

**Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im
Biologieunterricht der 6. Klasse:**

**Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem,
epistemologischem und negativem Wissen**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



vorgelegt von Maike Ehmer
Kiel, Mai 2008

Referent/Referentin:

Korreferent/Korreferentin:

Tag der mündlichen Prüfung:

Zum Druck genehmigt: Kiel, den

Der Dekan

Teile dieser Arbeit wurden bereits veröffentlicht unter:

Hammann, M., Phan, T.T.H., Ehmer, M. & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*, 42 (2), 66-72

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die mich auf dem Weg der Dissertation begleitet und unterstützt haben.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Marcus Hammann für seine ausgezeichnete Betreuung – vor Ort und aus der Ferne – aussprechen, die eine für mich perfekte Mischung aus Freiheit und Unterstützung darstellte.

Ich möchte auch Prof. Dr. Helmut Prechtel für seine sehr flexible Unterstützung bei der Entstehung der Dissertation danken, die es mir ermöglichte, meine Arbeit in Kiel zu beenden. Vielen Dank für die kleinen und großen Hilfen, wann immer sie gerade nötig waren.

Herrn Prof. Dr. Horst Bayrhuber und Frau Prof. Dr. Ute Harms danke ich ebenfalls für ihre Unterstützung und Wertschätzung, vor allem für hervorragende und individuelle Arbeitsbedingungen, die viel zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Vielen Dank allen Kolleginnen und Kollegen aus dem IPN für eine Unterstützung, die gar nicht überschätzt werden kann, für erfrischende Mensarunden und fruchtbare Diskussionen in Wissenschaftlertees (und für die Bereitschaft zu akzeptieren, dass negatives Wissen wirklich kein falsches Wissen ist).

Besonders herzlich bedankt sei Dr. Markus Lücken für zwei offene Ohren zu allen Zeiten, für Beratung, Hilfe und praktische Unterstützung nicht nur in statistischen Fragen.

Dr. Martin Senkbeil danke ich ebenfalls für wertvolle Unterstützung bei kniffligen Statistikfragen.

Mein aufrichtiger Dank gilt allen Lehrkräften und vor allem ihren Schülerinnen und Schülern, die an den Interventionen und Tests mit viel Begeisterung bzw. Geduld teilgenommen haben.

Vielen Dank an Meike Bott für ihre Unterstützung bei der Dateneingabe, fachliche Diskussionen und die nettesten kaffeelosen Kaffeepausen der Uni.

Einen ganz herzlichen Dank möchte ich außerdem Simone Lachmayer aussprechen für ihre Begleitung dieser Arbeit von der anderen Seite des Schreibtischs, für Unterstützung bei der Bewältigung kleiner und großer Krisen und vieles mehr.

Für Korrekturlesen im Akkord bedanke ich mich sehr herzlich bei Meike Bott, Annika Burkhardt, Dr. Ingrid Glowinski, Gesa Kramer, Dr. Markus Lücken, Dr. Iris Mackensen-Friedrichs, Sandra Nitz und Tina Westphal.

Zu guter Letzt danke ich Thorsten Ventzke für seine Unterstützung und sein Verständnis während der gesamten Promotionszeit sowie für stete Hilfe in allen Computerfragen.

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	
	Abstract	
1	Einleitung	1
2	Theoretischer Hintergrund	3
2.1	Experimentieren	3
2.1.1	Definition	3
2.1.2	Geschichte des naturwissenschaftlichen Experimentierens	5
2.1.3	Epistemologie des naturwissenschaftlichen Experimentierens.....	6
2.1.4	Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens.....	9
2.1.5	Experimentieren als Problemlöseprozess.....	12
2.1.5.1	Das SDDS-Modell	13
2.1.5.2	Messung von Kompetenzen beim Experimentieren	14
2.1.6	Experimentieren in der Schule	15
2.1.7	Experimentieren in der didaktischen Forschung.....	17
2.1.7.1	Schülervorstellungen zum Experimentieren	18
2.1.7.2	Fehler beim Experimentieren	25
2.1.7.3	Förderung von Fähigkeiten beim Experimentieren.....	33
2.2	Theorie des negativen Wissens	35
2.2.1	Ursprung und Entstehung.....	35
2.2.2	Darstellung der Theorie.....	37
2.2.2.1	Definition des Begriffs Fehler.....	37
2.2.2.2	Abgrenzung der Begriffe Fehler und Schülervorstellung	38
2.2.2.3	Zentrale Aspekte der Theorie.....	39
2.2.2.4	Erwerb von negativem Wissen.....	40
2.2.3	Anwendungen in der Biologiedidaktik	45
3	Empirischer Teil	48
3.1	Ziel der Studie	48
3.2	Forschungsfragen	50
3.3	Hypothesen.....	52
3.4	Material und Methoden	61
3.4.1	Stichprobe.....	61
3.4.2	Forschungsdesign	61
3.4.2.1	Variablen	62
3.4.2.2	Ablauf.....	63
3.4.3	Unterrichtliche Intervention	63
3.4.3.1	Wissensinhalte.....	64
3.4.3.2	Grundsätze der Unterrichtsgestaltung	66

3.4.3.3	Kontrolle potenzieller Störfaktoren.....	70
3.4.3.4	Darstellung des Unterrichtsverlaufs am Beispiel der Zelle 4.....	73
3.4.3.5	Testung und Optimierung der Interventionen	84
3.4.3.6	Durchführung der Interventionen.....	85
3.4.4	Erhebungsmethoden	86
3.4.4.1	Test zum Methodenwissen	86
3.4.4.2	Test zum Epistemologiewissen	95
3.4.4.3	Test zum Verständnis des Experimentierens	101
3.4.4.4	Testdurchführung	117
3.4.5	Auswertungsmethoden	118
3.5	Ergebnisse	120
3.5.1	Beschreibung der Ausgangslage	120
3.5.2	Vermittlung von Methodenwissen (Forschungsfrage 1).....	129
3.5.3	Vermittlung von Epistemologiewissen (Fragestellung 2).....	146
3.5.4	Vermittlung von negativem Wissen (Fragestellung 3)	156
3.5.4.1	Vorwissensabhängige Wirkungsweise des negativen Wissens.....	168
3.6	Zusammenfassende Diskussion.....	182
4	Ausblick.....	189
5	Zusammenfassung der Hauptergebnisse	192
6	Literaturverzeichnis.....	194
7	Anhang	200

Zusammenfassung

Nach dem schlechten Abschneiden deutscher Schülerinnen und Schüler in internationalen Vergleichsstudien im Bereich des naturwissenschaftlichen Experimentierens wurde das Experimentieren als naturwissenschaftliche Erkenntnismethode ins Zentrum des Biologieunterrichts gerückt. In der Folge wurden Bildungsstandards für den Biologieunterricht formuliert, die auch für das Experimentieren verbindliche Lernziele bis zum Ende der Mittelstufe festlegen. In dieser Situation ist es Aufgabe der Biologiedidaktik, wirkungsvolle Vermittlungskonzepte zu entwickeln, durch die das Wissen und Verständnis der Schülerinnen und Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren effektiv gefördert werden kann.

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob das Wissen und Verständnis der Lernenden über das Experimentieren bereits in der Unterstufe gefördert werden kann und welche Arten von Wissen dabei am effektivsten sind.

Dazu wurden in einer Interventionsstudie die Wirkungen der Vermittlung verschiedener Arten von Wissen über das Experimentieren – von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen – verglichen. Den Mittelpunkt der verschiedenen Wissensvermittlungen bildeten die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes, die die Grundlage experimenteller Erkenntnisgewinnung darstellten. In methodischer Hinsicht wurden diese Aspekte als Regeln betrachtet. Als epistemologisches Wissen wurden zusätzlich deren logische Hintergründe thematisiert. Die Vermittlung negativen Wissens beinhaltete dagegen z.B. die Betrachtung von Fehlern beim Experimentieren, wie konfundierte Experimente.

Es zeigte sich, dass eine Vermittlung methodischen Grundwissens bereits in der 6. Klasse möglich ist und das Verständnis der Lernenden über das naturwissenschaftliche Experimentieren deutlich steigert. Die zusätzliche Vermittlung von negativem Wissen führte zu einer stärkeren Verständnissteigerung, die sich vor allem in komplexen Anwendungskontexten bemerkbar machte. Darüber hinaus wurde deutlich, dass der Erwerb negativen Wissens besonders Lernende mit geringem Vorwissen fördert, während von einem Unterricht ohne die Berücksichtigung negativen Wissens nur Lernende mit hohem Vorwissen profitieren. Schwierigkeiten bestanden bei der Vermittlung negativen Wissens bei der Anwendung des Wissens in unstrukturierten Aufgaben. Es erwies sich hier als notwendig, geeignete Maßnahmen zur Sicherung und Strukturierung des Wissens zu berücksichtigen.

Die Wirkung der Vermittlung epistemologischen Wissens konnte in dieser Studie nicht abschließend geklärt werden. Es zeigte sich zwar, dass bereits in der Unterstufe die Möglichkeiten zum Erwerb epistemologischen Wissens gegeben sind. Da jedoch auch die Schülerinnen und Schüler, die keine explizite Vermittlung epistemologischen Wissens erhielten, vergleichbares Wissen aus den Unterrichten ableiten konnten, konnten keine aussagekräftigen Vergleiche hinsichtlich der Wissens- und Verständniseentwicklung beider Gruppen vorgenommen werden. Dieser Aspekt muss in weiteren Studien untersucht werden.

Abstract

After international comparative studies revealed severe weaknesses of German students in the field of scientific inquiry, attention in biological education was turned to scientific experimentation as a method of gaining scientific knowledge. In the aftermath national education standards were introduced for biology education in which obligatory goals were defined for the end of year 10. In this situation research of biology didactics needs to provide effective teaching programmes which are able to enhance both, the students' knowledge and understanding of scientific experimentation.

In this study it was examined if it is possible to enhance students' basic knowledge and understanding of scientific experimentation as early as in year 6 and which kind of knowledge are most effective in this respect.

For this aim, an intervention study was conducted in which the effects of teaching methodical, epistemological and negative knowledge about scientific experimentation were compared. In all interventions the control of variables strategy (CVS) and the principle of an experimental control represented the core of the instructions. In the teaching of methodical knowledge they were discussed as rules of scientific experimentation. When referring to epistemological aspects the logical causes of the rules were additionally considered. Negative knowledge included reflections on typical errors in scientific experimentation, like confounded experiments.

The results of this study show that it is possible to teach basic methodical knowledge about scientific experimentation effectively even in year 6 and that it improves the students' understanding of scientific experimentation considerably. The students' knowledge and understanding is improved even further if negative knowledge is included in the instructions. The profit of the acquisition of negative knowledge is most apparent when knowledge needs to be applied in rather complex contexts. Furthermore, the results reveal that the acquisition of negative knowledge especially supports learners with little pre-knowledge. Without introducing aspects of negative knowledge only learners with high pre-knowledge are able to improve their understanding of scientific experimentation.

However, it proved necessary to put special emphasis on supporting the students' in structuring their knowledge in order to capacitate them to apply the knowledge in unstructured contexts.

In this study, it was not possible to examine the effects of teaching epistemological knowledge as intended. Due to all students' acquisition of epistemological knowledge – regardless the teaching of it – it did not succeed to create conclusive conditions for comparing the teaching of only methodical knowledge to the additional teaching of epistemological knowledge. The relationship between methodical and epistemological knowledge and their effect on the students' understanding of scientific experimentation needs to be examined in further studies.

1 Einleitung

Internationale Vergleichsstudien wie die PISA- und TIMS-Studien haben gravierende Schwächen deutscher Schüler¹ im Bereich naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen offengelegt. Beim Experimentieren stellten sich vor allem die Planung geeigneter Experimente und der Umgang mit experimenteller Evidenz als problematisch dar (Baumert & Lehman, 1997). Eine Konsequenz war die Einführung nationaler Bildungsstandards im Fach Biologie, in denen verbindliche Lernziele bis zum Ende der Mittelstufe festgelegt wurden (z.B. KMK, 2005). Die Erkenntnisgewinnung – und damit das Experimentieren – wurde als einer von vier Kompetenzbereichen² in das Zentrum des Biologieunterrichts gerückt. Damit wurde das Experimentieren, das zuvor hauptsächlich eine instrumentelle Funktion bei der Vermittlung von konzeptuellem naturwissenschaftlichem Wissen innehatte, zum eigenständigen Lernziel erklärt. Das heißt, der Fokus, der bislang vor allem auf dem Untersuchungsgegenstand von Experimenten gelegen hatte, wurde verstärkt auf die Untersuchungsmethode ausgerichtet. Die Entwicklung stellt die Schulen vor hohe Anforderungen mit weitreichenden Veränderungen der Unterrichts- und Vermittlungspraxis. Bislang wurde die Umsetzung der Bildungsstandards im Biologieunterricht jedoch nicht ausreichend, z.B. durch eine Angleichung der Lehrpläne unterstützt³. Auch nach den Ergebnissen der jüngsten PISA-Studie des Jahres 2006, in der sich die deutschen Schüler beim Schwerpunkt der naturwissenschaftlichen Kompetenzen deutlich steigern konnten, bleibt der Bedarf nach gezielter Förderung der Schüler im Bereich des Umgangs mit empirischen Daten und der evidenzbasierten Argumentation aufrechterhalten. Dies ist zum Einen am immer noch erheblichen Abstand zum Spitzenreiter Finnland ersichtlich, zum Anderen an der großen Leistungsstreuung, die darauf hindeutet, dass nicht alle Schüler gleichermaßen im Umgang mit experimenteller Evidenz gefördert werden (Hamann & Prenzel, 2008).

In dieser Situation sind die Fachdidaktiken im besonderen Maße aufgefordert, die Grundlagen der Vermittlung des naturwissenschaftlichen Experimentierens zu klären und innovative Unterrichtskonzepte zur Verständnisförderung der Schüler zu entwickeln. Die Forderungen gehen jedoch über eine reine Lehrplanrelevanz der Inhalte hinaus, da mit der Diskussion um Mindeststandards und Scientific Literacy für alle Bürger ein Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden auch gesellschaftspolitisch an Bedeutung

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Einfachheit wird in dieser Arbeit auf die doppelte Nennung von männlichen und weiblichen Personenbezeichnungen verzichtet. Soweit männliche Bezeichnungen verwendet werden, sind darunter sowohl männliche als auch weibliche Personen zu verstehen.

² Neben den Kompetenzbereichen Fachwissen, Kommunikation und Bewertung (KMK, 2005)

³ vgl. z.B. gültigen Lehrplan Biologie Schleswig Holstein (Ministerium für Bildung, 1997): Hier wird das Experimentieren als Methode zum ersten Mal in der 9. Klasse thematisiert, wobei die Schüler Experimente lediglich nach Anweisung ausführen sollen. Die selbständige Anwendung der Methode bzw. deren kritische Betrachtung ist erst für die Oberstufe vorgesehen.

gewonnen hat. Es ist das Ziel, in der Schule eine solide Verständnisbasis über Naturwissenschaften und naturwissenschaftliche Erkenntnis zu schaffen, die jedem Bürger eine Teilhabe an gesellschaftlichen Aspekten der Naturwissenschaften ermöglicht. Dafür kommt einem Verständnis experimenteller Aspekte ein besonderer Stellenwert zu.

Die vorliegende Arbeit soll für das Fach Biologie zum Erreichen dieses Ziels beitragen, indem sie ermittelt, ob bereits in der Unterstufe Grundlagen der Methode und Epistemologie des naturwissenschaftlichen Experimentierens vermittelt werden können, und welche Wirkung der Erwerb methodischen bzw. zusätzlich epistemologischen Wissens auf das Wissen und Verständnis der Schüler über das Experimentieren ausübt. Darüber hinaus wird untersucht, ob der Erwerb negativen Wissens, das ist z.B. Wissen über Fehler beim Experimentieren, das Verständnis der Schüler fördern kann.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Experimentieren

In diesem Kapitel soll ein Überblick über das naturwissenschaftliche Experimentieren gegeben werden, das den zentralen Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit bildet. Da es sich dabei um eine komplexe Erkenntnismethode mit gleichfalls umfangreichem erkenntnistheoretischem Hintergrund handelt, ist in diesem Rahmen keine erschöpfende Darstellung möglich. Stattdessen sollen in den folgenden Kapiteln neben einer Definition des Experimentierens grundlegende Aspekte der Geschichte, Epistemologie und Methode dargestellt werden. Anschließend wird das Experimentieren in der Naturwissenschaft dem Experimentieren in der Schule durch Betrachtung der Gemeinsamkeiten und spezifischen Unterschiede gegenübergestellt. Daran schließt sich eine Übersicht über die didaktische Forschung zum Experimentieren an, und zwar hinsichtlich typischer Schülervorstellungen und Fehler sowie der Förderung von kognitiven Fähigkeiten⁴ beim Experimentieren.

In die Vorstellung werden Aspekte der Biologie, Physik und Chemie einbezogen, da das Experiment als naturwissenschaftliche Erkenntnismethode alle drei Naturwissenschaften gleichermaßen betrifft, jedoch werden konkrete Beispiele und Besonderheiten so weit wie möglich aus dem Bereich der Biologie, in dem diese Arbeit verortet ist, angeführt.

2.1.1 Definition

Ein Experiment ist einer von mehreren systematischen Schritten eines naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs (Puthz, 1988), der komplexe Problemlöseprozesse erfordert (Klahr, 2000). In den modernen Naturwissenschaften stellt das Experiment die wichtigste Erkenntnismethode dar – nur in der Biologie nimmt das Beobachten⁵ in bestimmten Bereichen (z.B. der Verhaltensbiologie oder funktionellen Anatomie) einen vergleichbaren Rang ein (Eschenhagen et al., 2006). Da es sich beim Experiment nicht um einen feststehenden Prozess, sondern um eine Methode der Erkenntnisgewinnung handelt, deren konkrete Ausgestaltung mit dem jeweiligen Untersuchungsgegenstand und der

⁴ Der Terminus der kognitiven Fähigkeiten wird in dieser Arbeit zum Zwecke der Abgrenzung von einem weiter gefassten Begriff der Kompetenz gewählt. Gemeint sind in Anlehnung an Klieme (2007) die Anteile einer Kompetenz des Experimentierens, die ausschließlich die kognitive Dimension betreffen. Im Gegensatz zu einer weiter gefassten Kompetenzdefinition nach Weinert (2002) sind z.B. affektive und motivationale Anteile nicht einbezogen. Zur Vermeidung von Missverständnissen wird auf den Gebrauch des Begriffs Kompetenz zugunsten der kognitiven Fähigkeiten daher in der gesamten Arbeit verzichtet.

⁵ Gemeint ist hier das Beobachten als eigenständige hypothesengeleitete Erkenntnismethode im Gegensatz zu Beobachtungen, die im Rahmen des Experimentierens zur Wahrnehmung eines Ergebnisses vorgenommen werden (Eschenhagen et al., 2006; Killermann et al., 2005).

Untersuchungssituation variiert (Eschenhagen et al., 2006; Lederman et al., 2002; Sandoval & Reiser, 2004), ist eine erschöpfende Definition des Experiments problematisch. Es wird oft allgemein als Frage an die Natur charakterisiert (Eschenhagen et al., 2006; Graf, 2004; Killermann et al., 2005; Puthz, 1988), wodurch der enge Bezug zwischen Untersuchungsgegenstand und Erkenntnis als zentrales Element des naturwissenschaftlichen Experimentierens betont werden soll. Im Lexikon der Biologie (Freudig & Sauermost, 2000) wird es genauer als empirische Untersuchung beschrieben, in der durch gezielten Eingriff in die Natur das Verhalten eines Systems ermittelt werden soll. Ziel ist es, kausale Zusammenhänge, d.h. Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen den Faktoren eines Systems zu untersuchen. Von zufälliger Entdeckung, die ebenfalls eine wichtige Rolle für den Erkenntnisfortschritt der Naturwissenschaften spielt, ist das Experiment durch die gezielte Absicht der Untersuchung und dem daraus resultierenden gewissenhaft geplanten Vorgehen zu unterscheiden (Freudig & Sauermost, 2000). In erkenntnistheoretischer Hinsicht bildet die wechselseitige Wirkung von Theorie und Empirie den Kern des naturwissenschaftlichen Experimentierens, d.h. die Interaktion der Wissensgrundlage vor dem Experiment und den durch das Experiment gewonnenen Erfahrungen (Freudig & Sauermost, 2000).

Typischer Weise werden unterschiedliche Erkenntnismethoden im experimentellen Erkenntnisprozess, wie das Beobachten, Vergleichen und Beschreiben, sinnvoll zusammengebracht (Eschenhagen et al., 2006).

Es können Prozesse des naturwissenschaftlichen Experimentierens auf drei hierarchischen Ebenen differenziert werden: auf der Ebene der wissenschaftlichen Arbeitstechniken, der wissenschaftlichen Erkenntnismethoden (im Folgenden „Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens“) und der Charakteristika der Naturwissenschaften (Mayer, 1999). Letztere beinhalten wissenschaftstheoretische, erkenntnistheoretische und wissenschaftsethische Aspekte (Günther, 2006). Für diese Arbeit spielen nur solche wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Aspekte eine Rolle, die unmittelbar den Prozess der Erkenntnisgewinnung betreffen. Diese werden im Folgenden als „Epistemologie des naturwissenschaftlichen Experimentierens“ zusammengefasst. Sie beschreiben logische Zusammenhänge, die die Eigenschaften experimentellen Wissens und seiner Genese betreffen, z.B. das Ziel der eindeutigen Erkenntnis aus Experimenten. Aus der Epistemologie leiten sich methodische Grundsätze für wissenschaftliche Untersuchungen ab, die dem Ziel der epistemologischen Grundsätze bei der Erforschung des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes dienen. Die Umsetzung der methodischen Grundsätze als konkrete systematische Vorgehensweise, als Verhaltensanweisungen und als Regeln variiert mit der zugrunde liegenden Fragestellung und dem Untersuchungsgegenstand des Experiments. Zu der Ebene der wissenschaftlichen Arbeitstechniken gehören praktische Tätigkeiten der Experimentdurchführung, die direkt der Produktion experimenteller Daten dienen, wie z.B. mikroskopieren, abwiegen von Ingredienzien, anfärben von Objekten und filtern von Flüssigkeiten (Eschenhagen et al., 2006).

