ( $F_G \propto \frac{1}{r^2}$ ).

Bei einer Supernova verliert ein Stern einen Teil seiner Masse bevor er ein schwarzes Loch wird. Die hohe Dichte des schwarzen Lochs bewirkt, dass sich Objekte nun auch unterhalb des ursprünglichen Radius  $R$  aufhalten können. Dort wirkt dann eine entsprechend größere Gravitationskraft.

#### Schlussregel:

Wenn Beteigeuze zu einem schwarzen Loch wird, wird er teilweise Masse verlieren. An seiner Entfernung zur Erde ( $r \approx 642 \text{ Lichtjahre}$ ) wird sich dabei nichts ändern. Da der Planet Erde außerhalb seines heutigen Radius liegt, wird Beteigeuze als schwarzes Loch keine stärkere Gravitationswirkung auf die Erde haben als heutzutage.



#### Weitere Informationen

[http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt\\_s02.html#sl](http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt_s02.html#sl)

[http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/astro\\_sl.html](http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/astro_sl.html)

[http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/astro\\_slgc.html](http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/astro_slgc.html)

(Links zuletzt am 17.06.2018 getestet)

## Anhang 1.5. Unterrichtseinheit 5

### Kein Entkommen – Der Schwarzschildradius

Die Masse eines Himmelskörpers muss bis unter den Schwarzschildradius (benannt nach dem Astronomen und Physiker *Karl Schwarzschild*, 1873-1916) kollabieren, damit seine Gravitationswirkung so stark wird, dass selbst Licht nicht mehr das schwarze Loch verlassen kann. Wir bestimmen nun den Schwarzschildradius mit einer vereinfachten Rechnung.

Zunächst errechnen wir die Geschwindigkeit, die ein Raumschiff mindestens benötigt, um einen Himmelskörper für immer verlassen zu können. Wir nennen diese Größe *Fluchtgeschwindigkeit*  $v_F$ .

Die kinetische Energie  $E_{kin}$  des Raumschiffs beträgt:  $E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$ ,

mit: Raumschiffmasse  $m$ , Geschwindigkeit  $v$ .

Die potentielle Energie  $E_{pot}$  des Raumschiffs im Abstand  $r$  vom Mittelpunkt eines Himmelskörpers beträgt:  $E_{pot} = G \frac{m \cdot M}{r}$ ,

mit: Gravitationskonstante  $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$ , Erdmasse  $M = 6 \cdot 10^{24} kg$ , Abstand  $r$  zwischen Raumschiff und Erdmittelpunkt.

Wenn nun die kinetische Energie des Raumschiffs am Ort mit dem Abstand  $r$  mindestens so groß ist wie die dortige potentielle Energie (Lageenergie) im Gravitationsfeld der Erde, dann kann es für immer entkommen. Wir setzen beide Energien gleich:  $\frac{m \cdot v_F^2}{2} = G \frac{m \cdot M}{r}$

und erhalten somit für die **Fluchtgeschwindigkeit**:  $v_F = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$ .

Mit dieser Geschwindigkeit  $v_F$  kann das Raumschiff den Himmelskörper für immer verlassen. Beachte, dass sie allein von der Masse  $M$  des Himmelskörpers und dem Abstand  $r$  seines Mittelpunktes zum Raumschiff abhängt.

Für den Schwarzschildbereich mit dem Radius  $R_S$  gilt nun, dass selbst die Lichtgeschwindigkeit  $c$  nicht ausreicht, um den Himmelskörper zu verlassen, sonst wäre das schwarze Loch nicht schwarz. Wir müssen also für die Fluchtgeschwindigkeit  $v$  nun die Lichtgeschwindigkeit  $c$  annehmen:  $v_F = c = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r_S}}$ . Damit ergibt sich nach Umstellen der Gleichung:

$$\text{Schwarzschildradius: } r_S = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$$

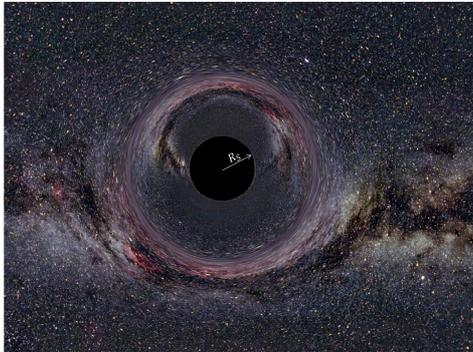


Abbildung: Schwarzschildradius eines schwarzen Lochs (Simulation). (Bildquelle: verändert nach: <http://www.tempolimit-lichtgeschwindigkeit.de/galerie/s218.jpg>, letzter Zugriff: 13.3.2016.)

In Abbildung rechts ist dieser Radius in einem schematischen Bild eines schwarzen Loches eingezeichnet. Auch dieses Bild ist eine Veranschaulichung eines nicht mit dem Auge sichtbaren Phänomens – es handelt sich also nicht um ein Foto.

Diese Rechnung ist deshalb vereinfacht, weil man mit Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit eigentlich nicht mehr mit der klassischen Energieerhaltung rechnen darf. Die klassische Physik gilt in diesen Bereichen nicht mehr, trotzdem ist in diesem Fall das Ergebnis erstaunlicherweise korrekt.

### Aufgaben

- (1) Berechne den Schwarzschildradius für einen Himmelskörper mit der Masse der Erde  $M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  und nimm für die Lichtgeschwindigkeit  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  an! Erläutere das Ergebnis!
- (2) Wie groß ist die Fluchtgeschwindigkeit für eine Rakete, die auf der Erdoberfläche startet? Nimm als Abstand  $r$  den Erdradius  $R_E = 6.400 \cdot 10^3 \text{ m}$  an!

### Argumentationsaufgabe zur Unterrichtseinheit 5

Innerhalb des Schwarzschildradius  $r=2GM/c^2$  kann keine Strahlung, die sich mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  ausbreitet, dem schwarzen Loch entweichen. Angenommen, es existiert aber ein Teilchen, das sich mit  $\frac{3}{4}$  der Lichtgeschwindigkeit  $c$  im schwarzen Loch bewegt und noch weitere Energie besitzt, um seine Geschwindigkeit nochmal um  $c/2$  zu vergrößern. Dann ist es doch so schnell, dass es dem schwarzen Loch „entkommen“ kann und damit nicht in der Kugelfläche mit dem Radius  $r$  gefangen bleibt. Also ist das schwarze Loch doch nicht ganz schwarz, weil derartige Strahlung entweichen kann.

Damit stellt sich folgende Frage: Gibt es Teilchen mit derartigen Geschwindigkeiten, für die der Schwarzschildradius nicht gilt?

#### **Treatment A:**

Entscheide Dich für eine Antwort „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Überlege Dir welche Textinhalte und möglichen Folgerungen Dir für die Formulierung Deines Arguments helfen und schreibe ein vollständiges Argument.

#### **Treatment B:**

Entscheide Dich für eine Antwort „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

Nutze für Deine Antwort den Text und schreibe ein überzeugendes Argument.

#### **Treatment C:**

Entscheide Dich für eine Antwort „Ja“ oder „Nein“ und schreibe ein Argument zu Deiner Entscheidung!

## Zusammenfassung

Mit ArguKos konntest Du wesentliche Hintergrundinformationen zum Thema schwarze Löcher kennenlernen. Du hast die Gravitation, eine grundlegende Kraft für die Entstehung schwarze Löcher kennengelernt und erfahren, dass Licht eine Masse hat und Lichtwege nicht immer gradlinig verlaufen, sondern auch abgelenkt werden können. Du hast etwas über wesentliche Merkmale Schwarzer Löchern, sowie ihre unterschiedlichen Wirkungsbereiche und ihre Namensgebung erfahren.

All diese Informationen bilden auch die Basis für aktuelle Forschungsprojekte, wie zum Beispiel das Projekt Event Horizon Telescope, das in Garching bei München am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik bearbeitet wird.

Ziel dieses Projektes ist es das schwarze Loch im Mittelpunkt unserer Galaxie, der Milchstraße, zu untersuchen. Dabei interessieren sich die Forscherinnen und Forscher besonders für das Wachstum von Schwarzen Löchern.

Wie Du siehst, sind Schwarze Löcher ein aktuelles und brisantes Thema in der Astrophysik, das auch in Deutschland intensiv untersucht wird. Weitere Informationen dazu findest Du unter:

[www.eventhorizontelescope.com](http://www.eventhorizontelescope.com)

<http://www.mpe.mpg.de/index>

(Links zuletzt am 17.06.2018 getestet)

## Lösungsvorschlag für die 5. Einheit

### 1. Lösung für die Rechenaufgaben

#### Aufgabe 1:

$$r_S = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2} = \frac{2 \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{kg}}{(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} \approx 8,9 \text{mm}$$

Die Masse der Erde müsste zu einer Kugel mit einem Radius von unter  $8,9 \text{mm}$  zusammengepresst werden, damit selbst Licht nicht mehr die Erde verlassen könnte.

#### Aufgabe 2:

$$v_F = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{kg}}{6.400 \cdot 10^3 \text{m}}} \approx 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

### 2. Lösungsvorschlag für die Argumentationsaufgabe:

*Hinweis:* Der Lösungsvorschlag wurde im Rahmen des eingeführten Modells zum Verständnis der schwarzen Löcher erstellt. Für eine vollständige Beantwortung der Argumentationsaufgabe müssten relativistische Effekte berücksichtigt werden.

#### Behauptung:

Der Astronaut wird immer kleiner und verschwindet beim Unterschreiten des Schwarzschildradius.

#### Fakt:

Unterhalb des Schwarzschildradius kann keine Strahlung mehr nach außen dringen, weil die Fluchtgeschwindigkeit größer sein müsste als Licht. Dies ist nicht möglich, weil Licht die maximale Geschwindigkeit für Informationstransfer ist.

#### Schlussregel:

Vom Raumschiff aus beobachtet, wird der Astronaut immer kleiner, weil er sich entfernt. Sobald er den Schwarzschildradius unterschreitet, kann ich ihn nicht mehr sehen, weil das Licht, das von seinem Körper ausgeht, mein Auge nicht mehr erreichen kann. Für mich sieht es so aus, als würde er verschwinden.