Abbildung 1 verdeutlicht den hierarchischen Zusammenhang zwischen der abstrakten Epistemologie, der konkreteren Methode und den Arbeitstechniken: Die epistemologischen Grundsätze bieten einen festen und allgemeingültigen Rahmen für jede Art von Experiment. Auf der Ebene der Methode und in sehr starkem Maße auf der Ebene des praktischen Vorgehens ist die konkrete Umsetzung innerhalb des vorgegebenen Rahmens dann vom Untersuchungsgegenstand und der zu untersuchenden Fragestellung abhängig. Dazu gehört auch, dass unterschiedliche Erkenntnismethoden im experimentellen Erkenntnisprozess, wie das Beobachten, Vergleichen und Beschreiben, sinnvoll zusammengebracht werden (Eschenhagen et al., 2006).

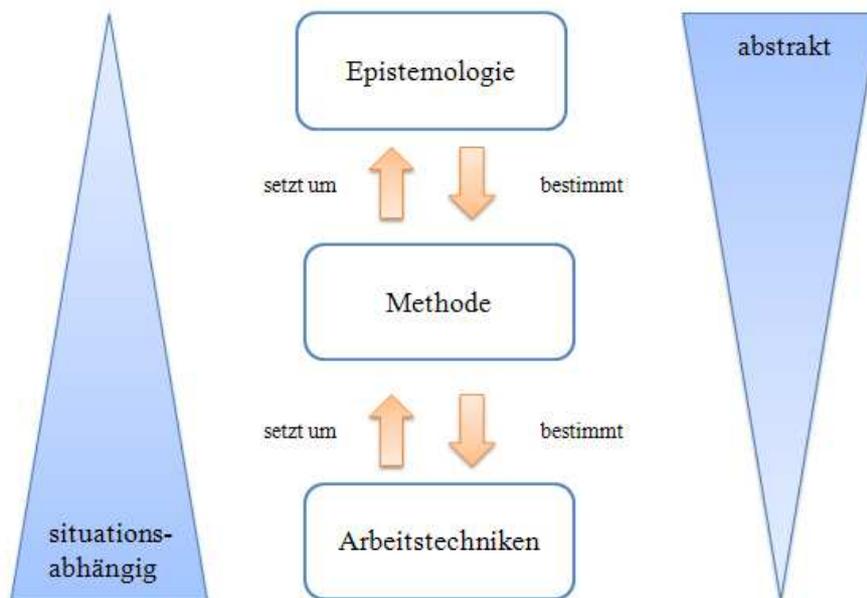


Abbildung 1: Hierarchische Ebenen des Experimentierens

Nach einem kurzen Überblick über die Geschichte des naturwissenschaftlichen Experimentierens in Kapitel 2.1.2 werden die zentralen epistemologischen bzw. methodischen Grundsätze des naturwissenschaftlichen Experimentierens in den Kapiteln 2.1.3 bzw. 2.1.4 dargestellt. Eine detaillierte Betrachtung der Arbeitstechniken wird nicht vorgenommen, da diese außerhalb des Untersuchungsgegenstandes dieser Arbeit liegen.

2.1.2 Geschichte des naturwissenschaftlichen Experimentierens

Die Ursprünge des Experimentierens sind bereits in der Antike zu finden: Aristoteles begann bereits im vierten Jahrhundert vor Christi im antiken Griechenland, die bis dahin ausschließlich mystischen Erklärungen der natürlichen Welt in Frage zu stellen und stattdessen nach Regeln und Gesetzmäßigkeiten in den Naturvorgängen zu suchen (Moore, 1993). Allerdings handelte es sich hier hauptsächlich um Gedankenexperimente und Beobachtungen in der Natur. Eine gezielte Manipulation der Natur wurde in der Antike

dogmatisch abgelehnt (Puthz, 1988). Mit der Ausrichtung der Erkenntnisse und Erklärungen auf die Natur waren jedoch die Anfänge der modernen Naturwissenschaften gelegt: Man glaubte, was man sah, anstatt zu sehen, was man glaubte (Moore, 1993).

Während in der Antike das Ziel naturwissenschaftlicher Untersuchungen noch die Ergründung des Sinns und Ursprungs aller Dinge war, richtet sich das Interesse in den modernen Naturwissenschaften ausschließlich auf die funktionale Erklärung von Naturvorgängen (Puthz, 1988). Es dauerte nach Aristoteles noch mehr als 2000 Jahre, bis das seit Jahrhunderten dogmatisch festgelegte Wissen über die Natur grundlegend in Frage gestellt und umfassend und in allen Bereichen als Gegenstand naturwissenschaftlicher Untersuchungen anerkannt wurde. Experimentelle Erkenntnisgewinnung spielte dabei die entscheidende Rolle. Neben Francis Bacon (1561-1626) gilt Galileo Galilei (1564-1642) als Vorreiter der Ausrichtung naturwissenschaftlicher Erkenntnis auf das fragende, prüfende Experiment (Klautke, 1978; Kremer & Keil, 1993). Während Bacon Erkenntnisse noch weitgehend innerhalb der Grenzen des bekannten und vor allem akzeptierten Wissenskanons beließ, richtete Galilei seine Überzeugungen bereits weitestgehend anhand experimentell gewonnener Erkenntnisse aus, die er selbst gegen den Druck der Kirche in der Inquisition zu verteidigen versuchte (Moore, 1993)⁶.

In der Biologie wurden Experimente als Erkenntnismethode erstmals bedeutungsvoll bei der Entdeckung des Blutkreislaufs durch William Harvey (1578 – 1657) eingesetzt (Kremer & Keil, 1993). Anhand von Experimenten, Vivisektionen von Tieren und Selbstversuchen widerlegte er die bis dato etablierte Säftelehre des Körpers und postulierte stattdessen die Existenz eines geschlossenen, durch das Herz angetriebenen Blutkreislaufs⁷ (Jahn, 1998; Moore, 1993). Er war der erste Biologe, der nicht nur qualitative, sondern vor allem quantitative Untersuchungen durchführte (Moore, 1993). Darüber hinaus trat er für eine strikte Trennung von Hypothese und Fakten ein (Jahn, 1998), die es ihm ermöglichte, auch seine eigenen Überzeugungen wiederholt in Frage zu stellen.

In der modernen naturwissenschaftlichen Forschung hat sich das Experiment als wichtigstes Mittel zur empirischen Erkenntnisgewinnung durchgesetzt (Kremer & Keil, 1993).

2.1.3 Epistemologie des naturwissenschaftlichen Experimentierens

Der Begriff Epistemologie, der aus dem englischen und französischen Sprachraum erst im 19./20. Jahrhundert ins Deutsche eingeführt wurde, ist ein Synonym für den deutschen Begriff

⁶ Allerdings geht man heute davon aus, dass ein Teil der Entdeckungen Galileis nicht aus den ihm zur Verfügung stehenden Daten geschlossen werden konnten, sondern auf einem „good guess“ beruhen (Moore, 1993)

⁷ Und zwar bemerkenswerter Weise ohne die Existenz von Kapillaren, d.h. die Verbindung zwischen Hin- und Rückfluss des Blutes in den Extremitäten und Organen, zu kennen, die eine Generation später von Marcellus Malpighi durch die aufkommende Methode der Mikroskopie entdeckt wurden (Moore, 1993).

der Erkenntnistheorie. Beide Begriffe bezeichnen eine zentrale philosophische Teildisziplin, die sich als Wissenschaft mit Fragen über die Entstehung und Gültigkeit von Wissen befasst (Sandoval & Reiser, 2004).

Die naturwissenschaftliche Epistemologie, die sich entsprechend mit den Besonderheiten der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung auseinandersetzt, beschäftigt sich mit der Frage, zu welchem Grad naturwissenschaftliches Wissen abgesichert ist, und mit Fragen des Nutzens und der Grenzen naturwissenschaftlichen Wissens. Sie stellt ein System logischer Grundsätze bereit, das Wege der Erkenntnisgewinnung aufzeigt und den Prozess der Erkenntnisgewinnung leitet (Sandoval & Reiser, 2004).

In der Literatur wird der Begriff der naturwissenschaftlichen Epistemologie teilweise synonym mit dem Begriff Nature of Science (NOS) gebraucht (Sandoval & Reiser, 2004), teilweise werden beide Begriffe jedoch auch voneinander abgegrenzt (z.B. Lederman et al., 2002; z.B. Sandoval & Reiser, 2004). In der vorliegenden Arbeit wird in Anlehnung an Sandoval (2004) unter der naturwissenschaftlichen Epistemologie das Teilgebiet von NOS verstanden, das sich direkt mit dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess befasst. Damit wird die naturwissenschaftliche Epistemologie von anderen Aspekten der NOS, wie die Soziologie der Naturwissenschaften, abgegrenzt.

Ausgangspunkt der naturwissenschaftlichen Epistemologie bilden die Charakteristika naturwissenschaftlichen Wissens, die im Folgenden dargestellt werden:

Ziel der Naturwissenschaften ist die möglichst zuverlässige Beschreibung und Erklärung der natürlichen Welt (Sandoval & Reiser, 2004). Dabei stehen sie vor dem Problem, aus den subjektiv wahrgenommenen Naturphänomenen objektive und allgemeingültige Erkenntnisse abzuleiten. Hinsichtlich der Beziehung zwischen Natur und Erkenntnissen lassen sich zwei zentrale Positionen unterscheiden: Während Empiristen die Ursache aller Erkenntnis in der direkten Erfahrung mit einer realen Natur sehen, also eine direkte Beziehung zwischen Wirklichkeit und Wissen annehmen, gehen Rationalisten davon aus, dass der Verstand des Individuums die Eindrücke über die Natur zunächst verarbeitet, bevor sie tatsächlich wahrgenommen werden können (Günther, 2006)⁸. Daraus ergibt sich, dass das auf der Wahrnehmung basierende Wissen über die Natur nur indirekt über den Verstand in Beziehung zur Realität steht. Dementsprechend nehmen Empiristen an, dass Wissen über die Natur unter bestimmten Voraussetzungen als Wahrheit in der realen Welt gefunden, bzw. direkt von ihr abgeleitet werden kann. Der Rationalismus geht dagegen mit der konstruktivistischen Sichtweise einher, dass der Wissensaufbau eine aktive Konstruktionsleistung des Individuums darstellt, die interpretativen Charakter besitzt und daher potenziell fehlerbehaftet ist (Günther, 2006; Häußler et al., 1998). Wissen kann demnach nicht in der Natur entdeckt, sondern nur durch die Kreativität des Geistes geschaffen werden (Häußler et al., 1998; Lederman et al.,

⁸ Die verschiedenen Unterarten von Realismus und Empirismus sollen in diesem Rahmen nicht weiter differenziert werden. Für einen detaillierten Überblick siehe z.B. Günther (2006).

2002). Da diese Beschränkung für alle Menschen gleichermaßen gilt, kann es keine Instanz geben, die über die Richtigkeit oder den Irrtum naturwissenschaftlichen Wissens mit Sicherheit entscheiden kann, denn diese Entscheidung könnte ebenfalls nur auf potenziell fehlerhafte Wahrnehmungen und Wissensaspekte gestützt werden. Diese konstruktivistische bzw. rationalistische Sichtweise des naturwissenschaftlichen Wissens und des Wissenserwerbs, die inzwischen durch neurobiologische Befunde gestützt wird (Riemeier, 2007), ist in den Naturwissenschaften derzeit am weitesten akzeptiert (Günther, 2006; Sandoval & Reiser, 2004).

Die naturwissenschaftliche Epistemologie trägt dem Problem der potenziellen Fehlbarkeit des Wissens Rechnung, indem sie strikte Grundsätze für die Anerkennung von Erkenntnissen zusammenfasst, die der Sicherheit von naturwissenschaftlichem Wissen dienen (Lederman et al., 2002). Während Erkenntnisse in Glaubensfragen ohne stichhaltige Beweisführung postuliert werden können, ist eine Erkenntnis in den Naturwissenschaften nur dann gültig, wenn die Beweisführung sorgfältig, eindeutig und widerspruchsfrei dargelegt wird und keine begründeten Einsprüche gegen die Beweisführung des Erkenntnisprozesses vorgebracht werden können. Die Naturwissenschaftler sind beim Prozess der Erkenntnisgewinnung den epistemologischen Prinzipien verpflichtet und überprüfen den Prozess und seine Erkenntnisse kritisch auf ihre Gültigkeit hin (Sandoval & Reiser, 2004). Da viele Naturvorgänge auf nicht direkt beobachtbaren Gesetzmäßigkeiten und Mechanismen beruhen, müssen Zusammenhänge hier aus indirekten Untersuchungen und Überlegungen geschlussfolgert werden (Chinn & Malhotra, 2002b). Diese Indirektheit der Erkenntnis birgt ein zusätzliches Irrtumspotential, das eine absolute Gewissheit über die Richtigkeit naturwissenschaftlichen Wissens ebenso ausschließt.

Neben der Selbstkontrolle der Naturwissenschaftler dienen auch die Veröffentlichung der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse und die soziale Auseinandersetzung mit anderen Mitgliedern der naturwissenschaftlichen Gemeinschaft der Absicherung und Begründung des naturwissenschaftlichen Wissens. Erkenntnisse erhalten erst dann den Status des Wissens, wenn die Wissenschaftsgemeinschaft diese als gültig akzeptiert (Sandoval & Reiser, 2004). Dazu legen Wissenschaftler die im Erkenntnisprozess angewandten Methoden und Schritte offen, um die Erkenntnis für andere Wissenschaftler nachvollziehbar und wiederholbar zu machen. Da die Wissenschaftsgemeinschaft derselben Wissenschaftsmethode verpflichtet ist, werden Erkenntnisse, deren Beweisführung den epistemologischen Grundsätzen widersprechen, nicht anerkannt. Andererseits können Erkenntnisse, die den Regeln der naturwissenschaftlichen Epistemologie folgen, nicht ohne triftige Argumentation zurückgewiesen werden. In diesem Sinne ist naturwissenschaftliches Wissen ein soziales Konstrukt, das durch die Routine der Kontrolle bereits bei der Entwicklung auf eine möglichst objektive und eindeutige Beweisführung ausgerichtet wird (Sandoval & Reiser, 2004).

Trotz der Vorgabe der Anerkennung von ausschließlich eindeutiger Erkenntnis kann naturwissenschaftliches Wissen nicht als bewiesen, absolut und final angesehen werden, sondern behält seinen vorläufigen Charakter (Lonsbury & Ellis, 2002). Durch neue Erkenntnisse in verwandten Bereichen, neue Technologien und Methoden kann Wissen, das zu einem Zeitpunkt anerkannt wurde, widerlegt werden oder neue Bedeutung erhalten (Lederman et al., 2002).

Die Akzeptanz von Erkenntnissen und damit von Erkenntniswegen ist darüber hinaus von kulturellen und zeitgenössischen Einflüssen sowohl auf Ebene des einzelnen Wissenschaftlers als auch der Wissenschaftsgemeinschaft abhängig (Häußler et al., 1998; Lederman et al., 2002; Sandoval & Reiser, 2004). Aus diesem Grund stellt sowohl die naturwissenschaftliche Epistemologie als auch das naturwissenschaftliche Wissen keinen festen Kanon dar, sondern unterliegen – wie in Kapitel 2.1.2 zur Geschichte des Experimentierens skizziert – kontinuierlichen Weiterentwicklungen und Veränderungen (Lonsbury & Ellis, 2002; Sandoval & Reiser, 2004; Schwartz et al., 2004).

2.1.4 Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens

Aus den Vorgaben der naturwissenschaftlichen Epistemologie lassen sich eine Reihe von methodischen Regeln und Vorgehensweisen ableiten, die dem Ziel der möglichst sicheren und eindeutigen Erkenntnis bei der praktischen Umsetzung in konkreten Untersuchungssituationen dienen. Diese werden im Bereich der Wissenschaftstheorie zu einer naturwissenschaftlichen Methode zusammengefasst (Günther, 2006). Wie beschrieben bedeutet die Verwendung des Begriffs „naturwissenschaftliche Methode“ im Singular hierbei nicht, dass es ein festes Schema naturwissenschaftlicher Untersuchungen gibt, sondern dass die methodischen Grundsätze einem einheitlichen methodischen System zugeordnet werden können, das anhand der Vorgaben von Fragestellung und Untersuchungsgegenstand weiter konkretisiert werden muss. Während die abstrakte Ebene der naturwissenschaftlichen Epistemologie durch logische Prinzipien charakterisiert ist, wird die Methode des Experimentierens durch konkrete Vorgehensweisen dominiert. Die Grundzüge der experimentellen Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens werden nachfolgend in dem für diese Arbeit relevanten Rahmen dargestellt.

In den Naturwissenschaften des 21. Jahrhunderts ist das naturwissenschaftliche Experiment als Teil einer hypothetisch-deduktiven Methode der Erkenntnisgewinnung unumstritten (Eschenhagen et al., 2006). Dieser Term weist darauf hin, dass das Experiment als Mittel zur Prüfung einer Hypothese eingesetzt (Kremer & Keil, 1993), d.h. deduktiv aus einer Hypothese entwickelt wird: Ausgehend von einer Beobachtung, einem Problem oder bereits vorhandenen experimentellen Daten wird eine Frage aufgeworfen, die einen noch nicht erklärten oder erklärbaren Teil einer naturwissenschaftlichen Theorie betrifft. Aufgrund des Vorwissens über den Untersuchungsgegenstand kann eine theoretisch begründete Hypothese

darüber aufgestellt werden, welche theoretischen Zusammenhänge die Antwort auf die Frage darstellen können. Zur Überprüfung der theoretischen Annahmen der Hypothese wird ein Experiment entworfen, das sowohl geeignet ist, die Hypothese gegebenenfalls zu bestätigen oder aber zu widerlegen. Bei der Durchführung des Experiments wird die theoretische Experimentplanung genau befolgt, das Vorgehen und die Beobachtungen und Messungen werden protokolliert und als experimentelle Daten ausgewertet. Das Ergebnis des Experiments ist der Rückschluss darauf, ob die dem Experiment zugrunde liegende Hypothese durch die experimentellen Daten bestätigt oder in Teilen oder vollständig widerlegt wurde.

Meistens kann ein Experiment nicht alle Teile einer ungeklärten Theorie beantworten, so dass sich weitere Fragestellungen ergeben, die zu einer neuen oder verfeinerten Hypothese und damit zu einem neuen Experiment führen. Es handelt sich also bei der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung um einen spiralförmigen bzw. zyklisch kumulativen (Günther, 2006) Prozess. Im englischen Sprachraum wird dieser Prozess daher als *inquiry cycle* bezeichnet (s. Abbildung 2).

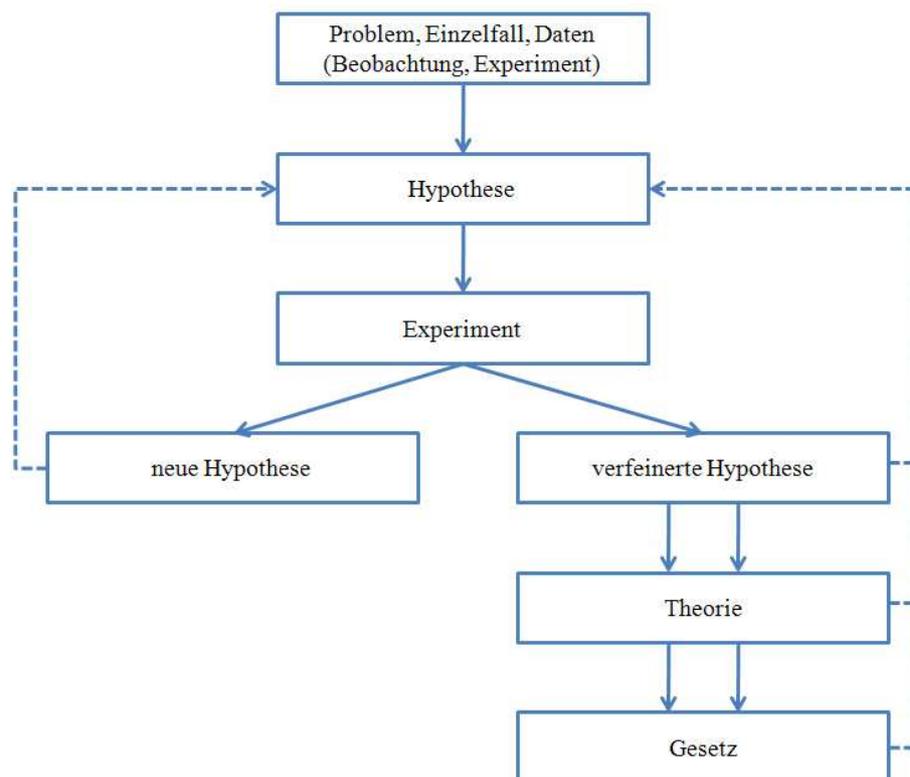


Abbildung 2: *Inquiry cycle* (nach Kremer & Keil, 1993) (gestrichelte Pfeile: deduktive Anteile des Erkenntnisprozesses, durchgezogene Pfeile: induktive Anteile des Erkenntnisprozesses)

Mit dem *inquiry cycle* wurde eine Vorgehensweise entwickelt, die der wechselseitigen Beziehung von Theorie und Empirie Rechnung trägt (Sandoval & Reiser, 2004): Die Theorie ist die Ausgangslage und Begründung für ein Experiment, durch das empirische Daten gewonnen werden, die wiederum eine Überprüfung und Erweiterung der Theorie nach sich

ziehen. In diesem Sinne stellt der hypothetisch-deduktive Erkenntnisweg einen Kreislauf von deduktiven (von der Theorie zu Empirie) und induktiven (von der Empirie zur Theorie) Schlussfolgerungen dar (Abbildung 3).

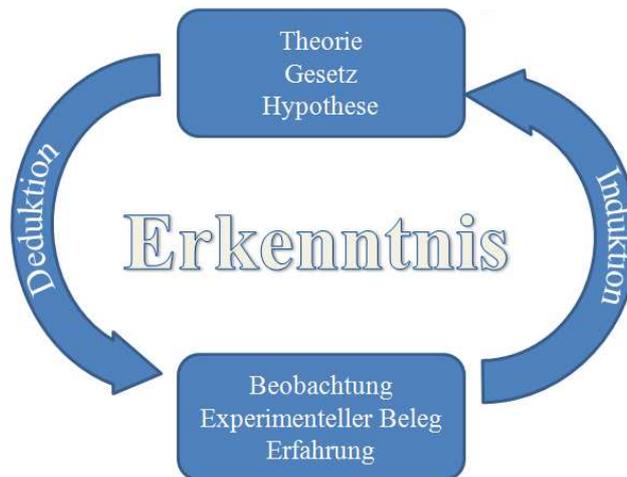


Abbildung 3: Hypothetisch-deduktiver Erkenntnisweg (nach Günther, 2006)

Bei der Planung von Experimenten, d.h. bei der Planung der Untersuchung einer Hypothese sind zwei zentrale Prinzipien zu beachten, die neben den Schritten des *inquiry cycles* die wichtigsten Merkmale experimenteller Erkenntnisgewinnung darstellen (Eschenhagen et al., 2006; Killermann et al., 2005): Die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes, die eindeutige Erkenntnisse der experimentellen Untersuchung gewährleisten sollen. Naturwissenschaftliche Experimente dienen der Untersuchung kausaler Zusammenhänge zwischen den Faktoren eines naturwissenschaftlichen Systems, z.B. eines Naturvorgangs. Experimente werden immer dann durchgeführt, wenn eine einfache Beobachtung von Zusammenhängen nicht möglich ist. Sie stellen eine indirekte Untersuchung eines Sachverhalts dar. Um sicherzugehen, dass trotz des indirekten Charakters der Untersuchung eindeutige Schlussfolgerungen über die Wirksamkeit von Faktoren möglich sind, müssen naturwissenschaftliche Experimente den Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes folgen. Diese besagen, dass Schlussfolgerungen über die Wirksamkeit eines einzelnen Faktors nur dann gezogen werden können, wenn dieser in zwei Experimentansätzen untersucht wird, die sich ausschließlich in dem gerade betrachteten Faktor unterscheiden. Ein Ansatz enthält dabei alle für den untersuchten Vorgang als notwendig erachteten Faktoren, so dass der untersuchte Naturvorgang zustande kommt. Der andere Ansatz enthält alle Faktoren außer dem Testfaktor. Kommt in diesem Ansatz der Naturvorgang nicht zustande, kann eindeutig auf die Notwendigkeit des Testfaktors für den Naturvorgang geschlossen werden. Kommt der Vorgang jedoch sowohl mit als auch ohne den Testfaktor zustande, ist er hierfür irrelevant. Die Variation des Testfaktors bei gleichzeitigem Konstanthalten aller anderen Faktoren wird als Variablenkontrolle bezeichnet. Die beiden

Ansätze fungieren als Kontrollansätze (man bezeichnet den Ansatz der Normalbedingungen im Allgemeinen als Kontrollansatz, während der Ansatz, in dem der Testfaktor variiert wird, als Experimentalansatz bezeichnet wird).

Diese Zusammenhänge seien am Beispiel eines einfachen Experiments zur Samenkeimung verdeutlicht (s. Abbildung 4). Zur Untersuchung der Frage, ob Wärme und Licht für die Samenkeimung von Bohnensamen notwendig sind, werden zwei Ansätze miteinander verglichen: Im ersten Ansatz, der den Kontrollansatz darstellt, werden alle Faktoren eingestellt, bei deren Anwesenheit Samenkeimung normalerweise beobachtet werden kann. In diesem Fall sind es die Faktoren Erde, Licht, Wärme und Wasser. Für die Untersuchung der Relevanz der Testfaktoren Wärme und Licht sind neben dem Kontrollansatz zwei weitere Ansätze notwendig, in denen jeweils ein Testfaktor variiert wird. In Ansatz 2 ist dies ausschließlich der Faktor Licht, in Ansatz 3 der Faktor Wärme. Aus dem Vergleich der Ansätze 1 und 2 bzw. 1 und 3 kann nun eindeutig über Relevanz oder Irrelevanz der beiden Testfaktoren geurteilt werden. Es zeigt sich, dass Wärme, aber nicht Licht für die Samenkeimung von Bohnen notwendig ist.



Abbildung 4: Experiment zur Samenkeimung (Untersuchung von zwei Testfaktoren); das Etiolement der Pflanzen bei Dunkelheit ist nicht dargestellt

Aus diesem Beispiel wird deutlich, dass die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes nicht nur für die Planung von Experimenten, sondern auch für die Auswertung experimenteller Daten von Bedeutung sind, indem Kausalzusammenhänge zwischen Variablen nur aus solchen Experimenten abgeleitet werden dürfen, die den methodischen Vorgaben entsprechen. D.h. dass Experimente, die z.B. keinen Kontrollansatz enthalten, nicht kausal analysiert werden können (s. Kapitel 2.1.7.2).

2.1.5 Experimentieren als Problemlöseprozess

Aus kognitionspsychologischer Perspektive lässt sich das naturwissenschaftliche Experimentieren als komplexer Problemlöseprozess verstehen, dessen Teilprozesse von David Klahr (2000) im SDDS-Modell (Science Discovery as Dual Search) beschrieben wurde. Das Modell geht auf eine Vielzahl von Studien zurück (Klahr, 2000), in denen

verschiedene Aspekte der kognitiven Prozesse naturwissenschaftlicher Erkenntnis untersucht und Komponenten des Erkenntnisprozesses identifiziert wurden. Darüber hinaus wurden Erkenntnisprozesse im Alltag und in den Naturwissenschaften verglichen sowie altersabhängige Unterschiede des Problemlösens untersucht (Klahr, 2000). In den Studien wurden die Prozesse des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses mithilfe eines Micro-Roboters (Big-Trak) analysiert, dessen Funktionen (z.B. die Wiederholungstaste) die Versuchspersonen ergründen sollten. Dieser Untersuchungskontext bietet die Möglichkeit, das Aufstellen von Hypothesen, das Planen von Experimenten und die Analyse von Evidenzen zu erforschen und Interaktionen zwischen diesen drei Dimensionen des Erkenntnisprozesses zu ergründen. Dadurch kann der Anspruch des SDDS-Modells nach evidenzbasierter Beschreibung aller Aspekte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns erfüllt werden (Klahr, 2000).

2.1.5.1 Das SDDS-Modell

In dem Modell wird die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung als komplexer Problemlöseprozess aufgefasst, der die Suche in zwei Problemräumen erfordert, und zwar dem Hypothesen-Raum und dem Experiment-Raum. Die Suchprozesse bilden das zentrale Element des Erkenntnisprozesses (Scientific Discovery as Dual Search). Hieran schließt sich als dritter Teilprozess die Analyse von Evidenzen an. Bevor die Teilprozesse genauer betrachtet werden, sollen zunächst Begrifflichkeiten des Problemlösens geklärt werden, die für das Verständnis des Modells notwendig sind (vgl. Simon, 1999):

Problemlösen beinhaltet das Finden und erfolgreiche Beschreiten eines Wegs, der bei Konfrontation mit dem Problem noch nicht bekannt ist. **Problemlöseheuristiken**, die dem Suchen und Finden des Wegs vom Ausgangs- zum Zielzustand des Problems dienen, sind vor allem bei komplexen Problemen hilfreich oder notwendig, indem sie Strategien zur Eingrenzung entsprechender Suchräume bereitstellen. Eine wichtige Heuristik ist z.B. die Mittel-Ziel-Analyse (means-ends analysis), bei der Ausgangs- und Zielzustand einer Problemsituation verglichen werden, um geeignete Mittel zur Zielerreichung (eventuell durch Definition von Teilzielen) zu identifizieren (Klahr, 2000). Dazu werden **Operatoren** gesucht, die die ermittelten Unterschiede verringern können. Der Problemraum umfasst die Gesamtheit aller theoretisch möglichen Problemzustände, die bei der Anwendung aller anwendbaren Operatoren entstehen können. Diese können bei komplexen Problemen immense Umfänge aufweisen, die ohne geeignete Heuristiken nicht effizient zu bewältigen sind.

In diesem Sinne kann der naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess als Problemlösen betrachtet werden, das mit einem ungeklärten Teil einer naturwissenschaftlichen Theorie beginnt und bei neuer Erkenntnis über den Aspekt der Theorie endet. Der gesamte Erkenntnisprozess lässt sich in drei Teilprozesse unterteilen (Klahr, 2000): Er beginnt mit der

Suche im Hypothesenraum, deren Anfangszustand durch das domänenspezifische naturwissenschaftliche Wissen, das Klärung bedarf, definiert wird. Ziel und Ergebnis der Suche im Hypothesenraum ist eine überprüfbare Hypothese, die eine plausible Erklärung für die naturwissenschaftliche Fragestellung bietet. Das Wissen über den Untersuchungsgegenstand beeinflusst die Plausibilitätsprüfung. An diesen Teilprozess schließt sich das **Testen von Hypothesen** an, für das eine Suche im Experimentraum notwendig ist. Ziel ist es, ein Experiment zu planen und durchzuführen, das zur eindeutigen Überprüfung der aufgestellten Hypothese geeignet ist. Es muss also eine Auswahl aus allen theoretisch möglichen Experimentplanungen und –durchführungen getroffen werden. Dazu ist neben domänenspezifischem Wissen über den Untersuchungsgegenstand auch domäneübergreifendes Wissen z.B. über die eigenen Grenzen der Informationsverarbeitung notwendig. Das Ergebnis des Testens von Hypothesen sind experimentelle Daten, die die Annahme oder Verwerfung der Hypothese – ganz oder in Teilen –erfordern. Diese Entscheidung wird im dritten Teilprozess der **Analyse von Evidenzen** getroffen, die zwischen den beiden Suchräumen vermittelt, indem die Ergebnisse des Experiments direkt auf die Hypothese bezogen werden. Es findet also eine Verbindung von Theorie und Evidenz statt. Der Teilprozess der Analyse von Evidenzen lenkt außerdem anschließende Suchen in den Problemräumen, die der weiteren oder detaillierten Klärung des Untersuchungsgegenstands dienen. Abbildung 5 zeigt ein vereinfachtes Schema der Erkenntnisgewinnung als Problemlöseprozess.

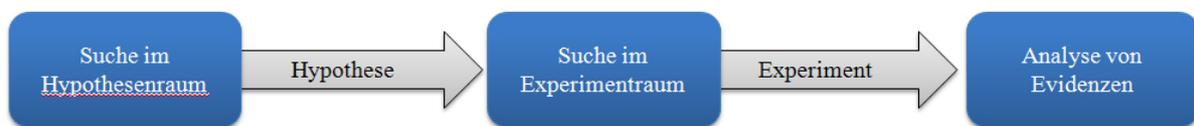


Abbildung 5: Vereinfachtes Schema des Experimentierens als Problemlösen

2.1.5.2 Messung von Kompetenzen beim Experimentieren

Aufbauend auf die Erkenntnisse über kognitive Prozesse beim naturwissenschaftlichen Experimentieren wurde das SDDS-Modell für die evidenzbasierte Formulierung von Kompetenzmodellen (Hammann, 2004) und die Entwicklung von Testinstrumenten zur Messung von Kompetenzen beim Experimentieren genutzt (Hammann et al., 2007; Thi Thanh Hoi Phan, 2007). Hierbei wurde überprüft, ob sich die dreidimensionale Struktur des SDDS-Modells in reliable Skalen überführen lässt, anhand derer die Kompetenz von Schülern in den Dimensionen Hypothesen aufstellen, Experimenten planen und Datenanalyse analysiert werden kann. In einer umfangreichen Studie wurde in fünf Teilstudien ein multiple choice-Testinstrument für Kompetenzmessung in der Unterstufe entwickelt, das aufgrund zufriedenstellender Reliabilitäten eine Untersuchung der Binnenstruktur des Konstrukts

„Experimentieren als Problemlösen“ zuließ (Hamman et al., 2007)⁹. Im Gegensatz zu Klahr's SDDS-Modell lieferten die Analysen Hinweise auf die Existenz von zwei statt drei Dimensionen des Experimentierens. In faktorenanalytischen Auswertungen zeigte sich, dass die Suche im Hypothesen-Raum und die Analyse von Evidenzen auf einem gemeinsamen Faktor laden, der sich vom Testen von Hypothesen unterschied. Dieser Befund kann in Einklang gebracht werden mit den Ergebnissen aus den Studien zum SDDS-Modell, dass das Testen von Hypothesen stärker von methodischem und epistemologischem Wissen abhängt, während die beiden anderen Dimensionen stärker bereichsspezifisches inhaltliches Vorwissen benötigen (Klahr, 2000). Dagegen wurde nur ein geringer Zusammenhang zwischen dem bereichsspezifischen inhaltlichen Vorwissen der Schüler und den Dimensionen des Experimentierens ermittelt (Hamman et al., 2007). Das Resultat steht im Gegensatz zu zahlreichen Studien, die einen engen Bezug zwischen dem Wissen über den Untersuchungsgegenstand und den Kompetenzen beim Experimentieren ergaben (vgl. Kapitel 2.1.3, 2.1.4 und 2.1.7).

Offen bleibt, inwieweit Kompetenzen des Experimentierens mithilfe von paper-and-pencil-tests umfassend erhoben werden können, bzw. inwieweit z.B. offene Aufgaben, interaktive Computeraufgaben oder Fähigkeiten beim praktischen Experimentieren für ein vollständiges Bild ebenfalls erhoben werden müssen (Hamman et al., 2008).

2.1.6 Experimentieren in der Schule

Während das Experimentieren in den Naturwissenschaften, d.h. in der Forschung ausschließlich zur Erkenntnisgewinnung und Überprüfung von Wissen eingesetzt wird, erfüllt es im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Schule statt dieser wissenschaftstheoretischen hauptsächlich fachdidaktische und allgemeindidaktische Funktionen (Eschenhagen et al., 2006; Kemp et al., 2002): Es ist zunächst eine fachdidaktische Form der Unterrichtsgestaltung, die verschiedenen Zielen dienen kann. Einerseits kann ein Experiment zur Vermittlung von konzeptuellem Wissen über den Untersuchungsgegenstand eingesetzt werden, z.B. wenn Schüler durch ein Experiment zur Samenkeimung die für diesen Prozess notwendigen Faktoren erlernen sollen. Hierbei werden Experimente häufig in Form von Demonstrationen eingesetzt, durch die ein Naturvorgang den Schülern vorgeführt und verdeutlicht werden soll (Graf, 2004; Klautke, 1978). Demonstrationen werden auch den bestätigenden Experimenten zugeordnet und von den entdeckenden Experimenten, die größere Ähnlichkeit mit dem naturwissenschaftlichen Experimentieren aufweisen¹⁰,

⁹ Eine detailliertere Darstellung der Testinstrumente von Hamman und Mitarbeitern wird in Kapitel 3.4.4.1 bei der Beschreibung der Testinstrumente dieser Arbeit vorgenommen.

¹⁰ Allerdings erfüllen auch entdeckende Experimente, die Schülern eine originäre Wissensgenese ermöglichen, nur in eingeschränkter Form wissenschaftstheoretische Funktionen, da im Gegensatz zur

unterschieden (Eschenhagen et al., 2006; Killermann et al., 2005). Andererseits können Experimente zur Vermittlung methodischen Wissens durchgeführt werden, z.B. um Schülern die Phasen des zyklischen Erkenntnisprozesses des *inquiry cycles* näher zu bringen. Daneben erfüllt es in allgemeindidaktischer Funktion als Sozialform die Aufgabe, soziale Fähigkeiten der Schüler zu fördern, z.B. wenn mehrere Schüler gemeinsam in einer Gruppenarbeit ein Experiment durchführen (Eschenhagen et al., 2006; Killermann et al., 2005). Experimente werden außerdem in verschiedenen Unterrichtsphasen durchgeführt, z.B. als Einstieg in ein neues Thema mit dem Ziel der Steigerung der Motivation der Schüler, in der Vertiefungsphase mit dem Ziel der Sicherung von Wissen und der Übungsphase, um theoretisch erlerntes Wissen in der praktischen Anwendung kennenzulernen (Eschenhagen et al., 2006; Killermann et al., 2005).

Da Methode und Zielstellung von Experimenten einander bedingen (s. Kapitel 2.1.1), geht mit der Vielzahl von Zielen und Funktionen, die Experimente im naturwissenschaftlichen Schulunterricht einnehmen, eine ebenso großen Vielfältigkeit der in der Schule angewandten Methodik des Experimentierens einher, die z.T. stark von den Grundsätzen der naturwissenschaftlichen Methode abweichen¹¹. Es wäre aber unwissenschaftlich, ein Experiment durchzuführen, das z.B. keine eindeutigen Schlussfolgerungen zulässt. Ein Experiment, durch das die Schüler methodisches Wissen erwerben können, muss die methodischen und epistemologischen Grundsätze des naturwissenschaftlichen Experimentierens erfüllen, also z.B. die Prinzipien der Variablenkontrolle befolgen und einen Kontrollansatz beinhalten. Aufgrund der abweichenden Zielstellungen des Experimentierens in der Schule wird von manchen Autoren in Frage gestellt, ob eine authentische Methode und Epistemologie des Experimentierens in der Schule überhaupt vermittelt werden kann (Häußler et al., 1998).

Aus zahlreichen Studien ist bekannt, dass die Vermittlung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen und konkret beim Experimentieren die Vermittlung methodischer und epistemologischer Aspekte keine oder eine untergeordnete Rolle im naturwissenschaftlichen Unterricht spielen (Eschenhagen et al., 2006). Das liegt zum Einen an der genannten Funktionsvielfalt des schulischen Experimentierens, zum Anderen an mangelndem Bewusstsein und Wissen der Lehrpersonen bezüglich naturwissenschaftlicher Methode und Epistemologie (Günther, 2006; Lederman, 1992; Schwartz et al., 2004). Dies ist doppelt problematisch, da Schüler z.B. die Grundsätze wissenschaftlichen Vorgehens und die Logik der Schlussfolgerungen nur schwer erlernen (Eschenhagen et al., 2006) und somit eine stetige

naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung in der Schule eine übergeordnete Instanz (Lehrperson, Lehrbücher) vorhanden ist, die das gewonnene Wissen als richtig oder falsch bewerten kann (Killermann et al., 2005).

¹¹ Kemp und Mitarbeiter (2002) beschreiben die Situation der Lehrpersonen als praktische Dilemmata, da sie immer mehrere, teilweise widersprüchliche Ziele beim Experimentieren verbinden müssen, z.B. die Ermutigung der Schüler, eigene Ideen zu verfolgen und die Sicherung von Lehrplan-konformem Wissen.

und authentische Thematisierung dieser Aspekte wünschenswert und erforderlich wäre. Darüber hinaus wird das Experimentieren im Unterricht zu selten durchgeführt (Eschenhagen et al., 2006; Klautke, 1978), weil es mehr Zeitaufwand als Frontalunterricht oder Lehrer-Schüler-Gespräche erfordert, was sich angesichts des stetig steigenden Zeitdrucks durch die Stofffülle der Lehrpläne zunehmend problematisch darstellt. Außerdem stellt die materielle Ausstattung der Schulen Lehrkräfte in den Naturwissenschaften oft vor zusätzliche Sachzwänge, so dass Experimente in bestimmten Bereichen wegen fehlender Materialien oder Instrumenten schlicht nicht möglich sind. Allerdings ist nicht die Häufigkeit des Experimentierens im Unterricht, sondern die Berücksichtigung entsprechender naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen, vor allem deren selbstständige Anwendung durch die Schüler entscheidend für die Lernwirksamkeit des Unterrichts (Seidel et al., 2007).