#### Weitere Informationen

[http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt\\_s02.html#schw](http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt_s02.html#schw)

[http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/astro\\_sl\\_schw.html#schw](http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/astro_sl_schw.html#schw)

<http://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/schwarzschild-loesung/431>

(Links zuletzt am 17.06.2018 getestet)

Anhang 2: Informationen zur Durchführung der Studie  
**Anhang 2.1. Handbuch für Lehrkräfte (Inhaltsverzeichnis)**



TUM School of Education  
Professur für Gymnasialpädagogik

**Projekt „ArguKos –  
Argumentieren lernen in der Kosmologie“**

**- Handbuch für Lehrkräfte -**

In Zusammenarbeit mit:

**Hans Böckler  
Stiftung** 

## Inhaltsverzeichnis

1. Genehmigung der Studie durch das Bayerische Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst.....	4
2. Vor dem der Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ .....	4
2.1. Zugang zur Lernplattform „mebis“ und die technische Ausstattung .....	4
2.1.1. Anmeldung bei der Lernplattform „mebis“ .....	4
2.1.2. Kurszugang.....	5
2.1.3. Arbeitsplätze .....	5
2.1.4. Browser.....	5
2.1.5. PDF-Dokumente .....	6
2.1.6. Videos .....	6
2.1.7. Kopfhörer.....	6
2.2. Unterlagen zur Abwicklung der datenschutzrechtlichen Bestimmungen .....	7
2.2.1. Informationsschreiben für Schulleitung, Lehrkräfte, Erziehungsberechtigte & Schülerinnen und Schüler .....	7
2.2.2. Einsicht der Fragebögen .....	7
2.2.3. Zeitpunkt der Teilnahme an der Studie und Kick-Off-Veranstaltung.....	8
2.2.4. Vorbefragung .....	8
2.3. Zusammenfassung der ToDos vor der Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“ .....	9
3. Während der Bearbeitung der Lernumgebung „ArguKos“.....	9
3.1. Die Lernumgebung „ArguKos“ .....	10
3.1.1. Aufbau der Lernumgebung „ArguKos“.....	10
3.1.2. Inhalte der Lernumgebung „ArguKos“ .....	10
3.2. Begleitbefragung .....	10
3.3. Falls Probleme während der Bearbeitung auftreten.....	11
4. Nach der Lernumgebung „ArguKos“ .....	11
4.1. Nachbefragung .....	11
4.2. Material .....	11
5. Kontaktinformationen .....	12

## Anhang 2.2. Exemplarischer Ablauf der *Kick-Off*-Veranstaltungen

### Exemplarischer Ablauf der *Kick-Off*-Veranstaltungen

1. Begrüßung und Vorstellen.
2. Organisatorisches: Sind alle Einverständniserklärungen vorhanden?
3. Vorstellung des Kurses „ArguKos“ und Beantwortung nachfolgender Fragen:
  - Wie ist der Kurs aufgebaut?
  - Um was geht es inhaltlich?
  - Welche Aufgaben gibt es?
  - Warum gibt es nur Lösungsvorschläge und nicht DIE Lösung?
  - Weshalb gibt es drei verschiedene Gruppen?
4. Erläuterung was das Ziel des Kurses und das Ziel der Studie ist.
5. Erläuterung wie die Studie abläuft.
6. Erläuterung warum ernsthaftes und vollständiges bearbeiten der Fragebögen nötig ist.
7. Hinweis auf die Anonymität der Studie.
8. Einloggen in die Lernumgebung „ArguKos“ auf der Lernplattform „mebis“
9. Durchführung der Vorbefragung
10. Wichtige Informationen für die nächsten Unterrichtseinheiten



TUM School of Education

Professur für Gymnasialpädagogik



## **Projekt „ArguKos“**

### **„Schwarze Löcher – Argumentieren lernen in der modernen Kosmologie“**

**Fragebogen vor der Bearbeitung des E-Learning-Kurses**

In Zusammenarbeit mit:

**Hans Böckler  
Stiftung** 

**Vielen Dank, dass Sie an dieser Studie teilnehmen!**

Mit folgendem Fragebogen möchten wir gerne etwas über Ihre Vorkenntnisse und Erfahrungen im Bereich der Naturwissenschaften erfahren.

Die Fragen können überwiegend durch einfaches Ankreuzen beantwortet werden. Bitte antworten Sie möglichst spontan und wahrheitsgetreu. Achten Sie bitte auch darauf, keine personenbezogenen Angaben über Dritte, z.B. Mitschüler, Lehrkräfte, Eltern, etc. zu machen.

Die Teilnahme an der Befragung ist **freiwillig**. Bei Nichtteilnahme entstehen für Sie keinerlei Nachteile. Es besteht auch die Möglichkeit, einzelne Fragen des Fragebogens unbeantwortet zu lassen.

Ihre Angaben werden wir **anonym** behandeln und mit den Ergebnissen **vertraulich** umgehen. Da wir nicht nach Ihrem Namen fragen, bitten wir Sie, einen 5-stelligen Code zu erstellen. Dieser wird ausschließlich für die wissenschaftliche Auswertung der Untersuchung genutzt.

Der Personencode wird aus dem ersten Buchstaben Ihres Geburtsorts, dem zweiten Buchstaben Ihres Vornamens und dem dritten Buchstaben Ihres Nachnamens sowie den jeweils letzten Ziffern Ihres Geburtstags und Ihres Geburtsjahres gebildet.	So lautet der Code für die aus <b>M</b> ünchen (1. Stelle) stammende <b>C</b> laudia (2. Stelle) <b>K</b> rüger (3. Stelle), geb. am <b>26.03.1999</b> (4. und 5. Stelle): <b>MLÜ69.</b>
---	---

Ihr Code:        \_ \_ \_ \_ \_

Nach Projektabschluss im Oktober 2017 werden alle Codes gelöscht. Nach 10 Jahren Speicherung werden schließlich alle Daten vernichtet. Sie können Ihre Teilnahme an der Befragung auch jederzeit zurückziehen. In diesem Fall werden alle Angaben von Ihnen im Datensatz gelöscht.

Wir beantworten Ihnen gerne Fragen zu unserem Projekt „ArguKos“. Bitte wenden Sie sich dazu an folgende Adresse:

Magdalena Brunner  
Professur für Gymnasialpädagogik  
TUM School of Education, Technische Universität München  
Arcisstraße 21,  
80333 München

**1. Wie sehr treffen die folgenden Aussagen zum Thema Naturwissenschaften und naturwissenschaftliche Forschung auf Sie zu?**

Bitte in jeder Zeile nur ein Kästchen ankreuzen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme kaum zu	Stimme etwas zu	Stimme ziemlich zu	Stimme sehr zu
Im Allgemeinen macht es mir Spaß, mich mit naturwissenschaftlichen Themen zu befassen.	<input type="checkbox"/>				
Ich lese gerne etwas über Naturwissenschaften	<input type="checkbox"/>				
Ich beschäftige mich gerne mit naturwissenschaftlichen Problemen.	<input type="checkbox"/>				
Ich eigne mir gerne neues Wissen in den Naturwissenschaften an.	<input type="checkbox"/>				
Ich bin interessiert, Neues in den Naturwissenschaften zu lernen.	<input type="checkbox"/>				

**2. Inwieweit glauben Sie, die folgenden Aufgaben selbständig lösen zu können?**

Bitte in jeder Zeile nur ein Kästchen ankreuzen.

	Das könnte ich nicht	Es würde mir schwer fallen, das allein zu schaffen	Das könnte ich mit ein bisschen Mühe schaffen	Das könnte ich ziemlich gut alleine schaffen.	Das wäre sehr einfach für mich
Die naturwissenschaftliche Fragestellung erkennen, die einem Zeitungsbericht über ein Gesundheitsthema zu Grunde liegt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erklären, warum Erdbeben in manchen Gegenden häufiger vorkommen, als in anderen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Rolle der Antibiotika bei der Behandlung von Krankheiten beschreiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wissenschaftliche Fragestellungen herausfinden, die mit der Müllentsorgung zusammenhängen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vorhersagen, wie Änderungen in der Natur das Überleben bestimmter Tierarten beeinflussen können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die wissenschaftlichen Informationen auf einem Lebensmitteletikett interpretieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeigen, wie neue Erkenntnisse zu einem neuen Verständnis über die Möglichkeit von Leben auf dem Mars führen können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die bessere von zwei Erklärungen über die Bildung von saurem Regen erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. In diesem Teil des Fragebogens geht es speziell um die Schule und das Lernen in Physik. Bitte lesen Sie sich jede Aussage sorgfältig durch. Schätzen Sie dann ein, wie gut jede Aussage auf Sie zutrifft.

Bitte in jeder Zeile nur ein Kästchen ankreuzen.

	Trifft gar nicht zu	Trifft kaum zu	Trifft etwas zu	Trifft ziemlich zu	Trifft sehr zu
Das Fach Physik interessiert mich.	<input type="checkbox"/>				
Ich könnte mir vorstellen, Physik zu studieren.	<input type="checkbox"/>				
Das Fach Physik ist eines meiner Lieblingsfächer.	<input type="checkbox"/>				
Es macht mir Spaß Aufgaben in Physik zu bearbeiten.	<input type="checkbox"/>				
Für das Fach Physik zu arbeiten, ist eine schöne Sache.	<input type="checkbox"/>				
Ich beschäftige mich gerne mit Physik in meiner Freizeit.	<input type="checkbox"/>				
Nach einem langen Wochenende oder Urlaub freue ich mich auf den Unterricht in Physik.	<input type="checkbox"/>				
Über Inhalte und Aufgaben des Faches Physik zu reden, macht mir Spaß.	<input type="checkbox"/>				

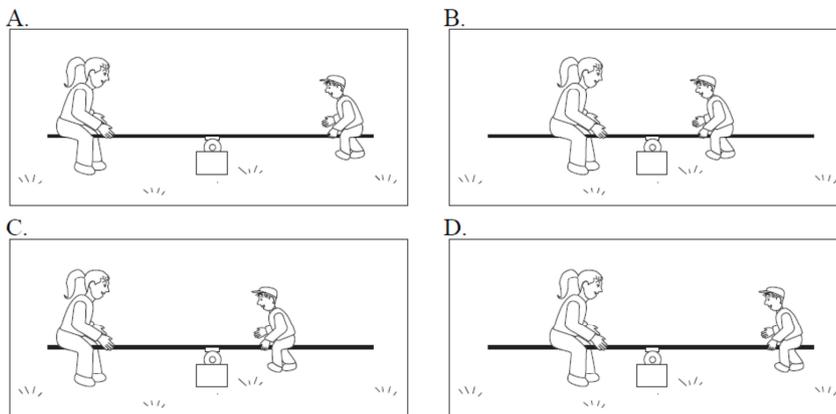
#### 4. Wie viel wissen Sie bereits über Physik?

Im ersten Teil des Fragebogens möchten wir herausfinden, wie viel Sie über Mechanik wissen. Aber wichtig: Das ist kein Test oder eine Klassenarbeit! Es ist hier ganz normal, dass Sie vielleicht ein paar Fragen nicht sicher beantworten können! Das ist überhaupt nicht schlimm!

**AUFGABE:** Bitte bearbeite die folgenden Aufgaben zur Physik!

Ein Mädchen spielt mit ihrem kleinen Bruder auf einer Wippe. Das Mädchen wiegt 50 kg (Kilogramm), der Junge wiegt 25 kg.