Durch die Vorgaben der Bildungsstandards wird von den Schülern erwartet, dass sie trotz der vielfältigen Funktionen und Merkmale des Experimentierens in der Schule – quasi in einem versteckten Lehrplan – ausschließlich die naturwissenschaftlichen Aspekte des Experimentierens für ihr methodisches und epistemologisches Verständnis übernehmen (vgl. KMK, 2005). Das ist problematisch, da häufig alle experimentellen oder untersuchenden Aktivitäten in der Schule unter dem Begriff „Experiment“ zusammengefasst werden. Dieser Widerspruch könnte ein Grund dafür sein, dass Schüler häufig nicht naturwissenschaftliche Vorstellungen des Experimentierens besitzen (Amthor, 2002; Kemp et al., 2002).

Im anschließenden Kapitel werden typische Schülervorstellungen und Fehler beim Experimentieren vorgestellt.

2.1.7 Experimentieren in der didaktischen Forschung

Die Literatur zu Fehlern beim naturwissenschaftlichen Experimentieren ist sehr umfangreich. Vor allem im angloamerikanischen Sprachraum wurden in zahlreichen Studien in den vergangenen Jahrzehnten die Fähigkeiten von Schülern bei ganz unterschiedlichen Aspekten des Experimentierens untersucht und vielfache Schwächen festgestellt. Häufig sind Fehler auf Schülervorstellungen, d.h. von der naturwissenschaftlichen Sichtweise abweichende Vorstellungen von der Methode und Epistemologie des Experimentierens zurückzuführen. Bei der Betrachtung von Schülerfehlern sollten daher beide Ebenen, die an der Oberfläche sichtbaren Fehler und die ihnen zugrunde liegenden Vorstellungen, berücksichtigt werden¹². Dies gilt insbesondere auch bei der Förderung von Kompetenzen beim Experimentieren, die allein auf der Ebene der Schülerfehler nicht wirksam durchgeführt

¹² Für eine Unterscheidung von Fehlern und Schülervorstellungen s. Kapitel 2.2.2.2.

werden kann, sondern auch die Vorstellungen der Schüler an die wissenschaftliche Sichtweise heranführen muss.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst Schülervorstellungen, die starken Einfluss auf die Fähigkeiten von Schülern auf alle Bereiche des Experimentierens ausüben, im Überblick vorgestellt (2.1.7.1). Typische Schülerfehler werden anschließend im Detail dargestellt (2.1.7.2). Die von David Klahr (2000) beschriebenen Dimensionen des Experimentierens – Hypothesen bilden, Experimente planen und Daten analysieren – dienen dabei als Struktur, anhand der die Vielzahl der verschiedenartigen Schülerfehler beim Experimentieren systematisiert werden können (Hammann et al., 2006). Danach wird ein kurzer Überblick über Erkenntnisse aus empirischen Studien zur Förderung von Fähigkeiten beim Experimentieren gegeben (2.1.7.3).

2.1.7.1 Schülervorstellungen zum Experimentieren

Bevor Schüler das erste Mal in der Schule mit dem naturwissenschaftlichen Experimentieren konfrontiert werden, haben sie durch Erfahrungen aus ganz verschiedenen Alltagsbereichen bereits Vorstellungen über das Experimentieren entwickelt (Chi & Roscoe, 2002; Duit & Treagust, 2003; Krüger, 2007; Strike & Posner, 1982). Die Erfahrungen beruhen z.B. auf populärwissenschaftlichen Programmen in den Medien, Schulberichte älterer Geschwister oder dem Experimentierkasten des Nachbarn (Häußler et al., 1998). Die Vorstellungen über das Experimentieren, die die Schüler aus diesen unterschiedlichen Erfahrungen ableiten, können der naturwissenschaftlichen Sichtweise bereits weitgehend entsprechen oder aber sich sehr stark von ihr unterscheiden. Intention jeder schulischen Vermittlung ist es, dass Schüler fachwissenschaftliche Konzepte und Vorstellungen erwerben. Da die bereits bestehenden nicht-naturwissenschaftlichen Schülervorstellungen das Verständnis der Schüler bei der Vermittlung solcher Inhalte beeinflussen oder sogar bestimmen, müssen die Vorstellungen der Schüler in der Vermittlungssituation berücksichtigt werden. Im Sinne der *conceptual change*-Theorie nach Strike und Posner (1982) ist es das Ziel, den Schülern ausgehend von ihren bestehenden Vorstellungen einen Erwerb naturwissenschaftlicher Konzepte und Vorstellungen zu ermöglichen. Während in der ursprünglichen Form der *conceptual change*-Theorie der Konzeptwechsel als radikaler Austausch der als „falsch“ bewerteten Schülervorstellungen gegen die naturwissenschaftlich akzeptierten verstanden wurde (Chi & Roscoe, 2002; Strike & Posner, 1982), hat man von dieser Forderung eines Paradigmenwechsels heute Abstand genommen (Duit, 1999). Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die ursprünglichen Konzepte auch nach einer Vermittlungssituation weiter bestehen bleiben und sich darüber hinaus im Alltag weiterhin als

nützlich erweisen (Häußler et al., 1998)¹³. Modernere Ansätze betrachten Schülervorstellungen dagegen nicht normativ-wertend als falsche Vorstellungen, sondern neutral als alternative Vorstellungen, die auch als Lernervorstellungen bezeichnet werden (Duit, 1999). Im Sinne konstruktivistischer Lehr-Lerntheorien wird dabei nicht von Konzeptwechsel, sondern z.B. von Konzeptrekonstruktion gesprochen, wodurch einerseits die Aktivität der Schüler im Lernprozess betont wird und andererseits die Anbindung an bestehende Konzepte (Duit & Treagust, 2003; Häußler et al., 1998). In dieser Arbeit werden die Begriffe Konzeptwechsel und Konzeptrekonstruktion in Anlehnung an Krüger (2007) synonym und im Sinne des Konstruktivismus gebraucht.

Im Folgenden sollen zwei epistemologische Schülervorstellungen, die weitreichenden Einfluss auf viele Teilbereiche des Experimentierens ausüben, vorgestellt werden. Diese betreffen die Ziele, die Schüler mit dem naturwissenschaftlichen Experimentieren verbinden, und den Stellenwert des Vorwissens über den Untersuchungsgegenstand im experimentellen Erkenntnisprozess.

Während in den Naturwissenschaften Experimente als Erkenntnismethode zur Untersuchung von kausalen Beziehungen zwischen Variablen in einem System dienen (s. Kapitel 2.1.1), führen Schüler Experimente häufig mit dem Ziel durch, den zu untersuchenden Effekt oder Naturvorgang ausschließlich zu produzieren. In der Konsequenz ähnelt ihre methodische Vorgehensweise eher dem Experimentieren von Ingenieuren als von Naturwissenschaftlern. Aus diesem Grund werden alle Merkmale, die mit dieser Schülervorstellung zusammenhängen, unter dem Begriff „**Ingenieursmodus**“ des Experimentierens zusammengefasst (Schauble et al., 1991). Im Gegensatz zu Naturwissenschaftlern verwenden Ingenieure Experimente u.a., um einen bestimmten Prozess zu optimieren. Dazu ist es notwendig, einen betrachteten Effekt zielgerichtet herstellen zu können. Da die Ausrichtung von Experimenten auf einen gewünschten Effekt im Alltag eine größere Rolle spielt als die Untersuchung beteiligter Faktoren, ist sie Schülern vertrauter. Das führt dazu, dass sie auch in naturwissenschaftlichen Untersuchungssituationen, in denen sie die Wirksamkeit von Faktoren eines Naturvorgangs untersuchen sollen, die Testvariablen mit dem Ziel variieren, den untersuchten Effekt herbeizuführen, anstatt die Kausalzusammenhänge der beteiligten Faktoren zu erforschen (Schauble et al., 1991).

Da die epistemologischen Zielstellungen von Experimenten einen direkten Einfluss auf die Methode des Experimentierens ausüben (s. Kapitel 2.1.1), wirkt sich der Ingenieursmodus auch auf die methodische Vorgehensweise der Schüler in experimentellen Situationen aus. Dieser Zusammenhang soll im Folgenden genauer betrachtet werden.

¹³ Chi & Roscoe (2002) argumentieren, dass Schülervorstellungen sehr wohl im ursprünglichen Sinne ersetzt werden können, jedoch ist dazu eine adäquate Adressierung der Schülervorstellungen notwendig, die auch die Widerlegung im Hintergrund wirkender Theorien einschließen muss.

Das Ziel der eindeutigen Erkenntnisgewinnung bedingt methodische Regeln, die eben solche Erkenntnis ermöglichen und gewährleisten. Nur im Kontext dieser epistemologischen Vorgaben sind die methodischen Erfordernisse sinnvoll und nachvollziehbar. Da Schüler, die Experimente im Ingenieursmodus betreiben, jedoch als Ziel nur die Produktion des Effekts, nicht aber die Analyse der beteiligten Faktoren verfolgen, gehen ihre Experimente mit einer nicht wissenschaftlichen Methodik einher. Z.B. konzentriert sich die Experimentplanung bereits ausschließlich auf die als ursächlich angenommenen Faktoren. Faktoren, für die kein Zusammenhang mit dem Effekt erwartet wird, werden dagegen nicht berücksichtigt (Schauble, 1996). Wenn Schüler gegebene Experimente kausal interpretieren sollen, beziehen sie sich dementsprechend auch nur auf die Variablen, die ihrer Meinung nach für das Erreichen des Effekts notwendig sind. Variablen, die sie für irrelevant halten, werden häufig nicht beachtet, selbst wenn sie Bestandteil des Experimentes waren (Schauble et al., 1991). Da eine Dokumentation der experimentellen Ergebnisse keine direkte Funktion für das Erreichen eines Effekts besitzt, nehmen Schüler diese im Ingenieursmodus häufig nicht vor. Dies hat zur Folge, dass sie oft unbewusst Ansätze exakt, teilweise mehrfach wiederholen (Schauble, 1996; Schauble et al., 1991). Das Experiment wird meistens beendet, sobald der gewünschte Effekt eingetreten ist, unabhängig davon, ob bereits Aussagen über alle beteiligten Faktoren getroffen werden können oder dafür noch weitere Ansätze notwendig wären (Schauble et al., 1991).

In diesem Zusammenhang könnte eine Gefahr von dem üblichen Einsatz von Demonstrationsexperimenten in der Schule ausgehen: Im Verständnis des Ingenieursmodus würden solche Demonstrationen, in denen bekanntes Wissen dargestellt und nicht neues Wissen gewonnen werden soll, ein gutes Beispiel naturwissenschaftlichen Experimentierens darstellen. Dadurch könnte die Schülervorstellung des Ingenieursmodus sich eventuell verfestigen.

Die Auswirkungen des Ingenieursmodus auf die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes werden im Kapitel 2.1.7.2 bei der Vorstellung typischer Schülerfehler beim Experimentieren ausgeführt.

Eine zweite einflussreiche Schülervorstellung betrifft den Stellenwert des Vorwissens im Erkenntnisprozess. Dem Vorwissen räumen Schüler im Vergleich zu den von ihnen im Experiment gewonnenen Daten häufig eine zu große Bedeutung ein. Unter **Vorwissen** soll in dieser Arbeit das Wissen verstanden werden, das die Schüler zu Beginn des Experiments über den Untersuchungsgegenstand des Experiments, d.h. den untersuchten Naturvorgang und die daran beteiligten Faktoren besitzen. Aus naturwissenschaftlicher Perspektive kann das Vorwissen der Schüler als zutreffend oder nicht zutreffend erachtet werden. Letzteres stellt **Schülervorstellungen** über den Untersuchungsgegenstand dar, z.B. die Vorstellung, dass Bäume Erde fressen. Die Gesamtheit der naturwissenschaftlichen Vorwissensaspekte der

Schüler einschließlich ihrer Schülervorstellungen bildet den **Bezugsrahmen**, auf den die Schüler z.B. bei der Planung und Auswertung von Experimenten zurückgreifen.

Viele Schüler sprechen ihrem Vorwissen über den Untersuchungsgegenstand eine zu große Wichtigkeit beim Experimentieren zu: Sie vertrauen bei der Analyse experimenteller Daten häufig stärker ihrem Vorwissen als den gewonnenen Daten und vernachlässigen dadurch die Bedeutung experimenteller Daten für den Erkenntnisgewinn (Schauble et al., 1991). Zwar ist die Grundlage jedes naturwissenschaftlichen Experiments eine fundierte Theorie, die alle gegenwärtig bekannten und akzeptierten Konzepte des untersuchten Naturvorgangs, also das Vorwissen umfasst. Die Theorie bildet den Ausgangspunkt, von dem aus eine weiterführende oder überprüfende Untersuchung eines bestimmten Naturvorgangs vorgenommen wird. Ein Experiment baut also auf das bekannte und akzeptierte konzeptuelle (Vor-)Wissen über den Untersuchungsgegenstand auf. Nichtsdestotrotz ist ein wichtiger epistemologischer Grundsatz der Naturwissenschaften, dass jede naturwissenschaftliche Theorie dennoch so weit vorläufigen Charakter behält, dass sie stetig hinterfragt und bei widersprechenden experimentellen Ergebnissen angepasst oder sogar verworfen werden kann. Das Wechselspiel von Theorie und experimentellen Daten stellt ein wesentliches Merkmal naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung dar (Freudig & Sauermost, 2000; Moore, 1993) (s. Kapitel 2.1.1).

Vielen Schülern fällt es jedoch sehr schwer, bestehendes Wissen als prinzipiell veränderlich anzusehen und eine generelle Offenheit für die Veränderung ihres Wissens aufzubringen (Chinn & Brewer, 1998). Für sie stellt bereits erworbenes (Vor-)Wissen einen festen Bezugsrahmen dar, der zwar erweitert, aber nicht grundsätzlich verändert werden kann. Dies ist dann besonders problematisch, wenn Schülervorstellungen über naturwissenschaftliche Konzepte bestehen. Je stärker diese ausgebildet sind, d.h. je mehr sie echte Überzeugungen darstellen, desto schwieriger ist es, die entsprechenden naturwissenschaftlichen Konzepte zu vermitteln. Das liegt daran, dass Schülervorstellungen bewährte Konzepte des Alltags darstellen, die neben wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen einen Teil des vertrauten Weltbildes der Schüler ausmachen und ihnen Sicherheit und Orientierungshilfe in der Flut täglich neuer Eindrücke bieten (Gudjons, 1995).

Mit einer nicht wissenschaftlichen Sichtweise auf das Vorwissen bzw. die Theorie gehen bewusste und unbewusste kognitive Prozesse einher, die der Verteidigung des vertrauten Bezugsrahmens und der bestehenden Konzepte dienen (Chinn & Brewer, 1998; Koslowski, 1996). Sofern Schülervorstellungen betroffen sind, erschweren oder verhindern diese Prozesse Konzeptwechsel und den Erwerb naturwissenschaftlicher Konzepte. Die verschiedenen kognitiven Strategien, die eine Beibehaltung der favorisierten Theorie auch in Angesicht widersprechender, sogenannter anomaler Daten (*anomalous data*) bewirken, werden unter dem Begriff „**Bestätigungs-Bias**“¹⁴ (*confirmation bias*) zusammengefasst

¹⁴ Die Prozesse des Bestätigungs-Bias sind kein auf Schüler beschränktes Phänomen, sondern betreffen auch die Erkenntnisgewinnung von Naturwissenschaftlern (Chinn & Brewer, 1998). Da für die vorliegende Studie

(Chinn & Brewer, 1998). Dieser kann bereits auf der Ebene der Wahrnehmung beginnen. In der Folge nehmen Schüler Daten, die in Konflikt zu ihren Überzeugungen stehen, nicht als Widerspruch, sondern als Bestätigung der Überzeugungen wahr, v.a. wenn die Daten einen gewissen Interpretationsspielraum bieten (Chinn & Malhotra, 2002a; Häußler et al., 1998). Die konzeptuellen Schülervorstellungen über den Untersuchungsgegenstand bestimmen also maßgeblich den Bezugsrahmen, innerhalb dessen die Schüler die experimentellen Daten verstehen können (Chinn & Malhotra, 2002a; Schauble, 1996; Schauble et al., 1991). Dadurch ist eine Widerlegung falscher Überzeugungen nicht möglich. Ein Beispiel hierfür ist die Schülervorstellung, dass schwere Objekte schneller fallen als leichte Objekte. In einem Experiment, in dem zwei Steine unterschiedlicher Masse gleichzeitig aus gleicher Höhe fallen gelassen werden, tendieren Schüler dazu, nicht das tatsächlich gleichzeitige Auftreffen der Steine zu beobachten, sondern ein früheres Aufprallen des schwereren Steines (Chinn & Malhotra, 2002a). Die Wahrnehmung des experimentellen Ergebnisses hängt in starkem Maße von Vorwissen und Schülervorstellungen und den daraus resultierenden Erwartungen der Schüler ab. Für eine Widerlegung der nicht naturwissenschaftlichen Überzeugung, d.h. für einen Konzeptwechsel ist es aber notwendig, den Widerspruch zwischen der eigenen Überzeugung und den experimentellen Daten wahrnehmen zu können. Erst dadurch wird die Voraussetzung für einen kognitiven Konflikt geschaffen, der wiederum eine Bedingung für einen Konzeptwechsel darstellt (Chi & Roscoe, 2002; Strike & Posner, 1982). Wenn die Schüler erfahren, dass ihre bisherigen Überzeugungen nicht geeignet sind, die beobachteten Verhältnisse zu erklären, sind sie eher bereit, das naturwissenschaftliche Konzept, das eine bessere Erklärungskraft in der Untersuchungssituation besitzen sollte, zu akzeptieren. Wenn jedoch die Wahrnehmung der Schüler bereits einen kognitiven Konflikt unterbindet, ist es von vornherein nahezu ausgeschlossen, das konzeptuelle Vorwissen der Schüler wirksam zu verändern (Chinn & Malhotra, 2002a).

Neben den beschriebenen konzeptuellen Schülervorstellungen über den Untersuchungsgegenstand können auch methodische Schülervorstellungen z.B. über den Umgang mit experimentellen Daten das Erkennen anomaler Daten und damit den Konzeptwechsel verhindern (Ehmer & Hammann, 2008 (im Druck)). In einer Interviewstudie mit Schülern der achten Klasse konnte eine alternative, nicht naturwissenschaftliche Argumentationsstrategie bei der Interpretation von Experimenten identifiziert werden, die den Schülern ein adäquates Verständnis eines dargestellten biologischen Inhalts nicht ermöglichte.

In der Studie wurden Schüler mit Experimentbeschreibungen konfrontiert, in die typische Fehler beim Experimentieren integriert waren. Die Schüler waren aufgefordert, zu den Experimenten Stellung zu nehmen und eventuell vorhandene Fehler zu benennen.

In einer Experimentbeschreibung, mit der Strategien des Bestätigungs-Bias untersucht werden sollten, wurde ein Experiment zur Samenkeimung dargestellt (s. Abbildung 6). Darin

jedoch nur Fähigkeiten von Schülern relevant sind, wird die Perspektive auf die Wissenschaftler hier vernachlässigt.

wurde die weit verbreitete Schülervorstellung thematisiert, dass Licht für die Samenkeimung notwendig ist. Dies trifft im Fall von Bohnensamen jedoch nicht zu. Der Bestätigungs-Bias der Schüler wurde dadurch angesprochen, dass sich die dargestellte experimentelle Evidenz und die gegebene Schlussfolgerung widersprachen: Während das Experiment eindeutige Evidenzen für die Irrelevanz des Faktors Licht für die Samenkeimung von Bohnen lieferte, wurde in der Schlussfolgerung der Beweis der Relevanz des Faktors postuliert. Die Schlussfolgerung unterstützte also die Schülervorstellung gegen vorliegende experimentelle Evidenz. Im Gegensatz dazu stimmten experimentelle Evidenz und Schlussfolgerung für den ebenfalls untersuchten Faktor Wärme, der für die Samenkeimung notwendig ist, überein.

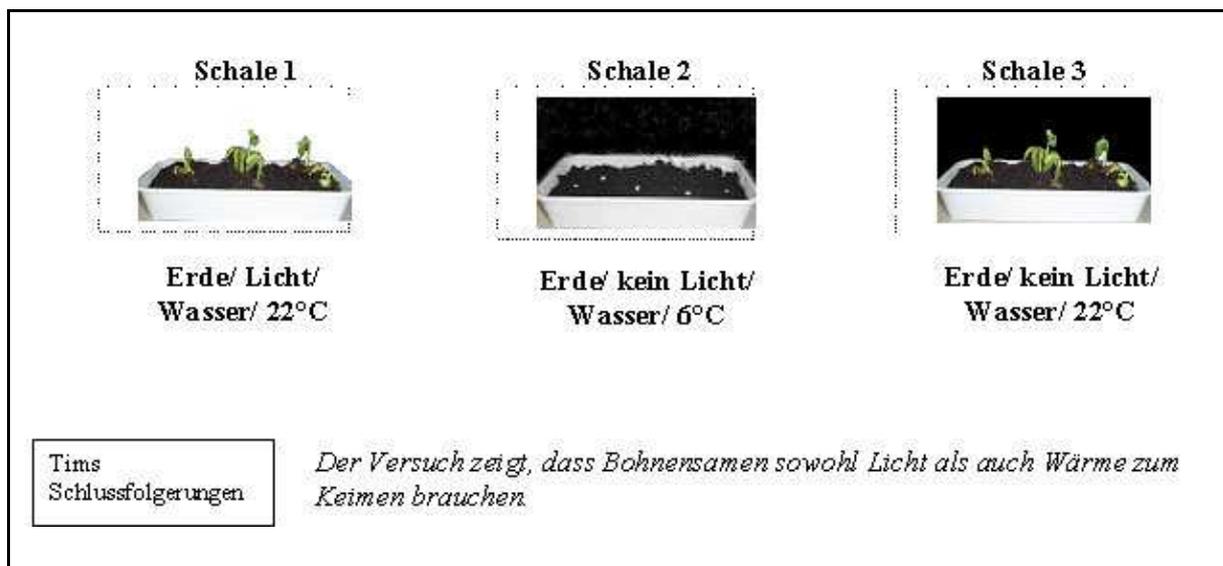


Abbildung 6: Experiment zur Samenkeimung: Irrelevanz des Faktors Licht

Der Vergleich der Schalen 1 und 3 des dargestellten Experiments, die sich ausschließlich im Faktor Licht unterscheiden, zeigt, dass Licht für die Samenkeimung in diesem Experiment nicht notwendig ist, weil die Keimung sowohl mit als auch ohne Licht zustande gekommen ist¹⁵. Die Wirksamkeit des Faktors Wärme kann dagegen aus dem Vergleich der Schalen 2 und 3 abgeleitet werden, die sich ausschließlich in diesem Faktor unterscheiden.