Welches Bild zeigt die beste Position für das Mädchen, um mit seinem Bruder im Gleichgewicht zu sein?



A

B

C

D

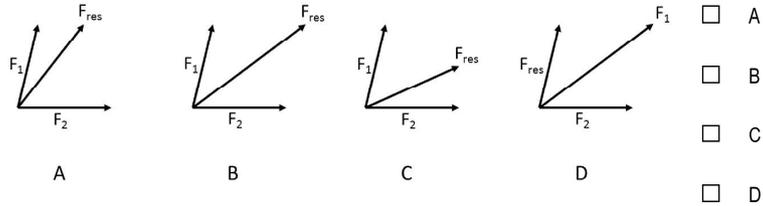
Was wird passieren, wenn Sie versuchen, mit Ihren Händen einen Bleistift zu verbiegen?

- Der Bleistift wird seine Form keinesfalls verändern.
- Der Bleistift verbiegt sich zunächst und bricht, falls Sie zu stark drücken.
- Der Bleistift bricht, egal wie stark Sie drücken.
- Der Bleistift geht in jedem Fall in seine Ursprungsform zurück.

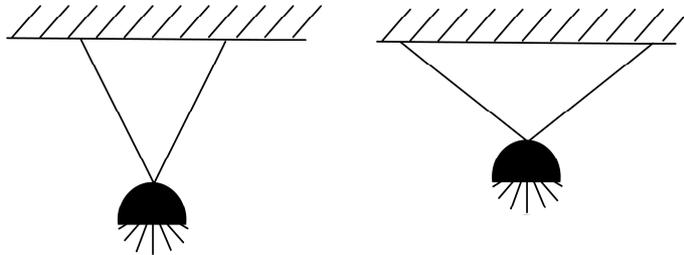
In welchem Beispiel bewegt sich ein Objekt wegen der Gewichtskraft?

- Ein Mädchen schlägt einen Ball mit einem Schläger.
- Ein Junge schiebt eine Kiste über den Boden.
- Ein Mädchen hämmert einen Nagel in die Wand.
- Ein Junge fällt von einem Baum auf den Boden.

In welchem der folgenden Bilder wurde der resultierende Kraftpfeil  $F_{\text{res}}$  korrekt eingezeichnet?



Eine Lampe hängt an zwei Seilen. Auf die Lampe wirken die Gewichtskraft senkrecht nach unten, sowie die Seilkräfte in Richtung der Seile.

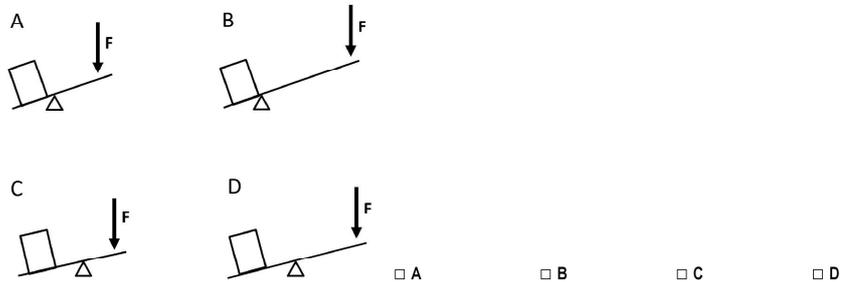


Wie ändern sich die Seilkräfte, wenn die Lampe höher gehängt wird?

- Je höher die Lampe gezogen wird, desto größer werden die Seilkräfte.
- An den Seilkräften ändert sich nichts.
- Je höher die Lampe gezogen wird, desto kleiner werden die Seilkräfte.
- Entlang der Seile wirken dann keine Kräfte mehr.

Eine sehr schwere Kiste soll mit Hilfe eines Hebels hochgehoben werden.

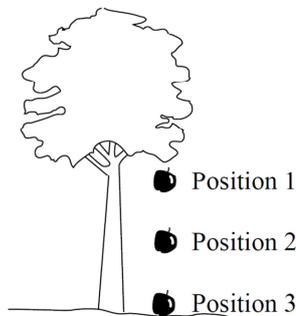
Welche der folgenden Hebelvorrichtungen (siehe Abbildung unten) muss man benutzen, wenn die Kraft  $F$ , die man ausüben muss, um den Ziegelstein anzuheben, möglichst gering sein soll?



Das Bild zeigt einen zu Boden fallenden Apfel.

In welcher oder in welchen der drei Positionen wirkt die Gewichtskraft auf den Apfel?

- Nur in Position 2.
- Nur in Position 1 und 2.
- Nur in Position 1 und 3.
- In Position 1, 2 und 3.

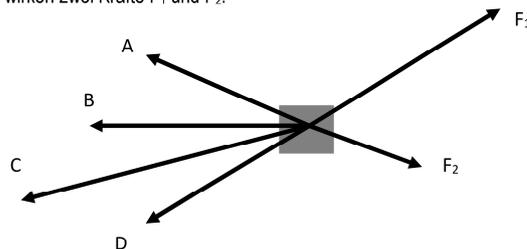


Ein Astronaut sammelt auf dem Mond Gestein. Dieses Gestein erfährt eine Gewichtskraft von 16 N. Auf dem Mond beträgt der Ortsfaktor  $g = 1,6 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ . (Hinweis: Vielleicht kennst du den Begriff Ortsfaktor auch unter dem Begriff „Schwerebeschleunigung“ oder „Fallbeschleunigung“).

Wie groß ist die Gewichtskraft des Gesteins auf der Erde ( $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ )?

- 10 N
- 16 N
- 100 N
- 160 N

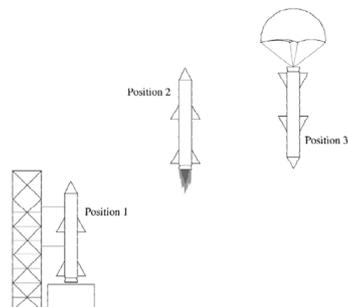
Auf einen Körper wirken zwei Kräfte  $F_1$  und  $F_2$ .



Welche der eingezeichneten Kräfte A, B, C oder D muss wirken, damit die auf den Körper wirkende resultierende Kraft den Betrag Null hat.

- Kraft A
- Kraft B
- Kraft C
- Kraft D

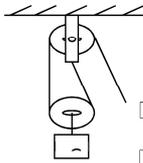
Die Abbildung zeigt eine Rakete, welche von der Erde abgeschossen wird und zurückkehrt.



In welcher der drei Positionen wirkt die Gewichtskraft auf die Rakete?

- nur in Position 3
- nur in Position 1 und 2
- nur in Position 2 und 3
- in Position 1, 2 und 3

In der Abbildung ist ein Flaschenzug dargestellt.



Die angehangene Last G erfährt eine Gewichtskraft von 10 N. Zieht man das Seil 1 m, so...

- ... muss man eine Kraft von 5 N aufwenden und die Last wird 0,5 m in die Höhe gezogen.
- ... muss man eine Kraft von 5 N aufwenden und die Last wird 1 m in die Höhe gezogen.
- ... muss man eine Kraft von 10 N aufwenden und die Last wird 0,5 m in die Höhe gezogen.
- ... muss man eine Kraft von 10 N aufwenden und die Last wird 1 m in die Höhe gezogen.

Ein Körper besitzt auf der Erde ( $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ ) eine Masse von 50 kg.

Wie groß ist die Masse des Körpers auf einem Planeten mit  $g = 20 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ ?

- 25 kg
- 75 kg
- 50 kg
- 100 kg

Sie bekommen sieben Messingstücke mit Haken und eine Federwaage. Es wird behauptet, dass eines der Messingstücke so schwer ist wie die sechs anderen zusammen.

Könnte man die experimentelle Überprüfung der Behauptung auch auf dem Mond vornehmen?

- Ja, denn das Verhältnis der Gewichtskräfte bleibt gleich.
- Ja, denn die Gewichtskräfte bleiben gleich.
- Nein, denn es wird ein anderes Gewicht gemessen.
- Nein, die Federwaage funktioniert nur auf der Erde.

Ein Sportler lief 3000 m in genau 10 Minuten.

Was war seine durchschnittliche Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde?

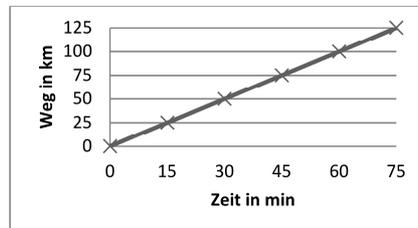
- 3
- 5
- 50
- 300

Ein Körper bewegt sich geradlinig gleichförmig entlang eines Weges von 4 Metern in 8 Sekunden.

Wie weit bewegt sich der Körper, wenn er sich mit der dreifachen Geschwindigkeit 5 Sekunden lang bewegt?

- 2,5 m
- 4 m
- 7,5 m
- 30 m

Ein Auto fährt eine Straße entlang. Die Abbildung zeigt das zu dieser Bewegung gehörende Weg-Zeit-Diagramm.



Wie groß ist die Geschwindigkeit des Autos?

- 25 Kilometer pro Stunde
- 50 Kilometer pro Stunde
- 75 Kilometer pro Stunde
- 100 Kilometer pro Stunde

---

Ein mit Heliumgas gefüllter Ballon wird losgelassen.  
Welche der folgenden Aussagen erklärt am besten, warum der Heliumballon aufsteigt?

- Die Dichte von Helium ist kleiner als die Dichte der Luft.
- Der Luftwiderstand hebt den Ballon hoch.
- Die Schwerkraft wirkt nicht auf Heliumballons.
- Der Wind bläst den Ballon hoch.

---

Was versteht man in der Physik unter dem Begriff Leistung?

- Die Leistung gibt an, wie gut bei einem Vorgang die Energie in eine andere Energieform umgewandelt wird.
- Die Leistung gibt an, wie viel Energie bei einem Vorgang umgewandelt wird.
- Die Leistung gibt an, wie viel Energie bei einem Vorgang in einer bestimmten Zeit umgewandelt wird.
- Die Leistung gibt an, wie viel Energie bei einem Vorgang mit der nötigen Zeit multipliziert wird.

Die abgebildeten Körper besitzen das gleiche Volumen, aber unterschiedliche Massen.



Körper A ( $m = 0,8 \text{ kg}$ )



Körper B ( $m = 1,0 \text{ kg}$ )



Körper C ( $m = 1,2 \text{ kg}$ )

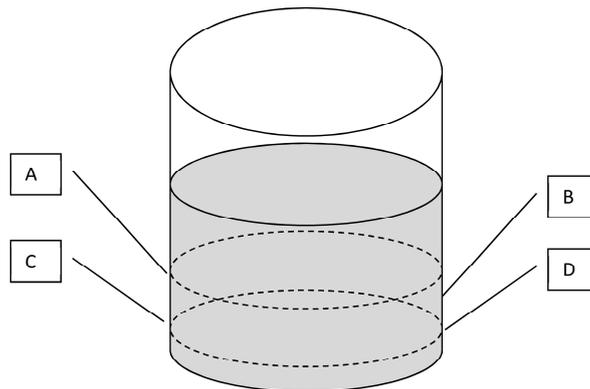
Was kann man über die Dichte der Körper sagen?

- Körper A besitzt die größte Dichte.
- Körper B besitzt die größte Dichte.
- Körper C besitzt die größte Dichte.
- Alle Körper besitzen die gleiche Dichte.

---

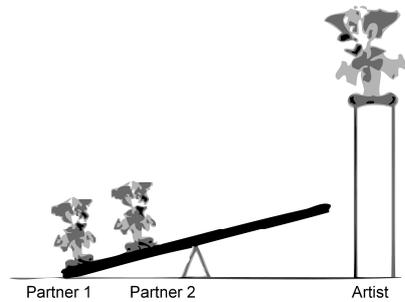
In einem Glasgefäß befindet sich Wasser.

Was kann man über den Druck sagen, den das Wasser auf die markierten Stellen A, B, C, D der Gefäßwand ausübt?



- Der Druck ist an der Stelle A am größten.
- Der Druck an der Stelle A ist genauso groß wie der Druck an der Stelle B.
- Der Druck an der Stelle C ist genauso groß wie der Druck an der Stelle D.
- Der Druck ist überall gleich groß.

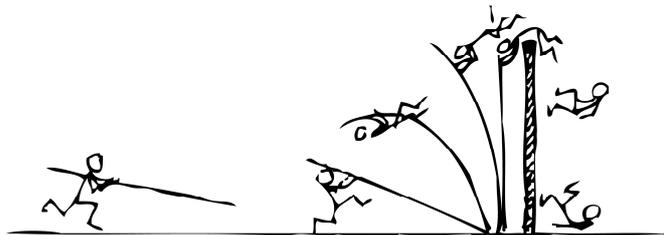
Ein Artist mit der Masse 100 kg springt aus einer Höhe von 2 m auf ein Schleuderbrett (siehe Zeichnung).



Wie hoch werden seine zwei Partner geschleudert, wenn sie jeweils eine Masse von 50 kg haben?

- Partner 1 wird höher als Partner 2 geschleudert.
- Partner 2 wird höher als Partner 1 geschleudert.
- Beide werden gleich hoch geschleudert.
- Sie werden gar nicht hoch geschleudert.

Im Bild ist der Bewegungsablauf beim Stabhochsprung dargestellt.



Durch den Anlauf erhält der 70 kg wiegende Läufer eine Bewegungsenergie von 3500 J.

Welche Höhe kann er in etwa gewinnen, wenn er seine gesamte Bewegungsenergie in Höhenenergie umwandelt?

- 3 m
- 5 m
- 7 m
- 9 m

Abschließend möchten wir noch erfahren, ob Sie bereits etwas über schwarze Löcher wissen. Falls dies der Fall ist, erklären Sie bitte in 4-5 Sätzen was ein schwarzes Loch ist.

---

---

---

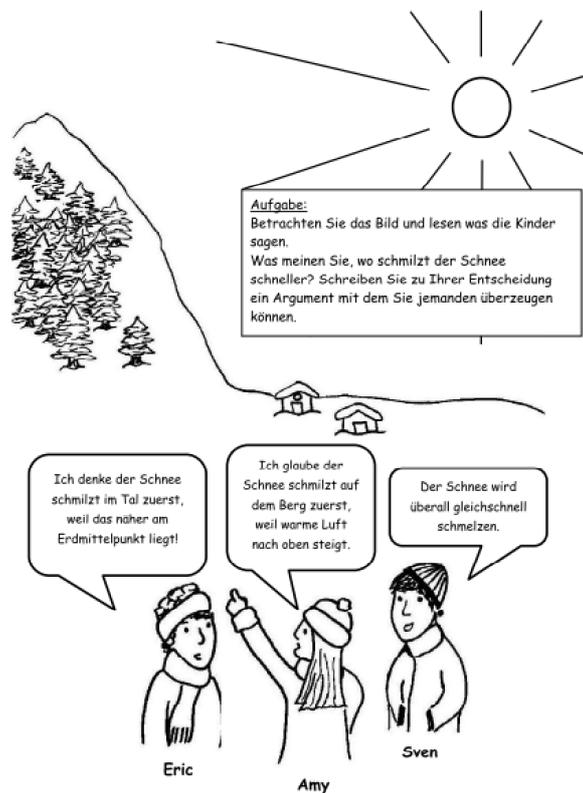
---

---

### 5. Wer hat wohl Recht?

In diesem Teil des Fragebogens möchten wir herausfinden, wer Ihrer Meinung nach Recht hat und warum. Die Aufgaben finden Sie direkt bei den Cartoons.

#### 5.1 Berg und Tal



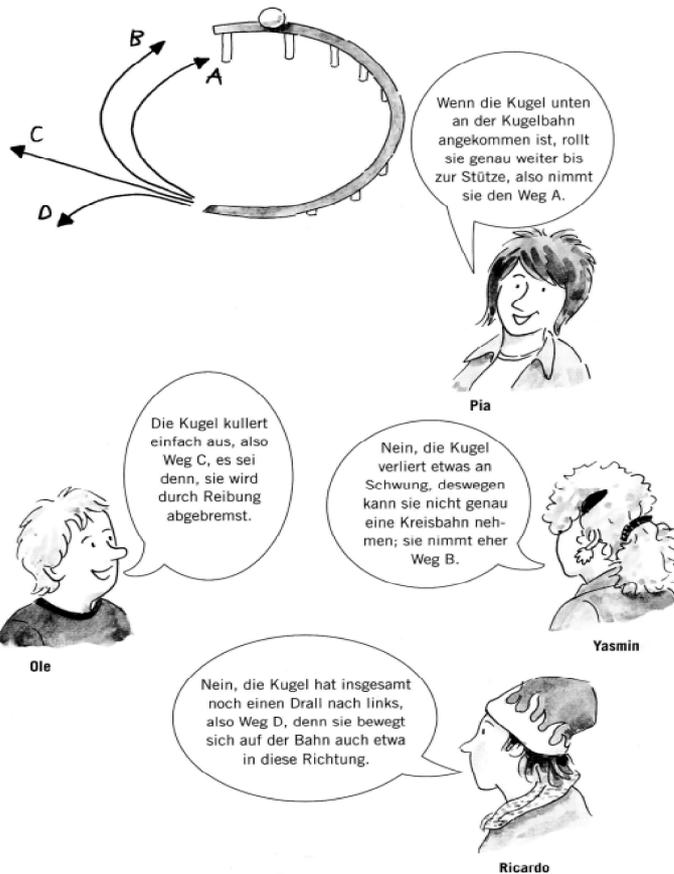
---

---

---

---

## 5.2. Die Kugelbahn



### Aufgabe:

Betrachten Sie das Bild und lesen Sie was die Kinder sagen.

Was meinen Sie, welchen Weg die Kugel nehmen wird? Schreiben Sie zu Ihrer Entscheidung ein Argument mit dem Sie jemanden überzeugen können.

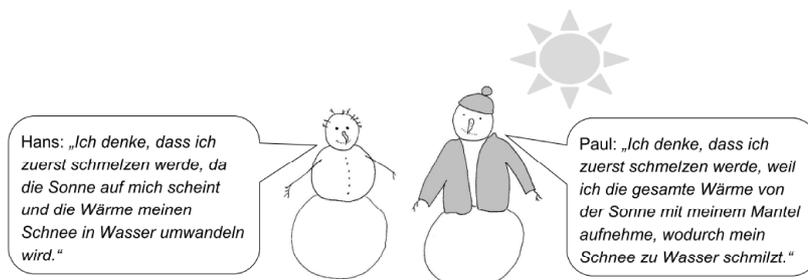
---

---

---

---

### 5.3. Die Schneemänner



Betrachten Sie das Bild und lesen Sie was die Schneemänner sagen.  
Was denken Sie welcher der Schneemänner zuerst schmelzen wird? Schreiben Sie zu Ihrer Entscheidung ein Argument mit dem Sie jemanden überzeugen können.

---

---

---

---

### 6. Angaben zu Ihrer Person:

Wie alt sind Sie? \_\_\_\_\_

Sie sind ...

weiblich  männlich

In welchem Fach nehmen Sie an diesem Projekt teil?

Deutsch  Physik

Welche Vorjahresnote hatten Sie in Physik? \_\_\_\_\_

Welche Vorjahresnote hatten Sie in Deutsch? \_\_\_\_\_

Welchen Schulzweig haben Sie gewählt?

- sprachlicher Zweig  
 naturwissenschaftlicher Zweig  
 wirtschaftswissenschaftlicher Zweig  
 sozialwissenschaftlicher Zweig  
 humanistischer Zweig

Welche Ausbildung/ welches Studium möchten Sie nach Ihrem Schulabschluss machen?  
\_\_\_\_\_



TUM School of Education

Professur für Gymnasialpädagogik



## **Projekt „ArguKos“**

### **„Schwarze Löcher – Argumentieren lernen in der modernen Kosmologie“**

**Fragebogen während der Bearbeitung des E-Learning-Kurses**

In Zusammenarbeit mit:

**Hans Böckler  
Stiftung** 

**Vielen Dank, dass Sie an dieser Studie teilnehmen!**

Mit folgendem Fragebogen möchten wir gerne etwas über Ihr Erleben in der heutigen Unterrichtsstunde erfahren.

Die Fragen können durch einfaches Ankreuzen beantwortet werden. Sie werden eine genaue Anleitung an der entsprechenden Stelle finden. Bitte antworten Sie möglichst spontan und wahrheitsgetreu.

Die Teilnahme an der Befragung ist **freiwillig**. Bei Nichtteilnahme entstehen für Sie keinerlei Nachteile. Es besteht auch die Möglichkeit, einzelne Fragen des Fragebogens unbeantwortet zu lassen.

Ihre Angaben werden wir **anonym** behandeln und mit den Ergebnissen **vertraulich** umgehen. Da wir nicht nach Ihrem Namen fragen, bitten wir Sie, einen 5-stelligen Code zu generieren. Dieser wird ausschließlich für die wissenschaftliche Auswertung der Untersuchung genutzt.