Die Schüler nahmen diese Evidenzen jedoch nicht wie beschrieben war, da sie einer alternativen, nicht naturwissenschaftlichen Argumentationsstrategie folgten. Stattdessen sahen sie die Schlussfolgerung durch die experimentelle Evidenz bestätigt: Bei Anwendung der als Mit-Strategie (Ehmer & Hammann, 2008 (im Druck)) bezeichneten Argumentationsweise folgt aus dem dargestellten Experiment, dass nicht nur Wärme sondern auch Licht für die Samenkeimung notwendig ist. Die Argumentationsstrategie verhindert eine naturwissenschaftliche Interpretation der dargestellten Evidenz. Das liegt daran, dass bei der

¹⁵ Das fehlende Etiollement der Pflanzen, das bei Wachstum in Dunkelheit auftreten würde, wird in diesem Kontext vernachlässigt. Es wurde von den Schülern nicht thematisiert und hatte keinen Einfluss auf die Argumentation.

Mit-Strategie erstens die Ansätze jeweils einzeln und nicht vergleichend interpretiert werden und zweitens in den Ansätzen nur die Faktoren beachtet werden, die bei Erreichen des untersuchten Effekts anwesend sind oder bei Ausbleiben des Effekts fehlen. Es wird dagegen nicht berücksichtigt, ob ein Effekt auch ohne einen Faktor eintritt, der Faktor also irrelevant ist. Die Strategie folgt einer in sich schlüssigen Logik, die jedoch von der naturwissenschaftlichen Logik abweicht.

Bei Anwendung auf die Faktoren Licht und Wärme in Abbildung 6 können die Schüler aus Schale 1 ableiten, dass Licht und Wärme für die Samenkeimung notwendig sind, weil in ihrer Anwesenheit Samenkeimung eintritt. In Schale 2 wird diese Schlussfolgerung bestätigt, da bei Abwesenheit von Licht und Wärme eine Samenkeimung ausbleibt. In Schale 3, in der wiederum Samenkeimung stattfindet, wird die Schlussfolgerung nun ausschließlich auf den anwesenden Faktor Wärme, nicht aber auf den abwesenden Faktor Licht bezogen. Aus diesem Grund bleiben die Schüler auch nach Betrachtung von Ansatz 3 bei der Schlussfolgerung, dass Licht und Wärme für die Samenkeimung in dem dargestellten Experiment notwendig sind.

Ein typisches Beispiel für die Argumentation nach der Mit-Strategie zeigte z.B. folgender Schüler (Ehmer & Hammann, 2007):

„In Schale 1 sind sie [...] gekeimt, weil sie eben Licht, Wasser und 22°C hatten. In Schale 2, weil sie eben kein Licht hatten und nur 6°C, ist eben nichts rausgekommen, [...] weil sie denke ich jetzt zu wenig Grad hatten, also zu wenig Grad Celsius mit 6°C und also auch kein Licht. Und in Schale 3, die hatten auch kein Licht, hatten dafür aber die Temperatur von 22°C und die hat eben ausgereicht, damit die Bohnen dann keimen aus der Erde. Also, das zeigt ja nun, dass [...] Bohnensamen sowohl Licht also auch Wärme zum Keimen braucht.“

Die methodischen Schülervorstellungen über die naturwissenschaftliche Argumentation, d.h. den logischen Umgang mit experimentellen Daten verhindern hier, dass die Schüler Daten, die ihrer Überzeugung widersprechen, überhaupt als widersprüchlich wahrnehmen können. Da es den Schüler durch die Mit-Strategie möglich ist, eine für sie logische Erklärung für die dargestellten Ergebnisse innerhalb ihres Bezugsrahmens zu finden, gibt es für sie keinen Grund, an der Richtigkeit ihrer Überzeugungen zu zweifeln. Der kognitive Konflikt, der sonst die Voraussetzungen für einen Konzeptwechsel schaffen könnte, bleibt aus, da die Schüler die experimentellen Daten nicht als Widerspruch zu ihren Überzeugungen wahrnehmen können. In solchen Situationen ist es schwierig, neue naturwissenschaftliche Konzepte zu vermitteln.

Doch auch wenn Schüler einen Widerspruch zwischen experimentellen Daten und ihren bestehenden Überzeugungen wahrnehmen, halten sie häufig an ihrem Vorwissen und ihren Schülervorstellungen fest. Chinn und Brewer (1998) haben acht Strategien im Umgang mit

anormalen Daten identifiziert, von denen sieben der Beibehaltung einer favorisierten Theorie im Angesicht der widersprechenden Daten dienen. Nur eine Strategie beinhaltet die Ausrichtung des bisherigen Wissens anhand der neuen Erkenntnisse aus den experimentellen Ergebnissen, die nach naturwissenschaftlichen Maßstäben bei ausreichender Evidenz angemessen und notwendig ist. Alle anderen Strategien führen dazu, dass an der favorisierten Überzeugung trotz Wahrnehmung anomaler Daten festgehalten wird. Dazu gehört z.B., nur periphere Aspekte des Vorwissens entsprechend der Datenlage zu verändern, ohne dass jedoch der Kern der Überzeugung von diesen Veränderungen betroffen ist. Die Überzeugung wird also trotz kleinerer Änderungen tatsächlich beibehalten. Weitere Vorgehensweisen beinhalten, dass anomale Daten als ganzes oder in Teilen ignoriert, zurückgewiesen, uminterpretiert oder aus der Interpretation ausgeschlossen werden. Daneben wird die Gültigkeit und damit die Relevanz der Daten in Zweifel gezogen oder eine Interpretation der Daten auf Grundlage der bisherigen Datenlage als noch nicht möglich abgelehnt.

Zwar kann es im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess durchaus angebracht sein, an einer favorisierten Theorie festzuhalten, da eine vorschnelle Verwerfung einer Theorie ebenso kontraproduktiv für den Erkenntnisprozess ist wie ein übermäßiges Festhalten an Überzeugungen. Jedoch gilt dies nicht für experimentelle Situationen, in denen die Daten eindeutig eine Widerlegung der bisherigen Überzeugungen anzeigen, wie im Beispiel des Experiments zur Samenkeimung (s. Abbildung 6). Bei ausreichender und eindeutiger Evidenz muss das bisherige Konzept im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess im Sinne der neuen Erkenntnisse angeglichen werden. Das findet jedoch vielfach v.a. bei Schülern nicht statt, wenn diese ihrem Vorwissen eine gewichtigere Bedeutung einräumen als experimentellen Ergebnissen.

2.1.7.2 Fehler beim Experimentieren

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten Schülervorstellungen zum Experimentieren auf Ebene der naturwissenschaftlichen Epistemologie vorgestellt wurden, werden in diesem Kapitel Fehler beim Experimentieren auf Ebene der konkreten methodischen Vorgehensweise betrachtet. Als Vorarbeit für die vorliegende Studie, in der eine unterrichtliche Umsetzung des Lernens aus Fehlern beim Experimentieren vorgenommen wurde (vgl. Kapitel 2.2.2.4), wurden bekannte Fehler beim Experimentieren systematisiert. Das SDDS-Modell von Klahr (2000) stellte hierbei ein hilfreiches System dar, das die kognitiven Teilaspekte des Experimentierens beschreibt. Es wurde eine Zuordnung typischer Fehler zu den Dimensionen des Experimentierens (Experimente planen, Daten auswerten und Hypothesen bilden) vorgenommen. Verfahrensfehler wie das Verschütten von Ingredienzien wurden nicht berücksichtigt.

Soweit die aufgeführten Fehler mit den bereits genannten epistemologischen Schülervorstellungen in Zusammenhang gebracht werden können, wird eine entsprechende Zuordnung bei der Darstellung vorgenommen.

Fehler in der Dimension „Experimente planen“

Die Planung von Experimenten dient der theoretischen Vorbereitung der gezielten Untersuchung der Fragestellung und Hypothese des Experiments. Aufgrund epistemologischer Grundsätze für die Erkenntnisgewinnung sind dabei logische Grundsätze zu beachten (s. Kapitel 2.1.3 und 2.1.4). Viele Schüler zeigen jedoch Probleme damit, Experimente nach den zentralen Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes zu planen (z.B. Carey et al., 1989).

1. Fehlen des Kontrollansatzes

Wenn Schüler Experimente planen, in denen die Wirksamkeit eines oder mehrerer Testvariablen untersucht werden sollen, berücksichtigen sie häufig lediglich einen Ansatz (Solitäransatz) für die Untersuchung, d.h. sie vernachlässigen die Notwendigkeit eines Kontrollansatzes (Carey et al., 1989). Sie beachten nicht, dass kausale Zusammenhänge zwischen Variablen nur aus einem Vergleich von zwei Ansätzen, nämlich des Kontrollansatzes und eines Experimentalansatzes je Testvariable geschlossen werden können. Stattdessen scheint es für die Schüler ausreichend zu sein, die für sie interessanten Variablen in ein und demselben Ansatz zu untersuchen. Dieses Vorgehen erlaubt es jedoch nur, den zu untersuchenden Vorgang darzustellen, indem der Vorgang zielgerichtet produziert wird, nicht aber die kausalen Zusammenhänge der beteiligten Variablen zu überprüfen (Carey et al., 1989). Das Experimentieren ohne Kontrollansatz ist daher dem Ingenieursmodus des Experimentierens und der Schülervorstellung zuzuordnen, dass Wissen in Experimenten dargestellt, statt gewonnen wird (Demonstrationsexperimente) (Hammann et al., 2006).

2. Unsystematische Variation von Variablen

Auch wenn Schüler mehrere Ansätze und eventuell einen Kontrollansatz in ihre Experimentplanungen integrieren, entstehen häufig Probleme: Schüler variieren Variablen oft unsystematisch, d.h. sie haben Schwierigkeiten mit der konsequenten Kontrolle der eingesetzten Variablen (Hammann et al., 2007; Klahr, 2000; Koslowski, 1996; Mayer, 1999; Thi Thanh Hoi Phan et al., 2004; Schauble et al., 1991; Tschirgi, 1980).

Change all

Vor allem jüngere Schüler neigen dazu, zwischen zwei Ansätzen eines Experiments alle Variablen auszutauschen (*change all*), und zwar unabhängig davon, ob es sich um Testvariablen oder andere Variablen des Experiments handelt (Tschirgi, 1980). Das Ziel der Schüler ist es, einen möglichst großen Kontrast zwischen den Ansätzen zu schaffen, den sie

für besonders aussagekräftig halten (Ehmer & Hammann, 2008 (im Druck)). Sie konzentrieren sich dabei nicht auf die formale Struktur ihres Vorgehens, sondern auf die funktionalen Auswirkungen, d.h. das Erreichen des untersuchten Effekts mit allen für notwendig erachteten Variablen in einem Ansatz und das Ausbleiben des Effekts durch den Austausch aller Variablen im anderen Ansatz (Tschirgi, 1980). Dieses Vorgehen weist einerseits daraufhin, dass Schüler, die eine *change all*-Strategie verfolgen, kein methodisches Wissen über die verschiedenen Arten von Variablen beim Experimentieren besitzen, und dass der Effekt als Ergebnis eines Experiments im Sinne des Ingenieursmodus des Experimentierens eine wichtige Rolle für sie spielt.

HOTAT (*hold one thing at time*)

Oft weisen Schüler, die zwischen Testvariablen und anderen Variablen in einem Experiment unterscheiden können, dennoch Schwächen bei der Planung von Experimenten im Bereich der Variablenkontrolle auf:

Bei der sogenannten HOTAT-Strategie (*hold one thing at time*) (Tschirgi, 1980) halten Schüler zwischen zwei Versuchsansätzen nur die Testvariable konstant, während sie alle anderen Variablen austauschen. Die HOTAT-Strategie ist also komplementär zur Variablenkontrolle, bei der nur die Testvariable verändert wird (VOTAT: *vary one thing at time*). Die HOTAT-Strategie zeigt sich im Allgemeinen in Experimenten, in denen eine positive Wirkung eines Faktors erwartet wurde und auch eintritt, z.B. guter Geschmack eines Kuchens bei Zugabe von Honig zum Kuchenteig. Sollen Schüler ein weiteres Experiment planen, durch das die Hypothese überprüft werden kann, dass der gute Geschmack auf den Honig zurückzuführen ist, variieren sie häufig alle Zutaten außer dem Honig, z.B. verwenden sie Roggenmehl statt Weizenmehl. Ihr Ziel ist es, die vermeintlich gute Wirkung des Honigs dadurch zu beweisen, dass diese auch isoliert unter vollständig andersartigen Bedingungen auftritt. Offensichtlich spielt bei dieser Art der methodischen Vorgehensweise die Idee eine Rolle, dass Eigenschaften an einzelne Faktoren gebunden sind und situationsunabhängig auftreten (Tschirgi, 1980).

Konfundierung

Ein weiterer Fehler, der beim Planen von Experimenten regelmäßig auftritt, ist, dass Schüler häufig die Testvariablen, die sie in dem aktuellen Experiment untersuchen wollen, gleichzeitig verändern, während sie die anderen Variablen konstant halten. Das Ergebnis ist ein konfundiertes Experiment, dessen Experimentalansatz sich vom Kontrollansatz in allen Testvariablen gleichzeitig unterscheidet (Koslowski, 1996; Mayer, 1999; Schauble et al., 1991; Tschirgi, 1980). Dadurch können keine eindeutigen Aussagen über die Wirkung einzelner Testvariablen getroffen werden. Meistens handelt es sich in selbst geplanten Experimenten bei den Testfaktoren um die Variablen, die die Schüler im untersuchten Naturvorgang als ursächlich halten (Chinn & Brewer, 1998; Schauble, 1996). Das führt dazu,

dass der Naturvorgang im Kontrollansatz, der alle notwendigen Faktoren enthält, zustande kommt, während er im Experimentalansatz ausbleibt. Schüler halten die gleichzeitige Untersuchung mehrerer Variablen für besonders effizient, da sie ihrer Meinung nach Schlussfolgerung über mehrere Variablen zulassen, und ziehen diese Vorgehensweise einer naturwissenschaftlichen, d.h. systematischen Untersuchung der Faktoren vor (Ehmer & Hammann, 2008 (im Druck)).

Der Zusammenhang zum Ingenieursmodus ist evident, weil bei diesem Vorgehen das Erreichen des Effekts die Planung der Experimentansätze bestimmt.

3. Positives Testen

Schüler planen Experimente häufig bereits derart, dass diese ausschließlich zur Bestätigung, jedoch nicht zur Widerlegung ihrer Überzeugungen geeignet sind (failure to seek disconfirmation) (Klayman & Ha, 1989; Koslowski, 1996; Mayer, 1999). Diese Vorgehensweise wird auch als positive Teststrategie bezeichnet, da Schüler hierbei meistens nur die Variablen berücksichtigen, die sie als relevant für den untersuchten Naturvorgang halten, nicht aber solche Variablen untersuchen, die sie für irrelevant halten. Das führt oftmals dazu, dass die Überzeugungen der Schüler durch ihre Experimente bestätigt werden, und Aspekte, von denen die Schüler noch nichts oder nur wenig wissen, aus dem Experiment ausgelassen werden. Dadurch hat ein Experiment für die Schüler faktisch keine Erkenntnis bringende, sondern nur eine bestätigende oder demonstrative Funktion (s. auch „zu starke Eingrenzung von Hypothesen“ S. 31). Hierin lässt sich der Zusammenhang zum Bestätigungs-Bias erkennen und zu der epistemologischen Schülervorstellung, dass Experimente der Darstellung von Wissen dienen.

4. Fehlender Bezug zwischen Experimenten in Versuchsreihen

Nicht nur auf der Ebene eines einzelnen Experiments kann es zu Schwierigkeiten kommen: Schüler haben oftmals Probleme damit, Experimente in Versuchsreihen sinnvoll aufeinander aufzubauen. Sie verfolgen keinen übergeordneten Versuchsplan, sondern planen aufeinander folgende Experimente häufig ohne logischen Bezug zueinander, so dass unzusammenhängende Einzelexperimente entstehen, denen die gemeinsame Grundlage fehlt (Kuhn & Angelev, 1976; Schauble et al., 1991). Den Schülern mangelt es hier offensichtlich an Überblick, um einen Naturvorgang umfassend und dabei systematisch zu untersuchen. Dieses Vorgehen steht in direktem Zusammenhang mit Fehlern in der Dimension „Aufstellen von Hypothesen“ (s. S. 32 „Fehlender Bezug zwischen Folgehypothesen“).

Fehler in der Dimension „Daten auswerten“

Die Auswertung der Daten dient der Bewertung der Hypothese, die im Experiment überprüft wird, d.h. die Hypothese wird bestätigt bzw. teilweise oder vollständig zurückgewiesen (Hammann et al., 2006). Dazu müssen die Ergebnisse der einzelnen

Experimentansätze miteinander verglichen werden, um Rückschlüsse über die Wirksamkeit der darin eingesetzten Variablen ziehen zu können. Es werden jeweils zwei Ansätze verglichen, die sich ausschließlich in der einen gerade betrachteten Testvariable unterscheiden. Die Datenauswertung folgt also wie die Planung von Experimenten den Grundsätzen des Kontrollansatzes und der Variablenkontrolle. Erst wenn eine Wirkung beim Einsatz der Testvariablen eintritt, jedoch ausbleibt, wenn die Variable weggelassen wird, kann die Testvariable als ursächlich, d.h. relevant für den Vorgang bewertet werden. Dieses Vorgehen sichert die Möglichkeit von eindeutigen Aussagen über die Wirksamkeit von Variablen.

Schüler befolgen die logischen Vorgaben von Kontrollansatz und Variablenkontrolle jedoch häufig nicht, wenn sie Experimente auswerten (Hammann et al., 2006).

1. Ungültige Schlussfolgerung: unbewiesene Kausalität

Oftmals ziehen Schüler Schlussfolgerungen über die Kausalität eines Faktors auch aus einem Experiment, dem ein Kontrollansatz fehlt, d.h. aus einem einzelnen Ansatz (Solitäransatz) (Carey et al., 1989; Schauble et al., 1991). So schließen Schüler z.B. aus einer Versuchsanordnung, in der Butter durch die Mischung von Sahne und Zitronensaft gewonnen wird, auf die Notwendigkeit von Zitronensaft für die Herstellung von Butter (Hammann et al., 2006). Sie beachten dabei nicht, dass ein solcher Beweis nur dann gültig ist, wenn in einem ansonsten identischen Ansatz ohne Zitronensaft keine Butter gewonnen werden kann. Tatsächlich beschleunigt der Zitronensaft nur den Butterungsprozess, der jedoch auch in Abwesenheit von Zitronensaft abläuft. Für die Schüler hat jedoch ein einzelner Ansatz, in dem unter Anwesenheit von Zitronensaft Butter hergestellt wurde, Beweiskraft. Damit ähnelt ihre Argumentation der bereits beschriebenen Mit-Strategie bei der Interpretation experimenteller Daten (Ehmer & Hammann, 2008 (im Druck)) und kann im Zusammenhang mit dem Bestätigungs-Bias gesehen werden.

2. Unlogische Schlussfolgerungen

Weiterhin ziehen Schüler oftmals unlogische Schlussfolgerungen aus Experimenten (Hammann et al., 2007; Hammann et al., 2006; Thi Thanh Hoi Phan et al., 2004; Schauble et al., 1991). Dazu gehört einerseits, dass sie Schlüsse über die Kausalität von Variablen ziehen, die im betrachteten Experiment nicht untersucht wurden (Hammann et al., 2006). Hierbei werden Schüler wiederum von ihren Überzeugungen über den Untersuchungsgegenstand geleitet, die eine größere Bedeutung als die Variablenkonstellation des gerade betrachteten Experiments besitzen. Ursache könnte ein mangelndes Bewusstsein der Erkenntnisfunktion von Experimenten im Gegensatz zur Darstellung von Wissen sein.

Andererseits ziehen Schüler unlogische Schlussfolgerungen aus konfundierten Experimenten (Koslowski, 1996; Schauble et al., 1991), deren Ansätze sich in zwei oder mehr Faktoren von einander unterscheiden. Solche Experimente bieten keine Aussagekraft für die

Kausalität eines einzelnen Faktors (s. S. 27). Schüler empfinden es jedoch häufig als besonders einleuchtend, wenn alle Testvariablen gleichzeitig verändert werden, weil der Kontrast zwischen dem Kontrollansatz mit den Testvariablen und einem Experimentalansatz ohne die Testvariablen für sie dann noch klarer hervortritt (Ehmer & Hammann, 2008 (im Druck)). Die Argumentation ähnelt der Mit-Strategie (s. S. 24; Argumentation zu Schale 1 und 2) und könnte daher ebenfalls in Zusammenhang mit dem Bestätigungs-Bias stehen.