Der Personencode wird aus dem ersten Buchstaben Ihres Geburtsorts, dem zweiten Buchstaben Ihres Vornamens und dem dritten Buchstaben Ihres Nachnamens sowie den jeweils letzten Ziffern Ihres Geburtstags und Ihres Geburtsjahres gebildet.	So lautet der Code für die aus <b>M</b> ünchen (1. Stelle) stammende <b>C</b> laudia (2. Stelle) <b>K</b> rüger (3. Stelle), geb. am <b>26.03.1999</b> (4. und 5. Stelle):  <b>MLÜ69.</b>
---	---

**Ihr Code:**    \_ \_ \_ \_ \_

Nach Projektabschluss im Oktober 2017 werden alle Codes gelöscht. Nach 10 Jahren Speicherung werden schließlich alle Daten vernichtet. Sie können Ihre Teilnahme an der Befragung auch jederzeit zurückziehen. In diesem Fall werden alle Angaben von Ihnen im Datensatz gelöscht.

Wir beantworten Ihnen gerne Fragen zu unserem Projekt „ArguKos“. Bitte wenden Sie sich dazu an folgende Adresse:

Magdalena Brunner  
Professur für Gymnasialpädagogik  
TUM School of Education, Technische Universität München  
Arcisstraße 21,  
80333 München

**1. Inwieweit treffen die folgenden Aussagen auf Ihre heutigen Erfahrungen während der Bearbeitung des E-Learning-Kurses zu?**

Bitte lesen Sie jede Aussage sorgfältig durch. Schätzen Sie dann ein, wie gut jede Aussage auf Sie zutrifft. Machen Sie bitte in jedem Kästchen nur ein Kreuz und lassen Sie kein Kästchen aus.

	Gar nicht	Kaum	Etwas	Ziemlich	Sehr
Der E-Learning-Kurs war unterhaltsam.	<input type="checkbox"/>				
Ich fand den E-Learning-Kurs spannend.	<input type="checkbox"/>				
Der E-Learning-Kurs hat mir Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>				
Der E-Learning-Kurs hat meine Neugier geweckt.	<input type="checkbox"/>				
Der E-Learning-Kurs konnte meine Aufmerksamkeit fesseln.	<input type="checkbox"/>				
Ich habe mich auf den E-Learning-Kurs konzentriert.	<input type="checkbox"/>				
Ich bin während des E-Learning-Kurses auf Themen gestoßen, zu denen ich gerne mehr Information hätte.	<input type="checkbox"/>				
Über Teile des E-Learning-Kurses möchte ich gerne mehr erfahren.	<input type="checkbox"/>				
Für mich haben sich während des E-Learning-Kurses neue Fragen ergeben, auf die ich gerne eine Antwort hätte.	<input type="checkbox"/>				
Das Thema des E-Learning-Kurses ist mir wichtig.	<input type="checkbox"/>				
Die Beschäftigung mit den Inhalten des E-Learning-Kurses war für mich nützlich.	<input type="checkbox"/>				
Die Inhalte des E-Learning-Kurses sind für mich bedeutsam.	<input type="checkbox"/>				

**2. Wir würden auch gerne wissen, wie Sie den E-Learning-Kurs erlebt haben.**

Während des E-Learning-Kurses hatte ich das Gefühl, dass ...

	Gar nicht	Kaum	Etwas	Ziemlich	Sehr
... ich auch schwierige Themen verstanden habe.	<input type="checkbox"/>				
... ich auch schwierige Fragen selbständig lösen konnte.	<input type="checkbox"/>				
... ich den Anforderungen gewachsen war.	<input type="checkbox"/>				
... ich die gestellten Anforderungen gut bewältigen konnte.	<input type="checkbox"/>				
... ich mir neue Inhalte selbstständig erarbeiten konnte	<input type="checkbox"/>				
... ich währenddessen selbst aktiv werden konnte.	<input type="checkbox"/>				
... ich selbst entscheiden konnte, wie ich die Dinge angehe.	<input type="checkbox"/>				
... ich viele Freiheiten hatte.	<input type="checkbox"/>				
... ich meine eigenen Fragen/ Ideen einbringen konnte.	<input type="checkbox"/>				
... der E-Learning-Kurs meine Erwartungen erfüllt hat.	<input type="checkbox"/>				
... der E-Learning-Kurs so war, wie ich ihn mir wünsche.	<input type="checkbox"/>				
... der E-Learning-Kurs so war, wie ich ihn mir vorstelle.	<input type="checkbox"/>				
... der E-Learning-Kurs so war, wie er aus meiner Sicht aus sein sollte.	<input type="checkbox"/>				

**3. Angaben zu Ihrer Person:**

Wie alt sind Sie?

\_\_\_\_\_

Sie sind ...

weiblich  männlich



TUM School of Education

Professur für Gymnasialpädagogik



## **Projekt „ArguKos“**

### **„Schwarze Löcher – Argumentieren lernen in der modernen Kosmologie“**

**Fragebogen nach der Bearbeitung des E-Learning-Kurses**

In Zusammenarbeit mit:

**Hans Böckler  
Stiftung** 

**Vielen Dank, dass Sie an dieser Studie teilnehmen!**

Mit folgendem Fragebogen möchten wir gerne etwas über Ihre Kenntnisse und Erfahrungen im Bereich der Naturwissenschaften und der Lernumgebung erfahren.

Die Fragen können überwiegend durch einfaches Ankreuzen beantwortet werden. Bitte antworten Sie möglichst spontan und wahrheitsgetreu. Achten Sie bitte auch darauf, keine personenbezogenen Angaben über Dritte, z.B. Mitschüler, Lehrkräfte, Eltern, etc. zu machen.

Die Teilnahme an der Befragung ist **freiwillig**. Bei Nichtteilnahme entstehen für Sie keinerlei Nachteile. Es besteht auch die Möglichkeit, einzelne Fragen des Fragebogens unbeantwortet zu lassen.

Ihre Angaben werden wir **anonym** behandeln und mit den Ergebnissen **vertraulich** umgehen. Da wir nicht nach Ihrem Namen fragen, bitten wir Sie, einen 5-stelligen Code zu erstellen. Dieser wird ausschließlich für die wissenschaftliche Auswertung der Untersuchung genutzt.

Der Personencode wird aus dem ersten Buchstaben Ihres Geburtsorts, dem zweiten Buchstaben Ihres Vornamens und dem dritten Buchstaben Ihres Nachnamens sowie den jeweils letzten Ziffern Ihres Geburtstags und Ihres Geburtsjahres gebildet.	So lautet der Code für die aus <b>M</b> ünchen (1. Stelle) stammende <b>C</b> laudia (2. Stelle) <b>K</b> rüger (3. Stelle), geb. am <b>26.03.1999</b> (4. und 5. Stelle): <b>MLÜ69.</b>
---	---

Ihr Code:        \_ \_ \_ \_ \_

Nach Projektabschluss im Oktober 2017 werden alle Codes gelöscht. Nach 10 Jahren Speicherung werden schließlich alle Daten vernichtet. Sie können Ihre Teilnahme an der Befragung auch jederzeit zurückziehen. In diesem Fall werden alle Angaben von Ihnen im Datensatz gelöscht.

Wir beantworten Ihnen gerne Fragen zu unserem Projekt „ArguKos“. Bitte wenden Sie sich dazu an folgende Adresse:

Magdalena Brunner  
Professur für Gymnasialpädagogik  
TUM School of Education, Technische Universität München  
Arcisstraße 21,  
80333 München

### 1. Wer hat wohl Recht?

In diesem Teil des Fragebogens möchten wir herausfinden, wer Ihrer Meinung nach Recht hat und warum. Die Aufgaben finden Sie direkt bei den Cartoons.

#### 1.1 Berg und Tal



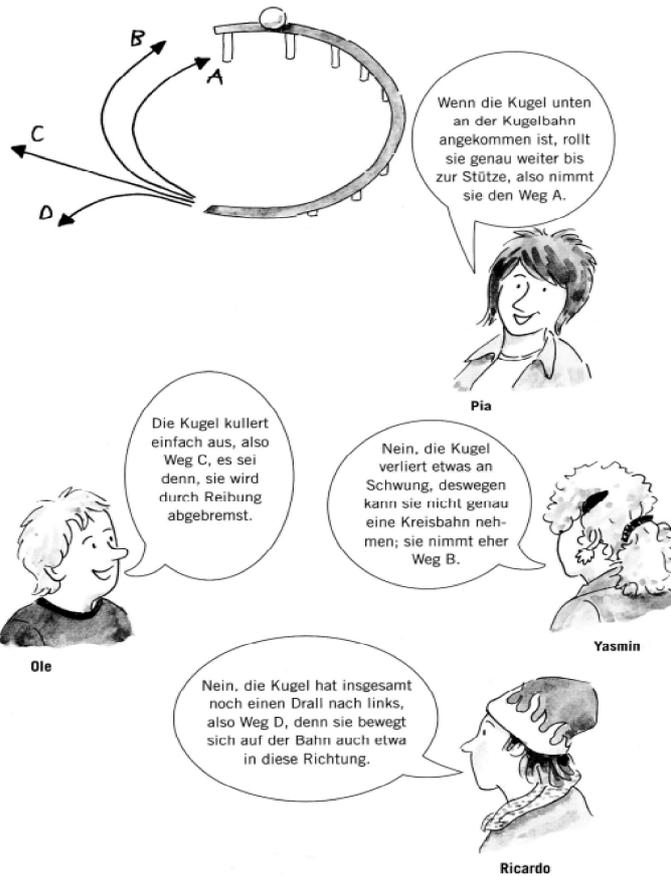
---

---

---

---

## 1.2. Die Kugelbahn



### Aufgabe:

Betrachten Sie das Bild und lesen Sie was die Kinder sagen.

Was meinen Sie, welchen Weg die Kugel nehmen wird? Schreiben Sie zu Ihrer Entscheidung ein Argument mit dem Sie jemanden überzeugen können.

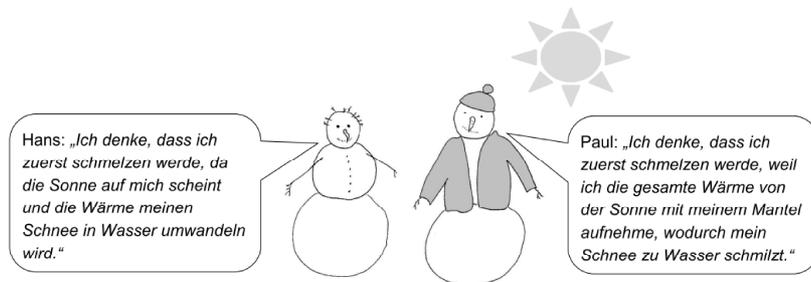
---

---

---

---

### 1.3. Die Schneemänner



Betrachten Sie das Bild und lesen Sie was die Schneemänner sagen.  
Was denken Sie welcher der Schneemänner zuerst schmelzen wird? Schreiben Sie zu Ihrer Entscheidung ein Argument mit dem Sie jemanden überzeugen können.

---



---



---



---

### 2. Wir würden gerne wissen, wie gut Sie die Lernumgebung bedienen konnten.

Bitte in jeder Zeile nur ein Kästchen ankreuzen.

	Gar nicht	Kaum	Etwas	Ziemlich	Sehr
Die Bedienung der Lernumgebung ist klar und verständlich.	<input type="checkbox"/>				
Die Bedienung der Lernumgebung erfordert nicht viel Denkarbeit	<input type="checkbox"/>				
Ich finde es leicht, dass die Lernumgebung das macht, was ich möchte	<input type="checkbox"/>				
Ich finde es einfach die Lernumgebung zu bedienen.	<input type="checkbox"/>				

**3. Wie sehr treffen die folgenden Aussagen zum Thema Arbeiten mit dem Computer auf Sie zu?**

Bitte in jeder Zeile nur ein Kästchen ankreuzen.

	Stimme gar nicht zu	Stimme kaum zu	Stimme etwas zu	Stimme ziemlich zu	Stimme sehr zu
Es ist mir sehr wichtig, mit dem Computer zu arbeiten.	<input type="checkbox"/>				
Es macht wirklich Spaß, mit dem Computer zu spielen oder zu arbeiten.	<input type="checkbox"/>				
Ich benutze den Computer, weil ich sehr daran interessiert bin.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich am Computer arbeite, vergesse ich die Zeit.	<input type="checkbox"/>				

**4. Wie sehr treffen die folgenden Aussagen auf Sie zu?**

Bitte in jeder Zeile nur ein Kästchen ankreuzen.

	Trifft gar nicht zu	Trifft kaum zu	Trifft etwas zu	Trifft ziemlich zu	Trifft sehr zu
Ich kann mich lange Zeit auf eine Sache konzentrieren.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich von einer Sache abgelenkt werde, komme ich schnell wieder zum Thema zurück.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich bei einer Tätigkeit zu aufgeregt werde, kann ich mich so beruhigen, dass ich bald wieder weiter-machen kann	<input type="checkbox"/>				
Wenn bei einer Tätigkeit eine sachliche Haltung nötig ist, kann ich meine Gefühle unter Kontrolle bringen.	<input type="checkbox"/>				
Wenn störende Gedanken auftreten, kann ich sie nur schwer von mir wegschieben.	<input type="checkbox"/>				
Ich kann es verhindern, dass meine Gedanken ständig von der Aufgabe abschweifen.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich Sorgen habe, kann ich mich nicht auf eine Tätigkeit konzentrieren.	<input type="checkbox"/>				
Nach einer Unterbrechung finde ich problemlos zu einer konzentrierten Arbeitsweise zurück.	<input type="checkbox"/>				
Alle möglichen Gedanken oder Gefühle lassen mir einfach keine Ruhe zum Arbeiten.	<input type="checkbox"/>				
Ich behalte mein Ziel im Auge und lasse mich nicht vom Weg abbringen.	<input type="checkbox"/>				

**5. In diesem Teil des Fragebogens geht es speziell um die Schule und das Lernen in Physik. Bitte lesen Sie sich jede Aussage sorgfältig durch. Schätzen Sie dann ein, wie gut jede Aussage auf Sie zutrifft.**

Bitte in jeder Zeile nur ein Kästchen ankreuzen.

	Trifft gar nicht zu	Trifft kaum zu	Trifft etwas zu	Trifft ziemlich zu	Trifft sehr zu
Das Fach Physik interessiert mich.	<input type="checkbox"/>				
Ich könnte mir vorstellen, Physik zu studieren.	<input type="checkbox"/>				
Das Fach Physik ist eines meiner Lieblingsfächer.	<input type="checkbox"/>				
Es macht mir Spaß Aufgaben in Physik zu bearbeiten.	<input type="checkbox"/>				
Für das Fach Physik zu arbeiten, ist eine schöne Sache.	<input type="checkbox"/>				
Ich beschäftige mich gerne mit Physik in meiner Freizeit.	<input type="checkbox"/>				
Nach einem langen Wochenende oder Urlaub freue ich mich auf den Unterricht in Physik.	<input type="checkbox"/>				
Über Inhalte und Aufgaben des Faches Physik zu reden, macht mir Spaß.	<input type="checkbox"/>				

**6. Wie sehr treffen folgende Aussagen zum Thema Lesen auf Sie zu?**

Bitte in jeder Zeile nur ein Kästchen ankreuzen.

Ich lese ...	Nie oder fast nie	Ein- bis zweimal im Monat	Ein- bis zweimal pro Woche	Fast jeden Tag	Jeden Tag
... Belletristik (z.B. Romane, Krimis)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... lese Sachbücher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... lese Zeitungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... lese Comics.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... lese Zeitschriften.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... lese wissenschaftliche Fachbücher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... lese Artikel/Aufsätze im Internet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... lese anderes und zwar:	_____				

**7. Angaben zu Ihrer Person:**

Wie alt sind Sie?

\_\_\_\_\_

Sie sind ...

weiblich     männlich

## Anhang 6: Kodiermanual „ArguKos“

### Projekt „ArguKos – Argumentieren in der Kosmologie“ Kodiermanual zur Auswertung der Schülerinnen- & Schülerargumente

#### **1. Verwendete Beispiele**

Alle angeführten Beispiele sind Originalantworten der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler, die mit den jeweiligen Identifikationscodes zur Anonymisierung versehen wurden. Die Aussagen wurden in der ursprünglichen Schreibweise der Schülerinnen und Schüler übernommen.

#### **2. Die Aufteilung der Argumente**

Bei der Aufteilung der Argumente in einzelne Aussagen ist auf folgende Hinweise zu achten:

- Die Reihenfolge der Aussagen bleibt bei der Aufteilung der Argumente erhalten.
- Grundsätzlich gilt, dass ein Argument so grob wie möglich und so genau wie nötig aufgeteilt wird. Das bedeutet, dass schon bei der Trennung überprüft werden muss, ob eine potenzielle Aussage einem Elementtyp zugeordnet werden kann.
- Die Satzstruktur, vor allem durch Haupt- und Nebensatzkonstruktionen, bietet oft Hinweise für geeignete Trennungen.
- Nach ganzen Sätzen kann getrennt werden. Die Abtrennung der Nebensätze ist nicht erforderlich. Sie hängt allerdings vom inhaltlichen Zusammenhang zwischen dem Neben- und Hauptsatz ab. Nebensätze werden dann getrennt, wenn die nachfolgenden Trennungsregeln (siehe nachfolgende Tabellen „Trennungsregeln und Beispiele - Teil 1“ und „Trennungsregeln und Beispiele - Teil 2“) eingehalten werden.

Trennungsregeln und Beispiele:

<b>Prämisse / Regel</b>	<b>Hinweise</b>	<b>Beispiele</b>
Das Argument soll in dem Sinne getrennt werden, dass jedes entstehende Element eine eigenständige Aussage beinhaltet.	Hiermit soll vor allem vermieden werden, dass die Aufteilung zu fein wird.  <u>Nicht</u> getrennt werden sollen: - einfache Einschübe - inhaltliche Ergänzungen - Anmerkungen - Ausführungen zu einem Sachverhalt	<u>Nicht</u> getrennt werden soll:  „Das Licht ist eine Welle, mit einer Wellenlänge von ...“  „Photonen sind Teilchen, die immer in Bewegung sind.“  „Das Teilchencharakter, also dass das Licht noch neben Welleneigenschaften auch Photonen besitzt, lässt sich z.B. mit einem Versuch wie dem ‚Photoeffekt‘ zeigen.“
Trennung bei Adverbialsätzen.	Bei nachfolgenden Adverbialsätzen wird stets eine Trennung vorgenommen:  Kausalsätze mit den Konjunktionen: <i>weil, da, zumal</i> , und mit den Indikatoren: <i>auf Grund, denn, wegen</i>  Konditionalsätze mit den Konjunktionen: <i>wenn, falls, sofern</i>  Finalsätze mit den Konjunktionen: <i>damit, um ... zu</i>	

Trennungsregeln und Beispiele – Teil I

Prämisse/ Regel	Hinweise	Beispiele
Trennung bei Aufzählung, wenn einzelne Elemente inhaltlich unabhängig voneinander sind.	Entscheidend ist hier, ob mit der Aufzählung z.B. ein neuer potentieller Fakt mit unabhängiger Aussage genannt wird oder ob die Aufzählung lediglich dazu dient, einen bereits genannten Punkt zu ergänzen.	Hier kann getrennt werden, da ein neuer Aspekt aufgezeigt wird:  „da sie realistische Beispiele/ und eine nachvollziehbare Argumentationsstruktur verwendet hat.“  Hier bleibt die Antwort zusammen, da sich beide Aussagen auf einen Vorgang beziehen:  „Die Gravitation ist so stark, dass sogar Licht vom schwarzen Loch angezogen wird und auch verschluckt wird“
Sollten Aussagen so geschrieben sein, dass sie nicht sinnvoll zu trennen sind, wird die Verschachtelung in Klammern gesetzt und als neues Element eingetragen.	Nebensatzzeitschübe, die die Struktur des umklammernden Satzes nicht beeinflussen (Appositionen, Parenthesen).  Zur Kodierung: Hier wird das erste Element so zugeordnet, als sei das eingeklammerte Element nicht vorhanden.	1. Element: <i>Er wird zunächst immer kleiner [da das Loch ih zu sich hinzieht] und anschließend wird er von dem schwarzen Loc verschluckt.</i>  2. Element: <i>[da das Loch ih zu sich hinzieht]</i>
Zusammenhängende Passagen die keinen inhaltlichen Bezug zur Fragestellung haben, werden <u>nicht</u> getrennt.	An dieser Stelle muss erkennbar sein, dass die Aussage keinen direkten Bezug zur Aufgabenstellung hat. Dies gilt für die gesamten Argumente sowie für zusammenhängende Elemente in einem Argument.	„Ich der entsetzte Zuschauer des markarbereren Horrorszenarios, fassungslos darüber, wie so etwas passieren konnte, obwohl wir doch auf jede Eventualität vorbereitet waren, jahrelang trainiert hatten, zurückgelassen mit der bohrenden Frage, warum Peter von uns gehen musste, mich fragend, ob es meine Schuld war, ob ich es hätte verhindern können, wissend (...)“

Trennungsregeln und Beispiele – Teil 2

## 2. Die Kodierung

Jedes Element wird anschließend mit einer zweistelligen Zahl (XY) kodiert. Die erste Stelle „X“ entspricht der Zuordnung der Ebene und die zweite Stelle „Y“ entspricht der Zuordnung des Elementtyps.