3. Fehlende Anerkennung abweichender Ergebnisse

Der Bestätigungs-Bias zeigt sich besonders deutlich auf Ebene der Datenanalyse, weil hier teilweise sehr starke Abweichungen von der naturwissenschaftlichen Logik und Methode zu beobachten sind. Die wichtigsten methodischen Fehler in diesem Bereich, die der Verteidigung inhaltlicher Überzeugungen dienen, z.B. das Ignorieren anomaler Daten, sind bereits auf S. 21ff. dargestellt worden.

Tabelle 1 bietet einen Überblick über den Zusammenhang von Fehlern beim Planen und Auswerten von Experimenten.

Tabelle 1: Überblick über Fehler beim Planen von Experimenten und beim Auswerten experimenteller Daten

Experimente planen	Experimentelle Daten auswerten
fehlender Kontrollansatz (e.g. Schauble, Klopfer, Raghavan 1991, Carey et al. 1989)	ungültige Schlüsse \Rightarrow unbewiesene Kausalität (e.g. Schauble, Klopfer, Raghavan 1991, Carey et al. 1989)
unsystematischer Umgang mit Variablen, Konfundierung (e.g. Mayer 1999, Klahr 2000, Tschirigi 1980)	unlogische Schlüsse (e.g. Schauble, Klopfer, Raghavan 1991)
Positives Testen (Klayman, Ha 1989)	„confirmation bias“ (e.g. Chinn, Brewer 1998)

Werden Experimente ohne einen Kontrollansatz geplant, führen sie zu ungültigen Schlussfolgerungen, wenn sie nach der Datenerhebung ausgewertet werden. Wenn konfundierte Experimente geplant werden, führt deren Auswertung dagegen zu unlogischen Schlussfolgerungen. Der Bestätigungs-Bias führt bereits auf der Ebene der Experimentplanung zu positiven Teststrategien, die häufig nur bestätigende Daten erbringen, und setzt sich bei der Auswertung von Daten fort, indem die Daten im Einklang mit bestehenden Überzeugungen verstanden werden.

Fehler in der Dimension „Hypothesen bilden“

Beim hypothesengeleiteten Experimentieren der modernen Naturwissenschaften nimmt die Hypothese, zu deren Überprüfung ein Experiment durchgeführt wird, eine zentrale Stellung ein (Hamman et al., 2006). Eine Hypothese ist eine begründete Annahme über einen noch nicht bekannten bzw. in Zweifel stehenden Teil einer Theorie. Die Begründung der Hypothese liegt z.T. sehr umfangreich im bereits bekannten Teil der Theorie. Schüler haben dagegen große Schwierigkeiten mit verschiedenen Aspekten von Hypothesen.

1. Experimentieren ohne Hypothese

Obwohl die Überprüfung von Hypothesen den eigentlichen Zweck naturwissenschaftlicher Experimente darstellt, führen Schüler ihre eigenen Experimente häufig ohne Berücksichtigung von Hypothesen durch (Carey et al., 1989). Für sie erfüllt das Experimentieren nicht diese naturwissenschaftliche Funktion. Stattdessen folgt ihr Vorgehen dem Ingenieursmodus des Experimentierens, bei dem die Produktion und nicht die Untersuchung eines Effekts im Vordergrund steht (Schauble et al., 1991).

Das mangelnde Verständnis für die Bedeutung von Hypothesen lässt sich auch beim Identifizieren von Hypothesen in gegebenen Experimenten feststellen. Wenn Schüler mit Experimenten konfrontiert werden, die nach naturwissenschaftlichen Grundsätzen geplant wurden, sind sie häufig nicht in der Lage, die Hypothese zu identifizieren, die dem Experiment zugrunde liegt (Hamman et al., 2006). Stattdessen ordnen viele Schüler einem einfachen Experiment zu viele bzw. nicht relevante Hypothesen zu, d.h. sie sind nicht in der Lage, den Zusammenhang zwischen den Testvariablen und den Hypothesen eines Experiments zu erkennen (Hamman et al., 2006). Einige Schüler wählen darüber hinaus auch dann eine Aussage, die sich ausschließlich auf die Produktion eines Effektes bezieht, als Grundlage des Experiments aus, wenn ihnen gleichzeitig zutreffende und unzutreffende Hypothesen – also Aussagen über Ursache-Wirkungsbeziehungen – zur Auswahl stehen (Hamman et al., 2006).

2. Zu starke Eingrenzung von Hypothesen

Auch wenn Schüler beim Experimentieren Hypothese berücksichtigen, kommt es häufig zu Schwierigkeiten, die z.B. den Umfang der Hypothese betreffen. Oftmals stellen Schüler Hypothesen zu eng begrenzt auf, so dass diese nur einen zu kleinen Ausschnitt der Theorie betreffen und keine notwendige umfassende Betrachtung des untersuchten Phänomens zulassen (Schauble et al., 1991). Die zu starke Eingrenzung der Hypothesen wird mit der bereits beschriebenen positiven Teststrategie (Fay & Klahr, 1996) in Zusammenhang gebracht, weil die Hypothesen hierbei häufig nur auf den Bereich einer Theorie ausgerichtet werden, der als zutreffend angesehen wird, während Bereiche, die als nicht zutreffend bewertet werden, ausgeschlossen werden (s. S. 28). Dieser Zusammenhang soll an einem bekannten Beispiel aus der Mathematik/Kognitionsforschung verdeutlicht werden (Wason,

1960): Werden Schüler mit der Zahlenfolge 2-4-6 konfrontiert, deren zugrunde liegende Regel sie ermitteln sollen, schließen Schüler häufig vorschnell, dass diese Regel z.B. „um 2 ansteigende Zahlen“ oder „das kleine 1mal2“ lautet. Für sie stellt die Differenz zwischen den einzelnen Zahlen das charakteristische Merkmal der Sequenz dar. Sie gehen davon aus, dass das dominante Merkmal ein Zeichen für die gesuchte Regel darstellt. Dabei lassen sie jedoch außer Acht, dass die Regel deutlich weiter gefasst sein könnte und z.B. „natürliche Zahlen“ oder „Zahlen größer 1“ lauten könnte. Die Schüler grenzen ihre Hypothesen also entsprechend ihren Erwartungen und Erfahrungen zu stark ein. Bei der Überprüfung ihrer Hypothese durch Nennung eigener Zahlenreihen und Rückmeldung über die Konformität mit der Ursprungsregel, wählen Schüler darüber hinaus in einer positiven Teststrategie meistens nur solche Zahlenreihen aus, die ihrer vermuteten Regel folgen. Sie überprüfen nicht, ob Zahlenreihen, die außerhalb des Regelbereiches liegen, tatsächlich als nicht konform bewertet werden. Da die Hypothesen der Schüler einen Ausschnitt der tatsächlichen Hypothese darstellen, können sie nur bestätigende Rückmeldung für ihre Annahme erhalten, obwohl diese nicht der tatsächlichen Hypothese entspricht. Die zu enge Begrenzung der Hypothese lässt Schüler bildlich gesprochen nur die Spitze eines Eisbergs betrachten, ohne dass ihnen die Existenz der darunter befindlichen Eismassen bewusst ist (Abbildung 7).

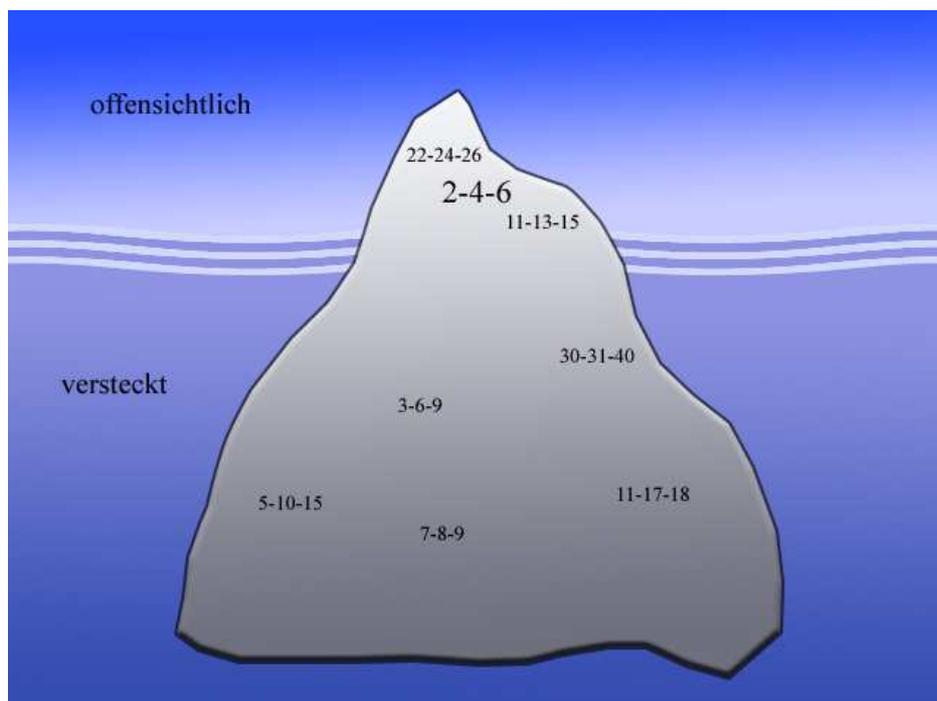


Abbildung 7: Illustration der zu starken Eingrenzung von Hypothesen

3. Fehlender Bezug zwischen Folgehypothesen

Wie bei der Planung von Experimenten beschrieben, weisen Experimente in Versuchsreihen (z.B. bei der Untersuchung der Wirkung mehrerer Faktoren in einem System) oft keinen Bezug zueinander auf, sondern stellen Einzlexperimente ohne oder mit geringem

Zusammenhang dar. Die Planung der einzelnen Experimente wird bereits durch die von den Schülern verfolgten Hypothesen bestimmt. Viele Schüler stellen Hypothesen und Folgehypothesen auf, die sich entweder gar nicht aufeinander beziehen oder aber nur mit der direkt anschließenden Hypothese in Zusammenhang stehen (*local chaining*) (Schauble et al., 1991). Das führt zu der beschriebenen unsystematischen Durchführung von Versuchsreihen, die eine einheitliche Untersuchung eines komplexen Systems von Variablenbeziehungen nicht zulassen. Stattdessen wird eine Aneinanderreihung zahlreicher Einzelvergleiche vorgenommen (Hamman et al., 2006).

2.1.7.3 Förderung von Fähigkeiten beim Experimentieren

Obwohl die Fähigkeiten von Schülern beim naturwissenschaftlichen Experimentieren seit mehreren Jahrzehnten mit wechselndem Fokus untersucht werden, und Schwächen von Schülern in diesem Bereich wie beschrieben detailliert bekannt sind, wurde bislang wenig systematische Forschung hinsichtlich der gezielten Förderung der kognitiven Kompetenzen in diesem Bereich durchgeführt. Aus Studien, die in jüngster Zeit vor allem das NOS-Verständnis der Schüler in den Blick genommen haben, sind dennoch einige Einzelaspekte einer positiven Wechselwirkung von methodischem und epistemologischem Wissen bekannt, die das Verständnis der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren fördern können. Im Folgenden werden die Erkenntnisse zur Förderung der kognitiven Fähigkeiten der Schüler zusammengefasst.

Schüler haben vielfach keine klaren oder nicht-wissenschaftliche Vorstellungen über die Zielstellung von Experimenten. Wissen darüber, dass naturwissenschaftliche Experimente der Überprüfung kausaler Zusammenhänge von Variablen eines natürlichen Systems dienen, führt zu einem adäquateren und systematischeren Vorgehen beim Experimentieren (Carey et al., 1989; Dunbar, 1993; Hart et al., 2000; Metz, 1998; Sandoval & Reiser, 2004) und einer angemesseneren Interpretation von experimentellen Daten (Dunbar, 1993; Schauble et al., 1991). Die Einbettung der Vermittlung methodischer Inhalte des Experimentierens in einen weiteren epistemologischen Zusammenhang hat sich als förderlich erwiesen (Carey et al., 1989), da für ein adäquates Methodenverständnis NOS-Wissen über Eigenschaften des Wissens notwendig ist (Schwartz et al., 2004). Auch das Protokollieren von Experimenten, die evidenzbasierte Begründung von Schlussfolgerung und deren kritischere Betrachtung kann durch das Wissen über Ziele des Experimentierens gefördert werden (Hart et al., 2000). Gleiches gilt für die konsequente Anwendung der Prinzipien der Variablenkontrolle (Sodian et al., 1991; Tschirgi, 1980) und des Kontrollansatzes (Tschirgi, 1980).

Wissen über den Unterschied zwischen direkter Beobachtung und der indirekten experimentellen Untersuchung von Naturphänomenen und den damit verbundenen

Schwierigkeiten (s. Kapitel 2.1.3) zieht einen adäquateren Umgang mit experimentellen Daten nach sich, und zwar z.B. beim Umgang mit anomalen, d.h. der eigenen Überzeugung widersprechenden Daten (Chinn & Brewer, 1998; Chinn & Malhotra, 2002a), oder bei der Erkenntnis, dass keine Kausalbeziehung zwischen Variablen besteht (Irrelevanzen¹⁶) (Kanari & Millar, 2004).

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass ein Zusammenhang zwischen der konzeptuellen Problemlösefähigkeit von Schülern, zu der in den Naturwissenschaften auch das Experimentieren zählt, und ihrem NOS-Verständnis besteht (Lin et al., 2004). Lin und Mitarbeiter betonen hier ausdrücklich, dass noch Studien ausstehen, die die gezielte Förderung von Fähigkeiten der Schüler beim Problemlösen durch die Vermittlung von epistemologischem Wissen im Umkehrschluss untersuchen.

Außerdem wurde in der Arbeitsgruppe von Sandoval ermittelt, dass die Fähigkeiten und das Verständnis der Schüler beim Experimentieren nicht allein durch eine Betrachtung abstrakter naturwissenschaftlicher Zusammenhänge gefördert werden kann (Sandoval & Reiser, 2004). Hierzu werden formale von praktischen Epistemologien unterschieden. Das Verständnis der Schüler ist vor allem auf der Ebene der praktischen Epistemologien, die ihr eigenes Experimentieren im Gegensatz zu Experimenten ferner Wissenschaftler betrifft, zu fördern (Sandoval & Reiser, 2004). Es sind also für ein adäquates Verständnis des naturwissenschaftlichen Experimentierens auch und vor allem Experimente notwendig, die die Schüler selbst planen und durchführen.

¹⁶ Das Erkennen von Irrelevanzen fällt Schülern oft schwer. Ein Grund hierfür könnte sein, dass in schulischen Experimenten fast ausschließlich kausal verbundene Variablen in Experimenten untersucht werden (Kanari & Millar, 2004).

2.2 Theorie des negativen Wissens

Bereits seit der ersten PISA-Studie im Jahr 2000 besteht eine wesentliche Forderung für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Entwicklung eines tieferen und flexibler anwendbaren Verständnisses der Schüler. Dieses soll einerseits durch eine systematische und häufigere Thematisierung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen im Unterricht erreicht werden (s. Kapitel 2.1), andererseits sollen innovative Vermittlungskonzepte entwickelt werden, die den Schülern das Verständnis zusätzlich erleichtern (Prenzel et al., 2007). Diese Anliegen bleiben auch nach dem deutlich besseren Abschneiden deutscher Schüler in der PISA 2006-Studie erhalten, da ein Vergleich mit den Spitzenreitern Finnland zeigt, dass das momentane Niveau deutscher Schüler noch deutlich gesteigert werden kann und soll (Prenzel et al., 2007).

In diesem Kapitel soll ein vielversprechendes theoretisch fundiertes Vermittlungskonzept vorgestellt werden, das in der Biologiedidaktik bislang erst wenig Beachtung gefunden hat: Es basiert auf der Theorie des negativen Wissens, in der die Förderung des Verständnisses von Schülern durch Abgrenzungen und Kontrastierungen von Wissensaspekten thematisiert wird. Die Theorie wurde aus einer Folge von schulpädagogischen Studien abgeleitet, in denen das Lernpotenzial von Fehlern und eine Neubewertung von Fehlern im Schulkontext in den Blick genommen wurden.

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über die schulpädagogischen Studien gegeben, welche die Grundlage der Theorie des negativen Wissens bildeten. Dabei steht die Bewertung von Fehlern für den Lernprozess im Mittelpunkt. Im Anschluss wird die Theorie des negativen Wissens dargestellt, die eine Erklärung der Lernwirksamkeit von Fehlern bietet. In diesem Zusammenhang werden Fehler von Schülervorstellungen abgegrenzt, Methoden zum Erwerb negativen Wissens und die bisherige Anwendungsgebiete in der Biologiedidaktik aufgezeigt.

2.2.1 Ursprung und Entstehung

Wirtschaftswissenschaftler begannen bereits in den 1980er Jahren, den Nutzen von Fehlern für die Produktivitätssteigerung von Unternehmen zu untersuchen (Chott, 1999), und zwar in den Bereichen der Produkt-, Prozess- und Servicequalität. Es gehört heute zum Standard der Qualitätssicherung von Wirtschaftsbetrieben, einen produktiven Umgang mit Fehlern unter dem Stichwort kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) in Unternehmen zu integrieren. Ziel ist es dabei, tatsächliche oder hypothetische Fehler als Zeichen bzw. Anlass zu nehmen, bestehende Prozesse oder Strukturen zu verbessern, um Fehler in Zukunft zu verhindern (Kotska & Kotska, 2006; Witt & Witt, 2006).

Im privaten Bereich und vor allem in der Schule ist diese Sichtweise auf Fehler jedoch bislang kaum zu beobachten: Fehler werden im Allgemeinen als etwas Negatives bewertet,

das ein Zeichen von Unzulänglichkeit darstellt. Obwohl Sprichworte wie „Aus Fehlern wird man klug“ auf ein kulturelles Bewusstsein über die Lernwirksamkeit von Fehlern hinweisen, werden Fehler meistens mit negativen Emotionen wie Scham, Ärger und Versagen assoziiert (Chott, 1999; OserHascher & Sychinger, 1999; Spychiger et al., 1999). Aus diesem Grund ist man bestrebt, Fehler zu vermeiden, zu verhindern und/oder zu beseitigen. Das gilt im Besonderen für den Bereich der Schule, der sich durch eine starke Leistungsorientierung auszeichnet, in der Fehler zu einer negativen Bewertung führen (Chott, 1999; OserHascher & Sychinger, 1999; Spychiger et al., 1999).

Seit einigen Jahren setzt jedoch auch in der Schule eine Neubewertung von Fehlern ein, in der das Lernpotenzial von Fehlersituationen hervorgehoben wird. Aufgrund des Ausmaßes der notwendigen Veränderungen wird in diesem Zusammenhang auch von einer „Kulturrevolution“ gesprochen (Kahl, 1992b). In dem schulpädagogischen Forschungsprojekt „Lernen Menschen aus Fehlern? Zur Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule“ wurden in der Schweiz in mehreren Teilstudien der Stellenwert von Fehlern im privaten und schulischen Bereich sowie die Bedingungen des Lernens aus Fehlern untersucht (OserHascher & Sychinger, 1999). Im Folgenden werden die schulrelevanten Aspekte des Forschungsprojekts kurz vorgestellt:

Zu Beginn des Projekts wurden durch Videostudien typische Fehlersituationen der Schule identifiziert, die den Umgang mit Fehlern charakterisieren. Häufig wurden Fehler bei ihrem Auftreten nur verbessert, die fehlerhaften Aspekte aber nicht thematisiert, so dass in dieser Hinsicht keine Lerngelegenheit entstehen konnte. Als „Bermuda-Dreieck des Fehlers“ wurde in diesem Zusammenhang das wortlose Übergehen eines Fehlers im Unterricht bezeichnet, bei dem ein anderer Schüler nach der richtigen Antwort gefragt wird, die falsche Antwort jedoch nicht weiter beachtet wird. Bei einem solchen Umgang mit Fehlern bleibt das Lernpotenzial eines Fehlers ungenutzt (OserHascher & Sychinger, 1999).

Umfangreiche Befragungen von Mittel- und Oberstufenschülern zum Umgang mit Fehlern in der Schule bestätigten diese Ergebnisse, da sich ein produktiver Umgang mit Fehlern als weitgehend unbekannt herausstellte. Voraussetzungen für einen produktiven Umgang mit Fehlern erwiesen sich in der Schule dagegen als grundsätzlich gegeben, da die Schüler im Allgemeinen keine Strafen oder Maßregelungen beim Begehen von Fehlern befürchten. Für einen Teil der Schüler stellt die Beschämung einer Fehlersituation durch die Beobachtung der Mitschüler allerdings ein großes Problem dar, das eine offene Auseinandersetzung mit ihren Fehlern erschwert (OserHascher & Sychinger, 1999). Diese stellt jedoch eine wichtige Voraussetzung für das Lernen aus Fehlern dar (s.u.).