### 2.1 Die verschiedenen Ebenen (X)

Die verschiedenen Ebenen wurden eingeführt, um die teils komplexen Strukturen innerhalb der Argumentationen der Schülerinnen und Schüler besser abbilden zu können und um einen Eindruck von den Verknüpfungen verschiedener Aussagen zu bekommen. Die Anzahl der genutzten Ebenen kann als Maß für die Tiefe des logisch-strukturellen Aufbaus eines Argumentes gesehen werden.

Die einzelnen Ebenen können dann unabhängig voneinander betrachtet werden. So kann ein Element auf einer Ebene als Behauptung und auf einer anderen Ebene als Fakt kodiert werden. Eine Gruppe von Elementen wird genau dann einer nächst höheren Ebene zugeordnet, wenn:

1. Die Gruppe selbst als Argument gesehen werden kann. Dafür besteht es aus:
  - a) Einem Element des Typs Behauptung,
  - b) eindeutig verknüpft mit einem Element des Typs Fakt und
  - c) beliebigen anderen Elementen

und

2. Eines der Elemente bereits als Element auf der niedrigeren Ebene kodiert wurde.

Die Kodierung lautet dann wie folgt:

<b>Ebene</b>	<b>Kodierung</b>
1. Ebene	1Y
2. Ebene	2Y
3. Ebene	3Y

Kodierung der Ebenen

2.2. Zuordnung der Elemente zu den Elementtypen (Y)

Elementtyp	Beschreibung, besondere Merkmale, Hinweise, Hilfsfragen (HF)	Beispiele zur Verdeutlichung
Behauptung (X1)	- Auf der ersten Ebene: direkte Antwort auf die Fragestellung der entsprechenden Argumentationsaufgabe.	
	- Hiervon soll überzeugt werden.	
	- Oft direkte Wiederholung der Antwortmöglichkeiten.	„Ja, ich glaube, dass wir in die Vergangenheit gucken“
	- Steht oft am Anfang der Antwort.	„a), Licht ist ein Teilchen“
Fakt (X2)	- Muss jedoch nicht immer am Anfang der Antwort stehen.	
	- Auf allen Ebenen: alle Aussagen, die von einer anderen Aussage innerhalb der Antwort gestützt werden.	<p><u>Erste Ebene:</u> Behauptung: „Nein“ Fakt: „da der Fakt pseudoevident ist.“</p> <p><u>Zweite Ebene:</u> Behauptung: „da der Fakt pseudoevident ist.“ Fakt: „Man kann nicht nachprüfen, ob die Funktion von Strim und Medikamenten von den Leuten nicht hinterfragt werden.“</p>
Fakt (X2)	Fakten oder Aussagen, die zur Begründung einer Behauptung herangezogen werden.	
	- Unabhängig davon, ob sie sachlich /fachlich richtig /leicht nachweisbar oder (teilweise) falsch sind.	Behauptung: „und wird dann plötzlich vollständig verschwinden,“  Fakt: „da das Licht auch nicht aus dem Schwarzschildradius entweichen kann“
	- Sollte eindeutig mit einer Behauptung verknüpft sein.	Behauptung: „da die Lichtteilchen (auf Grund der Gravitationskraft von der Sonne abgelenkt wird)“  Fakt: „auf Grund der Graviationskraft von der Sonne“
	Direkter Hinweis: Kausalsatz beginnend mit: weil, da zumal, auf Grund, wegen, denn HF:: Was wird als Information angeboten?	
Zuordnung zu den Elementtypen „Behauptung“ und „Fakt“		

Elementtyp	Beschreibung, besondere Merkmale, Hinweise, Hilfsfragen (HF)	Beispiele zur Verdeutlichung
Schlussregel (X3)	Schafft eine logische Verbindung zwischen Fakt und Behauptung - Erklärt und erläutert, weshalb ein Fakt eine Behauptung stützt.	Behauptung: „ <i>Meiner Meinung nach schmilzt der Schnee im Tal schneller,</i> “  Fakt: „ <i>weil mit der Höhe die Temperatur sinkt</i> “  Schlussregel: „ <i>und somit der Schnee am Berg auch trotz der größeren Menge nicht schneller schmelzen kann.</i> “
	HF: Kann die fragliche Aussage als Stützung für eine potentielle Schlussregel gesehen werden, die den Fakt mit der entsprechenden Behauptung verknüpft?	Behauptung: „ <i>Er wird zunächst kleiner und dann, sobald er den Schwarzschildradius überschreitet, verschwindet er</i> “  Fakt: „ <i>dies lässt sich dadurch erklären, da man nur etwas sehen kann, wenn Licht auf es fällt</i> “  Schlussregel: „ <i>und da das schwarze Loch Licht absorbiert, kann man ihn auch nicht mehr sehen</i> “
Einschränkung (X4)	Bedingungen für das Eintreffen einer anderen Aussage - Die Einschränkungen sind immer mit einer Aussage verknüpft.	Behauptung: „ <i>Das schwarze Loch kann uns verschlingen</i> “  Einschränkung: „ <i>falls der Stern eine Position nicht ändert &amp; in unserem Sonnensystem bleibt</i> “
	- Keine einzelnen Wörter. - Die Einschränkungen sind durch Konditionalsätze gekennzeichnet. Indikatoren: <i>wenn, falls, teilweise ...</i>	
Zuordnung zu den Elementtypen „Schlussregel“ und „Einschränkung“		

<b>Elementtyp</b>	<b>Beschreibung, besondere Merkmale, Hinweise, Hilfsfragen (HF)</b>	<b>Beispiele zur Verdeutlichung</b>
Einwand (X5)	Aussage, die anderen angebrachten Evidenzen widerspricht und somit die Aussagekraft derer vermindert. - Indikatoren: <i>jedoch, aber, obwohl, allerdings, usw.</i>	Behauptung: „ <i>Ja, es ist überzeugend</i> “  Einwand: „ <i>allerdings hätte ich ein anderes Beispiel als die Lehrerin gewählt, weil dieses nicht so überzeugend ist.</i> “
Nicht zuzuordnen (88)	Aussagen, auf die keine Kodierung passt.	„ <i>Ich der entsetzte Zuschauer des markanteren Horrorszenarios, fassungslos darüber, wie so etwas passieren konnte, obwohl wir doch auf jede Eventualität vorbereitet waren, jahrelang trainiert hatten, zurückgelassen mit der bohrenden Frage, warum Peter von uns gehen musste, mich fragend, ob es meine Schuld war, ob ich es hätte verhindern können, wissend (...)</i> “
Keine Antwort (-99)		

Zuordnung den Elementtypen „Einwand“, „Nicht zuzuordnen“ und „keine Antwort“

### 3. Beispiele für die Kodierung

#### Beispiele für die Kodierung auf der 1. Ebene

Code	Argumentationsaufgabe	Argumentation	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3
AHS	Concept Cartoon Vorbe- fragung	<i>Meiner Meinung nach schmilzt der</i>	11		
		<i>Schnee im Tal schneller,</i>	12		
		<i>weil mit der Höhe die Temperatur sinkt</i>	13		
Aei40	UE 5	<i>und somit der Schnee am Berg auch trotz der größeren Menge nicht schneller schmelzen kann.</i>			
		<i>Er wird immer kleiner, bis er im Zentrum des schwarzen Lochs angekommen ist und dann verschwindet.</i>	11		
		<i>Dies ist der Fall, da man zwar in den Schwarzschildradius gelangen muss, um in ein schwarzes Loch zu "fallen", dennoch aber sichtbar für das menschliche Auge bleibt.</i>	12		
		<i>Dies bezieht sich übrigens nicht nur auf Menschen, sondern auch auf alle materiellen Gegenstände, sprich das Seil würde auch miteingezogen werden.</i>	15		
			88		

Beispiele für die Kodierung auf 1. Ebene

#### Beispiele für die Kodierung auf der 2. Ebene

Code	Argumentationsaufgabe	Argumentation	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3
SAK39	Concept Cartoon Vorbe- fragung	<i>Wenn die Kugel wegfliegt, kann die weder nach innen fliegen noch nach draußen fliegen,</i>	12	21	
		<i>da es die Zentripedalkraft bzw. Stützkraft nicht mehr gibt.</i>		22	
		<i>Daraus folgt, dass die Kugel geradlinig weiter fliegt.</i>	11		
ADA60	Concept Cartoon Nach- Befragung	<i>Ich glaube der Schnee schmilzt schneller auf dem Berg,</i>	11		
		<i>da dort ein Wald Schatten auf den Boden wirft,</i>		22	
		<i>dort somit nicht so viel Sonnenlicht den Boden erwärmt</i>	12	21	
		<i>und den Schnee zum schmelzen bringt wie im unbewachsenen Tal.</i>		23	

Beispiele für die Kodierung auf 2. Ebene

Beispiele für die Kodierung auf der 3. Ebene

Code	Argumen- tations- aufgabe	Argumentation	Ebene1	Ebene2	Ebene 3
Aie79	Concept	<i>Behauptung Eric hat recht</i>	11		
	Cartoon	<i>Begründung Im Tal schmilzt der</i>	12	21	
	Nach- Befragung	<i>Schnee schneller</i>			32
		<i>da dieser näher am Erdmittelpunkt liegt und es dort wärmer ist. Außerdem kann man im Winter auch wen im Tal kein Schnee liegt auf dem Berg Ski fahren</i>	12	22	31
TLV10	Concept	<i>Er entfernt sich vom Raumschiff,</i>	12		
	Cartoon	<i>also wird er zuerst kleiner und</i>			
	Nach- Befragung	<i>verschwindet dann vollständig nach dem Unterschreiten des Schwarzschildradius, da innerhalb des Schwarzschildradius die Gravitationskraft so stark ist, dass kein Licht mehr nach außen kommt.</i>	11		32
		<i>Weshalb man ihn dann auch nicht mehr sieht.</i>	12	21	31

Beispiele für die Kodierung auf 3. Ebene

#### 4. Zuordnung des Skalenwerts

Als letzter Schritt der Kodierung wird den getrennten und auf die Ebenen verteilten Argumenten jeweils ein Skalenwert zugeordnet. Durch den Skalenwert wird die Gesamtleistung der Schülerinnen und Schüler zusammengefasst und bewertet. Durch die Bewertung mit einer siebenstufigen Skala wird ein differenzierter Blick auf die Argumentationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler ermöglicht.

##### 4.1 Die Skalenwerte und deren Bedeutung

Skalenwert	Bedeutung
1	Ein oder mehrere Bestandteile, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.
2	Nur ein Bestandteil (Behauptung oder Fakt), der zur Argumentationsaufgabe passt.
3	Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf einer Ebene ohne Schlussregel. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.
4	Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf mehreren Ebenen ohne Schlussregel. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.
5	Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf einer Ebene mit einer Schlussregel. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.
6	Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf mehreren Ebenen mit einer Schlussregel. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.
7	Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf mehreren Ebenen mit mehreren Schlussregeln. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.

Die Skalenwerte und deren Bedeutung

## 4.2. Beispiele für die Skalenwerte anhand von verschiedenen Argumenten

### Beispiele für Skalenwert 1

(Ein oder mehrere Bestandteile, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen)

Unter Einbeziehung der detaillierten Aufgabenstellung ist erkennbar, warum das Argument von AEU00 als „nicht zuzuordnen“ kodiert worden ist.

Code	Argumen- tations- aufgabe	Argumentation	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Skalen- wert
AHE90	UE 5	<i>Ich der entsetzte Zuschauer des markarbereren Horrorszenarios, fassungslos darüber, wie so etwas passieren konnte, obwohl wir doch auf jede Eventualität vorbereitet waren, jahrelang trainiert hatten, zurückgelassen mit der bohrenden Frage, warum Peter von uns gehen musste, mich fragend, ob es meine Schuld war, ob ich es hätte verhindern können, wissend, (...)</i>	88			1
AEU00	UE 3	<i>Der Betrag der Lichtgeschwindigkeit ist beträchtlich. Dennoch muss das Licht auf dem Weg von der Sonne zur Erde sehr weite Strecken zurücklegen, wofür es wie jede andere Sache natürlich auch Zeit benötigt. Dies ist vergleichbar mit dem Schall auf der Erde, der beispielsweise bei Gewitter zeitverzögert zum Licht hörbar ist. Bei genügend großen Strecken ist dies sogar bei Licht zu beobachten, so auch bei Erde und Sonne. Daher ist das, was wir auf der Erde vom Weltraum wahrnehmen, (...)</i>	88			1

Beispiele für Skalenwert 1

Beispiele für Skalenwert 2

(Nur ein Bestandteil (Behauptung oder Fakt), der zur Argumentationsaufgabe passt)

<b>Code</b>	<b>Argumen- tations- aufgabe</b>	<b>Argumentation</b>	<b>Ebene 1</b>	<b>Ebene 2</b>	<b>Ebene 3</b>	<b>Skalen- wert</b>
Peh10	Concept Cartoon Vorbe- fragung	<i>schnee schmilzt zuerst im tal allerdings nicht weil es näher am erdmittelpunkt liegt</i>	11			2
Sau60	UE 5	<i>er wird immer kleiner und verschwindet, sobald er im Radius ist.</i>	11			2

Beispiele für Skalenwert 2

Beispiele für Skalenwert 3

(Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf einer Ebene ohne Schlussregel. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.)

Code	Argumen- tations- aufgabe	Argumentation	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Skalen- wert
AOE40	UE 3	<i>Man sieht, wenn man zur Sonne sieht, in die Vergangenheit.</i>	11			
		<i>Denn bevor das Licht in unserem Auge ankommt vergeht etwas Zeit.</i>	12			
		<i>Das ist nicht nur beim Blick in die Sonne so, sondern auch bei anderen Sternen so und auch bei Objekten die näher sind.</i>	12			3
		<i>Mal vergeht mehr Zeit, mal weniger. Im wenn man etwas anschaut vergeht Zeit mal nicht mal ein hunderste Teil ein Sekunde mal mehrere Stunden.</i>	88			
Aei40	UE 5	<i>Er wird immer kleiner, bis er im Zentrum des schwarzen Lochs angekommen ist und dann verschwindet.</i>	11			
		<i>Dies ist der Fall, da man zwar in den Schwarzschildradius gelangen muss, um in ein schwarzes Loch zu "fallen", dennoch aber sichtbar für das menschliche Auge bleibt.</i>	12			3
		<i>Dies bezieht sich übrigens nicht nur auf Menschen, sondern auch auf alle materiellen</i>	15			
		<i>Gegenstände, sprich das Seil würde auch miteingezogen werden.</i>	88			

Beispiele für Skalenwert 3

Beispiele für Skalenwert 4

(Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf mehreren Ebenen ohne Schlussregel. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.)

<b>Code</b>	<b>Argumen- tations- aufgabe</b>	<b>Argumentation</b>	<b>Ebene 1</b>	<b>Ebene 2</b>	<b>Ebene 3</b>	<b>Skalen- wert</b>
SAK39	Concept Cartoon Vorbe- fragung	<i>Wenn die Kugel wegfliegt, kann die weder nach innen fliegen noch nach draußen fliegen, da es die Zentripetalkraft bzw. Stützkraft nicht mehr gibt. Daraus folgt, dass die Kugel geradlinig weiter fliegt.</i>	12	21 22		4
Aie79	Concept Cartoon Nachbe- fragung	<i>Behauptung Eric hat recht Begründung Im Tal schmilzt der Schnee schneller da dieser näher am Erdmittelpunkt liegt und es dort wärmer ist. Außerdem kann man im Winter auch wen im Tal kein Schnee liegt auf dem Berg Ski fahren</i>	11 12 12	21 22	32 31	4

Beispiele für Skalenwert 4

Beispiel für Skalenwert 5

(Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf einer Ebene mit einer Schlussregel. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.)

<b>Code</b>	<b>Argumen- tations- aufgabe</b>	<b>Argumentation</b>	<b>Ebene 1</b>	<b>Ebene 2</b>	<b>Ebene 3</b>	<b>Skalen- wert</b>	
AHS20	ACC1	Meiner Meinung nach schmilzt der Schnee im Tal schneller, weil mit der Höhe die Temperatur sinkt und somit der Schnee am Berg auch trotz der größeren Menge nicht schneller schmelzen kann.	11			<b>5</b>	
			12				
			13				
FEB67	ACC1	Meiner Meinung nach hat Eric Recht, weil auf den Bergspitzen oft noch Schnee liegt selbst wenn im Tal keiner mehr liegt. Außerdem speichert der Boden die Wärme und der Schnee schmilzt daher im Tal schneller.	11			<b>5</b>	
			12				
			12				
			13				

Beispiele für Skalenwert 5

Beispiele für Skalenwert 6

(Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf mehreren Ebenen mit einer Schlussregel. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.)

Code	Argumcn- tations- aufgabe	Argumentation	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Skalen- wert
AOE40	GCC1	<i>Ich denke unten schmilzt der Schnee am schnellsten, denn unten, im Tal, wirkt ein höhere Luftdruck. Desto mehr Luft auf einem Objekt liegt, desto mehr masse Drückt auf dieses. Die Masse erzeugt Wärme. Da weniger Luft oben auf den Berg drückt als unten, ist es oben wärmer und der Schnee schmilzt schneller.</i>	11	22	22	6
ADA60	GCC1	<i>Ich glaube der Schnee schmilzt schneller auf dem Berg, da dort ein Wald Schatten auf den Boden wirft, dort somit nicht so viel Sonnenlicht den Boden erwärmt und den Schnee zum schmelzen bringt wie im unbewachsenen Tal.</i>	11	22	21	6

Beispiele für Skalenwert 6

Beispiel für Skalenwert 7

(Mehrere Bestandteile ((Teil-)Behauptungen und (Teil-)Fakten) auf mehreren Ebenen mit mehreren Schlussregeln. Darunter können auch Bestandteile sein, die nicht zur Argumentationsaufgabe passen.)

Code	Argumen- tations- aufgabe	Argumentation	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Skalen- wert
SLU19	UE 3	Wir sehen was in der Vergangenheit passiert ist, denn die Brille ermöglicht uns nur in das Sonnenlicht zu schauen ohne geblendet zu werden	11			
		und um den Vorgang sehen zu können, wie wir bereits aus Erfahrung wissen.	12			
		Die Sonne ist allerdings soweit entfernt von uns,		22		7
		dass das Licht eine Weile benötigt um bei uns anzukommen und wir sehen die Finsternis zeitverzögert, also etwas was schon geschehen ist.	12	21		
		Es ist daher nicht möglich zu sehen, was gerade passiert, auch wenn es für uns so wirkt.		23		
			13			

Beispiel für Skalenwert 7

## Anhang 7: Charakteristika der Teilstichprobe U6

In diesem Abschnitt wird die Charakteristik der Teilstichprobe U6 dargestellt.

In der Teilstichprobe U6 verbleiben  $N = 68$  Schülerinnen und Schüler aus  $N = 6$  Klassen von  $N = 7$  bayerischen Gymnasien.

Die Schülerinnen und Schüler sind zwischen 15 und 18 Jahre alt, wobei das durchschnittliche Alter der Schülerinnen und Schüler bei  $M = 16.03$  Jahre ( $SD = .68$ ) liegt. Dabei sind  $n = 35$  (53.0%) der Befragten weiblich und  $n = 31$  (47.0%) männlich.

### Verteilung der Schülerinnen und Schüler auf die Treatments

Im Treatment A (strukturierte Prompts) sind  $n = 20$  (30.3%) Teilnehmende. Von diesen Teilnehmenden sind  $n = 12$  (60.0%) weiblich und  $n = 8$  (40.0%) männlich. Das durchschnittliche Alter beträgt  $M = 16.15$  ( $SD = .75$ ).

Im Treatment B (unstrukturierte Prompts) sind  $n = 26$  (39.4%) der Befragten. Davon sind  $n = 12$  (46.2%) Schülerinnen und  $n = 14$  (53.8%) Schüler, deren durchschnittliches Alter  $M = 16.0$  ( $SD = .69$ ) beträgt.

Im Treatment C (keine Prompts; Kontrollgruppe) sind wieder  $n = 20$  (30.3%) Schülerinnen und Schüler. Das Geschlechterverhältnis teilt sich in  $n = 11$  (55.0%) Schülerinnen und  $n = 9$  (45.0%) Schüler auf. Die Schülerinnen und Schüler haben ein durchschnittliches Alter von  $M = 15.95$  ( $SD = .61$ ).

#### Kontrolle weiterer (individueller) Voraussetzungen

Zur Vergleichbarkeit mit der Teilstichprobe Ü6 werden auch die (individuellen) Voraussetzungen der Teilstichprobe U6 in den Treatments kontrollierend miteinander verglichen. Die Überprüfung der (individuellen) Voraussetzungen findet analog zur Überprüfung der Teilstichprobe Ü6 (Kapitel 7.2.) mittels eines Kruskal-Wallis-Tests (Kruskal & Wallis, 1952) statt. Nachfolgende Tabelle berichtet die asymptotische Signifikanz.

Variable	Asymptotische Signifikanz
Vorwissen zum Thema „Schwarzes Loch“	.07
Freude und Interesse an den Naturwissenschaften	.12
Naturwissenschaftliche Selbstwirksamkeitserwartung	.87
Selbstregulation	.52
Schulfachspezifische Interessen	.53
Freude und Interesse am PC	.10
Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung	.93

Asymptotische Signifikanz der Variablen der Teilstichprobe U6