In sechs Fallstudien wurde schließlich das Lernpotenzial von Fehlern im Unterricht genauer untersucht. Dazu wurden in den teilnehmenden Klassen Projekte durchgeführt, die individuelle Probleme der Lerngruppen aufgegriffen. Diese betrafen ganz unterschiedliche Problembereiche, vom Sozialverhalten der Lerngruppe bis zum richtigen Gebrauch

geometrischer Werkzeuge im Mathematikunterricht. Die Projekte wurden gezielt auf das Lernen aus Fehlern, die im Unterricht auftraten, ausgerichtet. Ein Erfolg konnte vor allem bei solchen Problemen beobachtet werden, die sozial-emotionale Bereiche ansprachen. Bei kognitiven Problemen wurden dagegen geringere Erfolge erreicht (OserHascher & Sychinger, 1999).

Als Ergebnis des Forschungsprojekts wurde die Methode des Lernens aus Fehlern konkretisiert und Merkmale einer Fehlerkultur abgeleitet. Darüber hinaus wurde die Theorie des negativen Wissens aufgestellt, durch die die Lernwirksamkeit des Lernens aus Fehlern aus kognitiver Sicht erklärt werden kann.

2.2.2 Darstellung der Theorie

In diesem Kapitel werden die zentralen Aspekte der Theorie des negativen Wissens im Detail vorgestellt. Hierfür erscheint die Definition von Fehlern und deren Abgrenzung von Schülervorstellungen notwendig, die der Betrachtung daher vorangestellt werden.

2.2.2.1 Definition des Begriffs Fehler

In der Literatur gibt es keine einheitliche Definition des Begriffs Fehler (Chott, 1999; OserHascher & Sychinger, 1999; Rollett, 1999; Weinert, 1999). Stattdessen wird eine Vielzahl verschiedener Begriffe von unterschiedlicher Komplexität und inhaltlicher Ausrichtung gebraucht, wie z.B. Nichtrichtiges, Falsches, Fehlverhalten oder auch Frustration von Erwartungen und Abweichung von individuellen Absichten (OserHascher & Sychinger, 1999). Im Gegensatz zum Irrtum, der auf einem Mangel von Information oder deren Fehlinterpretation (Rollett, 1999) beruht, ist bei einem Fehler das Wissen, das z.B. eine fehlerfreie Aufgabenlösung ermöglichen würde, prinzipiell vorhanden. Dieses Wissen kommt jedoch aus irgendeinem Grund nicht adäquat zur Anwendung (Chott, 1999). Gloy (in Chott, 1999) fasst die Begriffsvariabilität zusammen, indem er einen Fehler allgemein als eine Erscheinung bezeichnet, die im Bezug auf ein „Richtiges“ zurückgewiesen, behoben oder künftig vermieden werden muss. Oser und Hascher (in Rollett, 1999, S. 72) betonen das Erkenntnispotenzial, das Fehler in sich tragen, und definieren den Begriff Fehler daher als einen von einer Norm abweichenden „Sachverhalt oder Prozess, der es überhaupt erst ermöglicht, den diesem Sachverhalt oder Prozess entgegengesetzten richtigen normbezogenen Sachverhalt in seinen Abgrenzungen zu erkennen“. In diesem Sinne stellen Fehler einen „Verbündeten im Lernprozess dar“ (Kahl, 1992a), der präzise weiteren Lernbedarf identifiziert. Der Bezug auf eine Norm in der Definition verdeutlicht die Kontextabhängigkeit von Fehlern, d.h. dass sie nur in Bezug auf eine bestimmte Norm als Fehler betrachtet werden können. Ein Sachverhalt, der im Zusammenhang mit einer bestimmten Norm einen Fehler

darstellt, kann bei Änderung der zugrunde gelegten Norm, d.h. in einer anderen Situation eventuell keinen Fehlerstatus tragen.

Fehler können aus verschiedenen Perspektiven kategorisiert werden: Sie können fachlicher, moralischer oder sozialer Art sein (OserHascher & Sychinger, 1999). Mit Bezug auf den Inhalt des Fehlers können bei fachlichen Fehlern z.B. Grammatik-, Rechtschreib- oder Rechenfehler unterschieden werden. Hinsichtlich der Entstehung von Fehlern ist zwischen Flüchtigkeitsfehlern, die zufällig ohne eine zugrundeliegende Gesetzmäßigkeit auftreten (Weinert, 1999), und logischen Fehlern zu unterscheiden (OserHascher & Sychinger, 1999). Letztere zeichnen sich dadurch aus, dass ihnen eine eigene fehlerhafte Logik zugrunde liegt, die auch bei Wiederholung der Situation zu demselben falschen Ergebnis führen würde (Hamman, 2003). Versehentliche Flüchtigkeitsfehler können dagegen mit gleicher Wahrscheinlichkeit in der nächsten Situation auftreten oder auch unterbleiben (Hamman, 2003). Auf psychologischer Ebene differenziert man schließlich produktive Fehler, die den Lernprozess voranbringen und für den Lernenden einen Nutzen haben, und unproduktive Fehler, die dieses Potenzial nicht bieten (OserHascher & Sychinger, 1999). Letztere beinhalten z.B. Flüchtigkeitsfehler.

Für das Lernen aus Fehlern und die Theorie des negativen Wissens sind nur produktive logische Fehler aufgrund des enthaltenen Lernpotenzials von Bedeutung.

2.2.2.2 Abgrenzung der Begriffe Fehler und Schülervorstellung

Häufig beruhen Fehler auf systematischen Regeln oder Strategien, die in sich konsistent und nachvollziehbar sind, aber der Situation oder Aufgabenstellung nicht angemessen sind (Radatz, 1980). Die Regeln und Strategien haben oftmals individuellen Ursprung und sind für die jeweilige Person sinnerfüllend (Radatz, 1980). Sie sind also Schülervorstellungen über den inhaltlichen Gegenstand einer Aufgabe, die den Bezugsrahmen bestimmen, innerhalb dessen das Verständnis des Aufgabenkontextes stattfindet (vgl. S. 18). Stimmen Aufgabenkontext und Bezugsrahmen nicht überein, beziehen sie sich also auf unterschiedliche Normen (s.o.), stellt die Aufgabenlösung aus Sicht des Aufgabenkontextes einen Fehler dar. In einem anderen Kontext kann die gleiche Argumentation oder Aufgabenlösung dagegen adäquat sein.

Es sind in dieser Hinsicht also zwei Ebenen zu unterscheiden: Einerseits der eigentlicher Fehler, der an der Oberfläche einer Aufgabe, d.h. auf der Performanzebene sichtbar wird, und die zugrunde liegende Schülervorstellungen, die als logische Tiefenstrukturen den Fehler verursachen (Rollett, 1999). Damit ist eine grundlegende Unterscheidung zwischen Fehlern und Schülervorstellungen getroffen. Fehler sind Zeichen für die im Hintergrund befindlichen Schülervorstellungen, die das eigentliche Problem einer fehlerhaften Lösung darstellen. In diesem Sinne werden Fehler auch als „Fenster auf den Lernprozess“ bezeichnet (Nübel, 1998), die als Diagnosemittel für den aktuellen Stand des Lernprozesses genutzt werden

können. Sie sind Ausdruck eines Zwischenverständnisses und zeigen an, in welchen Aspekten der Lernprozess noch nicht vollständig vollzogen werden konnte (Radatz, 1980)¹⁷. Da der tatsächliche Fehler also nicht das Verständnisproblem, sondern lediglich dessen Folge darstellt, kann das unterrichtliche Ziel dementsprechend nicht die Korrektur von Fehlern sein. Stattdessen müssen der Aufbau und die Veränderung der Tiefenstrukturen, d.h. der Schülervorstellungen in den Blick genommen werden. Der Vorteil des Lernens aus Fehlern besteht darin, dass es die Möglichkeit bietet, exakt die Aspekte aufzugreifen, die einer weiteren (individuellen) Thematisierung bedürfen.

Das Lernpotenzial von Fehlern entsteht aus dem Kontrast zwischen der fehlerhaften und der fehlerfreien Logik, die z.B. durch den Kontrast zwischen fehlerhafter und fehlerfreier Aufgabenlösung deutlich wird. Dieser Zusammenhang wird im folgenden Kapitel bei der Vorstellung negativen Wissens genauer dargelegt.

2.2.2.3 Zentrale Aspekte der Theorie

Zentrales Element der Theorie ist die Unterscheidung von positivem und negativem Wissen, die sich wie zwei Seiten einer Medaille ergänzen (OserHascher & Sychinger, 1999). Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der Terminus negatives Wissen keine Wertung im Sinne von falschem Wissen bedeutet, sondern wie im Kontext der Photographie das komplementäre Gegenteil von positiv bezeichnet. In diesem Sinne umfasst positives Wissen das Wissen darüber, wie eine Sache ist oder gemacht wird, während negatives Wissen zutreffendes Wissen darüber verkörpert, wie diese Sache gerade nicht ist oder gerade nicht gemacht wird (OserHascher & Sychinger, 1999). Es handelt sich beim negativen Wissen also z.B. um zutreffendes Wissen darüber, welche Aspekte oder Vorgehensweisen vom positiven Wissen eines betrachteten Konzepts abzugrenzen sind und daher einen Fehler beim positiven Wissen darstellen würden.

Dies sei am Beispiel des Wissens über naturwissenschaftliche Experimente verdeutlicht. Hier beinhaltet positives Methodenwissen z.B. Wissen über die Durchführung und Notwendigkeit der Variablenkontrolle, so dass die Variablen eindeutig auf ihre Wirksamkeit hin untersucht werden können. Negatives Wissen zu diesem Aspekt bezieht sich dagegen z.B. auf das komplementäre Wissen darüber, dass eine gleichzeitige Variation von mehreren Testfaktoren in demselben Experimentalansatz nicht zu eindeutigen Ergebnissen über die Wirkung dieser Faktoren führt und daher für naturwissenschaftliche Experimente nicht geeignet ist.

¹⁷ Radatz (1980) unterscheidet in der Mathematik verschiedene Fehlertypen, die jeweils bestimmten Phasen des Lernprozesses zugeordnet und als Diagnosemittel für den Lernstand gebraucht werden können.

Es können zwei Funktionen des negativen Wissens unterschieden werden, die dessen besonderen Wert ausmachen, und zwar sein Nutzen als Abgrenzungswissen und Schutzwissen (OserHascher & Sychinger, 1999).

Als **Abgrenzungswissen** bezeichnet man negatives Wissen aufgrund des kontrastiven Charakters der Wissensbetrachtung: Durch die Gegenüberstellung der positiven und negativen Aspekte eines Konzepts werden die positiven Charakteristika gerade deutlich, d.h. wenn „gewusst wird, dass etwas falsch ist, so weiß man sicherer, was richtig ist, als wenn man das Falsche nicht kennen würde“ (OserHascher & Sychinger, 1999, S. 59). Das Wissen um die Grenzen eines betrachteten Konzepts führt zu einem besseren Verständnis über dessen Merkmale.

Darüber hinaus übt negatives Wissen auch die Funktion des **Schutzwissens** aus, die die adäquate Anwendung des positiven Wissens sichert (OserHascher & Sychinger, 1999). Das Wissen darüber, welche Aspekte nicht zu einem betrachteten Konzept gehören, schützt in Anwendungssituationen davor, solche Aspekte zu berücksichtigen. Solche inadäquaten Aspekte stellen dann keine Gefahr für den Denkprozess mehr dar. Metaphorisch gesprochen wirkt negatives Wissen als Schutzwissen wie ein Wegweiser, der das sichere Beschreiten eines Bergpfads dadurch sichert, dass er angrenzende Hänge und Abgründe deutlich markiert.

Während das zur Lösung einer Aufgabe notwendige positive Wissens im kognitiven Vordergrund bewältigt wird, hindert das negative Wissen als Schutzwissen im kognitiven Hintergrund den Lernenden daran, Fehler zu machen (OserHascher & Sychinger, 1999). Seine Aktivierung in neuen Anwendungssituationen gelingt in ca. einer Zehntelsekunde – schneller als es das Bewusstsein wahrnehmen kann (Wills et al., 2007).

Abhängig von der Art der betrachteten Wissensaspekte wird negatives Wissen in verschiedene Wissenskategorien eingeteilt (OserHascher & Sychinger, 1999):

- *negativ deklarativ* ist Wissen darüber, wie eine Sache nicht ist
- *negativ prozedural* ist Wissen darüber, wie eine Sache nicht gemacht wird
- *negativ strategisch* ist Wissen darüber, welche Strategien nicht zur Lösung komplizierter Probleme führen
- *negativ Schema-orientiert* ist Wissen darüber, warum bestimmte Zusammenhänge nicht stimmen.

2.2.2.4 Erwerb von negativem Wissen

Damit Lernende negatives Wissen erwerben können, müssen sie die Gelegenheit erhalten, kontrastive Aspekte eines Konzeptes oder einer Methode kennen zu lernen. Hierfür bieten sich verschiedene Lernwege an:

Lernen aus Fehlern

Die Lernwirksamkeit von Fehlern wird auf die Ausbildung von negativem Wissen zurückgeführt (OserHascher & Sychinger, 1999). Fehlersituationen bieten Lernenden die Möglichkeit, sich das Spannungsfeld zwischen positivem und negativem Wissen für den eigenen Lernprozess nutzbar zu machen (OserHascher & Sychinger, 1999). Bedingung dafür ist, dass sie die bedeutungsvollen Unterschiede zwischen der fehlerhaften und einer adäquaten Wissensanwendung verstehen. Dazu ist es notwendig, dass die Lernenden die fehlerhafte Situation zunächst als solche erkennen. Durch einen reflexiven Umgang mit den von ihnen begangenen Fehlern können sie dann in einem weiteren Schritt die Logik des Fehlers nachvollziehen und der fehlerfreien Logik gegenüberstellen (OserHascher & Sychinger, 1999). Ziel ist es zu verstehen, welche Gedankengänge zu der fehlerhaften Lösung geführt haben und warum diese für das vorliegende Problem ungeeignet sind. Aus der Einsicht in die Unterschiede zwischen den beiden Logiken kann negatives Wissen über die fehlerhaft angewendeten Wissensinhalte und positives Wissen über die adäquaterweise anzuwendenden Wissensinhalte erworben werden (OserHascher & Sychinger, 1999). Die persönliche Erfahrung der Grenzen des positiven Wissens, die im Falle der fehlerhaften Wissensanwendung überschritten werden, zieht dabei einen besonders wirkungsvollen Aufbau von negativem Wissen und ein nachhaltiges Verständnis des betrachteten Konzeptes nach sich. Für einen erfolgreichen Lernprozess und den Aufbau eines komplexen Verständnisses stellen Fehler daher einen wichtigen Beitrag dar, denn „nur das kann wirklich gelingen, was auch scheitern darf“ (Kahl, 1992a), sofern das Scheitern als Anlass für das Lernen aus Fehlern genutzt wird. Sie stellen damit Durchgangsstadien in Lernprozessen oder Zwischenverständnisse in einem Lernprozess dar (Kahl, 1992a).

Für ein erfolgreiches Lernen aus Fehlern müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein, die die Art des begangenen Fehlers, das Lernklima in der Fehlersituation und die Metakognition über den Fehler betreffen:

Einerseits muss es sich um logische und produktive Fehler handeln, deren Merkmale bereits beschrieben wurden (s.o.), da nur diese das Lernpotenzial aufweisen (OserHascher & Sychinger, 1999).

Die zweite Voraussetzung für erfolgreiches Lernen aus Fehlern ist ein positives Lernklima, in dem die Lernenden sich angstfrei mit ihren Fehlern auseinandersetzen können (OserHascher & Sychinger, 1999). Das Problem des ungehemmten Umgangs mit Fehlern in der Leistungssituation Schule wurde bereits dargelegt. Der dortige Leistungsdruck führt zu einer starken Vermeidungshaltung der Lernenden gegenüber Fehlern, die durch das Auftreten der Lehrperson und die Beobachtungssituation durch die Mitschüler weiter verstärkt wird (Spychiger et al., 1999). Vor allem introvertierte Schüler können hier starke Verunsicherungen spüren, so dass sie keine Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit ihren Fehlern aufbringen können. Darüber hinaus ist aus lernpsychologischen Untersuchungen bekannt, dass negative Emotionen kognitive Prozesse beeinträchtigen und Lernerfolg

verhindern (Prenzel, 2001). Nichtsdestotrotz ist eine gewisse negative Spannung gegenüber dem Fehler für ein erfolgreiches Lernen notwendig, d.h. es muss z.B. einen gewissen Ärger über den begangenen Fehler geben, weil dieser den Motor für den Lernprozess darstellt. Wichtig ist dabei jedoch, dass die Emotionen aus dem Betroffenen heraus entstehen, und nicht von außen z.B. durch Beschämung verursacht werden (OserHascher & Sychinger, 1999). Ziel einer positiven Fehlerkultur muss es daher sein, ein angst- und hemmungsfreies Lernklima zu schaffen, in dem eine Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit Fehlern bestehen kann. Hierfür ist z.B. eine strikte Unterscheidung von Lern- und Leistungsphasen notwendig (Chott, 1999; OserHascher & Sychinger, 1999; Rollett, 1999; Spychiger et al., 1999):

Lernphasen zeichnen sich durch die Suche nach neuem Wissen und den Umgang mit eventuell noch nicht ganz Verstandenem aus. Die Lernsituation sollte eine gewisse Offenheit beinhalten, die es den Schülern erlaubt, das neue Wissen in verschiedenen Kontexten und Aufgabensituationen auszuprobieren (OserHascher & Sychinger, 1999; Rollett, 1999; Spychiger et al., 1999). Fehler sollten zu diesem Zeitpunkt ausdrücklich erlaubt sein, da die Schüler dadurch erkennen können, welche Aspekte des neuen Wissens sie noch nicht vollständig verstanden haben (OserHascher & Sychinger, 1999; Rollett, 1999; Spychiger et al., 1999). An der entsprechenden Stelle kann der Lernprozess dann gezielt fortgesetzt werden. Fehler in dieser Phase zu verbieten und den Lernprozess von Beginn an auf eine Fehlervermeidung auszurichten, wäre kontraproduktiv. Die deutsche Schule verkörpert in diesem Sinne eine „Denkweise, die kleine Fehler verbietet und zu großen Fehlern führt“ (Kahl, 1992a), weil sie Lernchancen von produktiven Fehlern unterbindet.

Leistungsphasen, die erst nach vorläufigem Abschluss des Lernprozesses stattfinden, sind dagegen durch verbindliche Anforderungen und Bewertungsmaßstäbe gekennzeichnet. Erst zum Zeitpunkt der Leistungsprüfung sollte von den Lernenden die Beherrschung der vermittelten Wissensinhalte gefordert werden.

Der Schlüssel zu einer positiven Fehlerkultur ist vor allem im Umgang der Lehrperson mit Fehlern in den Übungsphasen und in der offengelegten Wertschätzung der Fehlersituationen zu suchen (OserHascher & Sychinger, 1999). Wenn es gelingt, den Lernenden eine positive Einstellung zum Fehlermachen zu vermitteln, kann es ihnen möglich werden, Fehlersituationen als Lernanlässe zu nutzen.

Als dritte Voraussetzung für Lernen aus Fehlern ist es notwendig, dass Lernende bei ihrer Beschäftigung mit dem begangenen Fehler tatsächlich ein Verständnis von der fehlerhaften und der adäquaten Logik entwickeln, d.h. sie müssen Fehler nicht nur berichtigen, sondern auch einsehen. Lernwirksam ist nicht das Begehen eines Fehlers, sondern die Einsicht in den Fehler (OserHascher & Sychinger, 1999).

Bei Erfüllung dieser Voraussetzungen kann Lernen aus Fehlern erfolgreich stattfinden. Für den Lernprozess hat sich eine strukturierte Fehleranalyse als effizient erwiesen (OserHascher & Sychinger, 1999). Dabei wird ein Fehler zunächst identifiziert und einschließlich seiner Ursachen und Entstehung beschrieben. Wichtig ist, dass die Schüler erkennen, dass die

Ursachen in ihren eigenen Denkstrukturen zu suchen sind¹⁸. In einem weiteren Schritt können die fehlerhaften Denkweisen umstrukturiert und durch adäquate Denkweisen ersetzt werden. Dabei sollten den Lernenden die signifikanten Unterschiede zwischen beiden Denkweisen deutlich werden. Zur Beendigung des Lernprozesses ist es wichtig, dass die Fehlerbetrachtung mit der Durchführung des fehlerfreien Lösungswegs beendet wird und die Lernenden die adäquate Logik in der ursprünglich fehlerhaften Anwendungssituation einsetzen. Eine nochmalige Begründung des neuen Konzeptes dient der zusätzlichen Sicherung des Gelernten.

Advokatorisches Fehlerlernen und kontrastierende fehlerfreie Kontexte

Vom klassischen Lernen aus Fehlern kann das advokatorische Fehlerlernen unterschieden werden, bei dem man nicht aus eigenen Fehlern, die im Lernprozess auftreten, sondern aus den Fehlern anderer bzw. konstruierten Fehlern lernt. Aufgrund von charakteristischen Unterschieden beider Methoden des Fehlerlernens sind sie jeweils für unterschiedliche Lernsituationen geeignet: Während Lernen aus eigenen Fehlern wie beschrieben besonders in Situationen lernwirksam ist, in denen eine emotionale Beteiligung des Lernenden stattfindet, empfiehlt sich das advokatorische Fehlerlernen für Lernsituationen, die den Lerner nicht direkt als Person berühren, sondern eine stärker kognitiv ausgerichtete Auseinandersetzung mit einem Problem betreffen. Dies ist vor allem in der Schule regelmäßig der Fall, wenn Wissen über bestimmte Aspekte gezielt vermittelt und damit erlernt werden soll.

Das Lernen aus eigenen Fehlern ist aufgrund von zwei Merkmalen zwar als sinnvolle Bereicherung des Lernprozesses in der Schule anzusehen, kann jedoch nicht die hauptsächliche Methode der Wissensvermittlung darstellen:

Erstens ist der Lernprozess beim Lernen aus Fehlern vom zufälligen Auftreten eines Fehlers in einer Anwendungssituation eines betrachteten Konzeptes abhängig. Er betrifft nur den jeweiligen fehlerhaften Aspekt eines Konzeptes und ist dementsprechend nicht planbar. Zweitens betrifft die jeweilige Lerngelegenheit zunächst ausschließlich denjenigen Lerner, bei dem der Fehler auftritt, und kann nur begrenzt für die Mitschüler nutzbar gemacht werden (OserHascher & Sychinger, 1999). Für die generelle Wissensvermittlung in der Schule, die von der Lehrperson im Voraus für die gesamte Lerngruppe gezielt geplant werden muss, ist Lernen aus eigenen Fehlern daher nicht geeignet.

Für die Vermittlung bestimmter Aspekte negativen Wissens ist stattdessen eine gezielte Betrachtung von Fehlern und Inhalten notwendig. Hierfür eignet sich das advokatorische Fehlerlernen (OserHascher & Sychinger, 1999), bei dem nicht aus eigenen Fehlern bei deren Auftreten gelernt wird, sondern stellvertretend aus Fehlern anderer. Insbesondere zählt dazu die Betrachtung vorgegebener Fehler, die von der Lehrkraft nach Analyse des

¹⁸Unterrichtsmethode, Instruktionsqualität und Lerngegenstand können zusätzlich Anteil an der Fehlerentstehung haben (OserHascher & Sychinger, 1999).

Lerngegenstands als wesentlich betrachtet wurden (OserHascher & Sychinger, 1999). Durch die konstruierten Lernsituationen werden die Schüler wie beim Lernen aus eigenen Fehlern in das Spannungsfeld zwischen positivem und negativem Wissen versetzt, das sie unter den gleichen Voraussetzungen für ihren Lernprozess nutzen können. Neben der gezielten Ausrichtung auf bestimmte Wissensinhalte bietet diese Vorgehensweise den Vorteil, dass die Lernenden sich in einer als angstfrei empfundenen Lernsituation mit Fehlern auseinandersetzen können, da sie die Fehler nicht mit ihrem eigenen vermeintlichen Versagen in Zusammenhang bringen (OserHascher & Sychinger, 1999; Spychiger et al., 1999). Durch die Auseinandersetzung mit der fehlerhaften und der adäquaten Vorgehensweise und Logik können die Schüler auch hier negatives Wissen aufbauen, das der Anwendung ihres positiven Wissens Sicherheit verleihen kann, da die Lernenden ein Bewusstsein für mögliche Fehlersituationen entwickeln können (OserHascher & Sychinger, 1999). Entscheidend ist, dass die Lernenden kontrastierend mit dem Richtigen, d.h. dem zu erlernenden positiven Wissen konfrontiert werden (OserHascher & Sychinger, 1999). Das Kompetenzerleben in den korrigierten Fehlersituationen kann dabei zu einer positiven Einstellung gegenüber dem Lerninhalt und Spaß an der Produktion des Richtigen führen (OserHascher & Sychinger, 1999). Außerdem steht die Auseinandersetzung mit Fehlern in direktem Zusammenhang mit einer kritischen Haltung gegenüber dem Lerninhalt, die wiederum zu einem komplexeren Verständnis der Inhalte notwendig ist (OserHascher & Sychinger, 1999). Ziel des advokatorischen Fehlerlernens ist es daher nicht, Schülern die Auseinandersetzung mit den eigenen Fehlern zu ersparen. Sogenannte Fehlervermeidungsdidaktiken führen zu einer negativen Einstellung gegenüber Fehlern und zu einer negativen Fehlerkultur, die dem Lernen aus Fehlern auch in seiner advokatorischen Form entgegenwirkt (OserHascher & Sychinger, 1999). Das Ziel sollte es stattdessen sein, eine Lernkultur zu entwickeln, in der die Schüler aus eigenen Fehlern lernen können, wenn diese im Lernprozess auftreten, und advokatorische Fehler wie eigene Fehler durchdenken, selbst erfahren und selbst korrigieren können.

Darüber hinaus können auch fehlerfreie Kontexte zum Aufbau negativen Wissens genutzt werden, wenn diese kontrastiven Charakter besitzen. Insbesondere Kontrastierungen, Abgrenzungen und vorwegnehmende Darstellungen von alternativen Wissensaspekten (OserHascher & Sychinger, 1999), aber auch Transfer von positivem Wissen und Gedankenexperimente (Rollett, 1999) eignen sich, um positives und negatives Wissen eines Lerngegenstands voneinander abzugrenzen, auch wenn diesen Wissensaspekten keine fehlerhafte Logik zugrunde liegt. Das gilt z.B., wenn man zur Vermittlung der Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens das experimentelle Vorgehen von Ingenieuren (s. S. 19 Ingenieursmodus des Experimentierens) und Naturwissenschaftlern vergleicht. Beide Vorgehensweisen haben ihre Berechtigung in den spezifischen Berufsfeldern, sind jedoch klar von einander abzugrenzen. Schüler, die negatives Wissen über die Verschiedenheit der beiden experimentellen Methoden erworben haben, sollten eher fähig sein, in einem

naturwissenschaftlichen Kontext eindeutige Untersuchungen über die Wirkung einzelner Testfaktoren vorzunehmen, statt z.B. die Wirkung mehrerer Faktoren unter Ausrichtung auf den gewünschten Effekt nur auszuprobieren.

Zum Abschluss sei darauf hingewiesen, dass mit der zusätzlichen Vermittlung von negativem Wissen keine wesentlich größere Informationsspeicherung von den Lernenden zu leisten ist, d.h. die kognitive Belastung nicht wesentlich erhöht wird. Der Wert des Wissenserwerbs liegt nämlich nicht im Umfang, sondern in einer größeren Sicherheit im Umgang mit dem Wissen, insbesondere der Fähigkeit, Wissen in neuen Anforderungen erfolgreich anwenden zu können (OserHascher & Sychinger, 1999).

Bislang wurde der Nutzen des negativen Wissens vor allem für Handlungssituationen gesehen, in denen Fehler zu katastrophalen Folgen führen würden, z.B. bei der Arbeit von Piloten oder Chirurgen, die in Simulationen durch advokatorisches Fehlerlernen Sicherheit bei der Ausübung ihrer Berufe erlangen können (OserHascher & Sychinger, 1999). In schulischen Belangen standen bisher vor allem die Entwicklung einer positiven Fehlerkultur und deren Bedingungsfaktoren im Mittelpunkt des Interesses, die die produktive Nutzung von Fehlern in schulischen Kontexten ermöglichen sollen (OserHascher & Sychinger, 1999).

Im Folgenden Abschnitt wird dargestellt, in welchen Bereichen der Biologiedidaktik die Theorie des negativen Wissens und das Lernen aus Fehlern Anwendung gefunden haben.

2.2.3 Anwendungen in der Biologiedidaktik

Die Methode des Lernens aus Fehlern und die Vermittlung negativen Wissens wurden bislang in der Biologiedidaktik nur vereinzelt berücksichtigt. Hierbei stand bislang die Beschreibung von Unterrichtsmethoden und –materialien, in denen Fehler in Übungs- und Vermittlungssituationen eingesetzt werden, im Vordergrund. Drei Beispiele sollen kurz skizziert werden, in denen Fehler explizit thematisiert werden:

In dem BLK-Programm „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichtes“, das eine Reaktion auf das schlechte Abschneiden deutscher Schüler in der TIMS-Studie darstellte, wurde eins von zehn Modulen dem Lernen aus Fehlern gewidmet (Müller & Nieswandt, 1998). Ziel war es, eine Kultur des Fehlerlernens als Teil der Qualitätssicherung und Optimierung von Lehren und Lernen in die Schule zu bringen. Dazu gehörten z.B. Maßnahmen wie die Prämierung besonders lerntüchtiger Fehler oder die Erstellung von Unterrichtsmaterialien zum Suchen von Fehlern.

Gropengießer (2004) beschreibt im Bereich des Lernens von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen ebenfalls einen Ansatz zum Suchen von Fehlern. Dabei handelt es sich um Lernen an Stationen, bei dem die einzelnen Lernstationen aus fehlerhaft eingestellten Mikroskopen bestehen, deren Fehler Schüler entdecken und beheben sollen. Der selbstständigen und eigenverantwortlichen Auseinandersetzung mit Fehlern wird hier eine Wissenssteigerung hinsichtlich des adäquaten Umgangs mit Mikroskopen zugeschrieben.

Im Bereich des Lernens von biologischen Konzepten hat Hammann (2003) Unterrichtsmaterialien entwickelt, in denen negatives und positives Wissen zum menschlichen Blutkreislauf gegenübergestellt wird. Die Schüler entwickeln dabei eigene Lösungen, indem sie den menschlichen Blutkreislauf nach ihren Vorstellungen in einen gegebenen Körperumriss einzeichnen. Diese Aufgabenstellung bietet in der nachfolgenden Diskussion – in Kleingruppen oder dem Plenum – die Möglichkeit zum Lernen aus eigenen Fehlern. Darüber hinaus bieten die Materialien die Möglichkeit, Fehler in gegebenen Kreislaufzeichnungen zu suchen, die bekannte Schülervorstellungen darstellen. Hierbei ist advokatorisches Fehlerlernen möglich. Aus der Kontrastierung richtiger und falscher Aspekte des Blutkreislaufs soll Abgrenzungswissen über die zentralen Aspekte des menschlichen Blutkreislaufs erworben werden.

Was bislang in der Biologiedidaktik noch fehlt, ist eine systematische empirische Untersuchung der Effektivität negativen Wissens für die Vermittlung komplexer Wissensinhalte und für die Förderung des Verständnisses der Lernenden.

Erste Hinweise dazu finden sich in einer Interventionsstudie, die an den Ansatz von Hammann (2003) anknüpft. In der Studie wurde untersucht, welchen Effekt die gezielte Vermittlung negativen Wissens zum menschlichen Blutkreislauf auf den Wissenserwerb und das Verständnis von Schülern der 6. Klassenstufe bewirkt (Ehmer, 2004). Der menschliche Blutkreislauf stellt einen komplexen Zusammenhang biologischer Prozesse dar und ist häufig mit ausgeprägten Schülervorstellungen und Verständnisproblemen der Lernenden verbunden (Hammann, 2003). Ziel der Studie war es zu untersuchen, ob das Verständnis der Schüler durch advokatorisches Fehlerlernen und Vermittlung von Abgrenzungswissen – zusätzlich zu positivem Wissen – besser gefördert werden kann als durch die alleinige Vermittlung positiven Wissens. In der Studie wurde eine Experimentalgruppe, der sowohl negatives als auch positives Wissen zum menschlichen Blutkreislauf vermittelt wurde, mit einer Kontrollgruppe verglichen, die ausschließlich positives Wissen in diesem Bereich kennenlernte. Durch den Einsatz der Unterrichtsmaterialien von Hammann (2003) wurde den Schülern in der Kontrollgruppe darüber hinaus Gelegenheit und Anreiz zum Lernen aus Fehlern gegeben. In der Kontrollgruppe wurde dagegen traditioneller fragend-entwickelnder Unterricht durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Schüler der Experimentalgruppe den Schülern der Kontrollgruppe im Verständnis in zwei zentralen und komplexen Aspekten des menschlichen Blutkreislaufs signifikant überlegen waren, nämlich hinsichtlich der funktionalen Unterscheidung des Lungen- und Körperkreislaufs¹⁹ und der Notwendigkeit des erneuten Druckaufbaus nach der Lungenpassage. Diese Überlegenheit konnte auf den Erwerb negativen Wissens zurückgeführt werden (Ehmer, 2004).

¹⁹ Der Einfachheit halber wird hier von zwei Kreisläufen gesprochen, obwohl es sich bei Lungen- und Körperkreislauf um zwei aufeinander folgende Abschnitte desselben Blutkreislaufs handelt.

Hinsichtlich des reinen Faktenwissens zum Blutkreislauf unterschieden sich die Schüler beider Gruppen dagegen nicht. Das bedeutet, dass die Überlegenheit der Experimentalgruppe nicht auf einen größeren Wissensumfang zurückzuführen ist, sondern auf ein tieferes und komplexeres Verständnis der Wissensaspekte (Ehmer, 2004). Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass auch eine Berücksichtigung negativen Wissens, die einen gewissen, wenn auch geringen zusätzlichen Zeitaufwand erfordert, nicht mit einer Minderung des positiven Wissens einhergeht. D.h. die Schüler, denen sowohl positives als auch negatives Wissen vermittelt wurde, erwarben (positives) Faktenwissen im gleichen Umfang wie die Schüler, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde. Dies ist eine Grundvoraussetzung der regelmäßigen Berücksichtigung negativen Wissens im Unterricht.

Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs ($n = 44$) sind die Ergebnisse dieser Studie nur eingeschränkt generalisierbar. Sie zeigen dennoch das Potenzial der Vermittlung negativen Wissens deutlich auf und bieten einen wertvollen Ansatzpunkt für weitere Untersuchungen zur Wirksamkeit von negativem Wissen.

3 Empirischer Teil

3.1 Ziel der Studie

Die vorliegende Arbeit ist im Spannungsfeld der umfangreichen didaktischen Forschung zu Schülervorstellungen und Fehlern beim naturwissenschaftlichen Experimentieren (s. Kapitel 2.1.7) und den Anforderungen der Bildungsstandards angesiedelt, die eine Reaktion des schlechten Abschneidens deutscher Schüler im naturwissenschaftlichen Bereich in der ersten PISA Studie im Jahr 2000 darstellen.

Durch die „Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss“ (2005) wurden verbindliche Anforderungen festgelegt, die Schüler bis zum Ende der 10. Klasse erfüllen sollen. Im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ist als Minimalziel z.B. die Verwendung der experimentellen Methode in biologischen Untersuchungen genannt. Im höchsten Anforderungsbereich soll das Wissen und Verständnis über das Experimentieren sogar „für eigene Erklärungen, Untersuchungen, Modellbildungen oder Stellungnahmen“ bei der Erarbeitung und Reflexion unbekannter biologischer Probleme genutzt werden (KMK, 2005). Die bekannten Schwächen von Schülern im Bereich des naturwissenschaftlichen Experimentierens, z.B. die Planung von Experimenten ohne Kontrollansatz oder mit konfundierten Ansätzen (s. Kapitel 2.1.7.1 und 2.1.7.2), zeigen, wie ehrgeizig die in den Bildungsstandards formulierten Ziele beim Experimentieren sind, da die bekannten Fehler bereits die als Minimalanforderungen der Bildungsstandards genannten Aspekte des Experimentierens betreffen.

Für die Vermittlung eines fundierten Wissens und Verständnisses methodischer und epistemologischer Aspekte des Experimentierens ist aufgrund der Komplexität des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses eine wiederholte Thematisierung in verschiedenen Klassenstufen notwendig²⁰. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll, die Grundzüge der Methode und Epistemologie des Experimentierens bereits in der Unterstufe zu vermitteln und in einem spiraligen, d.h. kumulativen Lernprozess bis zum Ende der zehnten Klasse zu erweitern und zu vertiefen. Hierfür müsste der Biologieunterricht, der immer noch nicht ausreichend die Vermittlung von Wissen über Ziele und Vorgehensweisen beim naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn beinhaltet (Hammann & Prenzel, 2008), neu ausgerichtet werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu untersuchen, wie die kognitiven Fähigkeiten von Schülern im Bereich des naturwissenschaftlichen Experimentierens bereits in der Unterstufe effektiv gefördert werden können. Ausgehend von der umfangreichen Literatur zu methodischen Fehlern beim Experimentieren soll dabei einerseits untersucht werden, ob eine Vermittlung methodischen Wissens allein ausreicht, um die Anwendung des Wissens und das

²⁰ Schauble (1996) bezeichnet die Entwicklung experimenteller Strategien sogar als lebenslangen Lernprozess, der nur durch wiederholte Erfahrungs- und Übungsmöglichkeiten Erfolg haben kann.

Verständnis der Schüler zu fördern. Unter Bezug auf die Forschung zum NOS-Wissen von Schülern soll darüber hinaus ermittelt werden, ob eine zusätzliche Berücksichtigung epistemologischer Aspekte im Unterricht zu einer weiteren Verständnisförderung führt. Auf Grundlage der Theorie des negativen Wissens wird außerdem überprüft, ob kognitive Fähigkeiten durch die Vermittlung negativen Wissens gezielt gefördert werden können. Dazu soll der bisherige Anwendungsbereich vom Lernen in sozial-emotionalen Kontexten auf das schulische Lernen von kognitiven Aspekten ausgeweitet und auf das Lernen von methodischen und epistemologischen Aspekten übertragen werden.

Es sei erneut darauf hingewiesen, dass unter kognitiven Fähigkeiten in dieser Arbeit ausschließlich die kognitiven Anteile einer Kompetenz des Experimentierens verstanden werden (Prenzel et al., 2007). Im Gegensatz dazu sind in der Kompetenzdefinition nach (Weinert, 1999) z.B. auch affektive und motivationale Anteile einbezogen. Zur Vermeidung von Missverständnissen wird auf den Gebrauch des Begriffs „Kompetenz“ zugunsten des Begriffs „kognitive Fähigkeiten“ verzichtet.

Im folgenden Kapitel werden die Fragestellungen der vorliegenden Studie ausführlich aus der Theorie hergeleitet.

3.2 Forschungsfragen

Aus der umfangreichen Forschung zu Fähigkeiten von Schülern beim naturwissenschaftlichen Experimentieren sind typische Fehler von Schülern im Bereich der Methode des Experimentierens bekannt (vgl. Kapitel 2.1.7.2). Schüler tendieren z.B. dazu, Variablen in Experimenten nur unvollständig zu kontrollieren (z.B. Hammann et al., 2007; Schauble et al., 1991; Tschirgi, 1980) oder keinen Kontrollansatz in ihren Experimenten zu berücksichtigen (Carey et al., 1989). Diese Fehler werden häufig durch Schülervorstellungen wie den Ingenieursmodus (vgl. S. 19) verursacht, die ein adäquates Verständnis der Methode des naturwissenschaftlicher Experimentierens beeinträchtigen oder verhindern (Schauble et al., 1991).

Es konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden, dass bereits Schüler im Alter von ca. zwölf Jahren ein systematischeres Vorgehen beim Experimentieren im gewissen Maße erlernen können (z.B. Carey et al., 1989). Es wurde bislang jedoch noch nicht konsequent untersucht, ob die kognitiven Fähigkeiten von Schülern im Bereich des Experimentierens durch eine gezielte Vermittlung methodischen Wissens gefördert werden können. Um kumulatives Lernen experimenteller Inhalte über verschiedene Klassenstufen hinweg zu ermöglichen, ist insbesondere auch von Interesse, ob eine Vermittlung methodischen Wissens bereits in der Unterstufe effektiv möglich ist.

Fragestellung 1

- a) Welche Wirksamkeit besitzt die Vermittlung methodischen Wissens zum naturwissenschaftlichen Experimentieren für die Förderung kognitiver Fähigkeiten beim Experimentieren?
- b) Ist eine Vermittlung methodischen Wissens bereits in der 6. Klasse möglich?

Aus Studien zum NOS-Verständnis von Schülern ist darüber hinaus der Zusammenhang zwischen dem epistemologischen Wissen von Schülern und ihrer methodischen Vorgehensweise beim Experimentieren bekannt (vgl. Kapitel 2.1.7.3) (z.B. Carey et al., 1989; Kanari & Millar, 2004; z.B. Schwartz et al., 2004). Jedoch ist auch hier noch offen, inwieweit eine gezielte Vermittlung epistemologischen Wissens die kognitiven Fähigkeiten von Schülern im Bereich des Experimentierens fördern kann (Schwartz et al., 2004). Weiterhin ist es umstritten, ob Schüler im Alter von ca. 12 Jahren bereits die Fähigkeit zum abstrakten Denken aufweisen, die für eine Betrachtung epistemologischer Aspekte notwendig ist. Es gibt allerdings Hinweise darauf, dass bereits jüngere Kinder zu abstraktem Denken fähig sind, jedoch von ihrem geringen Wissen in einer bestimmten Domäne an erfolgreichen Problemlösungen gehindert werden (Metz, 1998). Die beobachteten Schwierigkeiten von Kindern bei abstrakten Aufgabenkontexten könnten also auf das fehlende Wissen und nicht mangelnde kognitive Fähigkeiten der Kinder zurückzuführen sein.

Fragestellung 2

- 2a) Welche Wirksamkeit besitzt die Vermittlung epistemologischen Wissens zum naturwissenschaftlichen Experimentieren für die Förderung kognitiver Fähigkeiten beim Experimentieren?
- 2b) Ist eine Vermittlung epistemologischen Wissens bereits in der 6. Klasse möglich?

Darüber hinaus stellt die Theorie des negativen Wissens durch die Methode des Lernen aus Fehlern ein Vermittlungskonzept bereit, das für die Förderung des Verständnisses von Schülern besonders geeignet sein soll (z.B. OserHascher & Sychinger, 1999). Bislang konnte eine Wirksamkeit des Lernens aus Fehlern und dem daraus resultierenden Erwerb negativen Wissens hauptsächlich für Lernen in sozial-emotionale Lernfeldern nachgewiesen werden (OserHascher & Sychinger, 1999). Es stellt sich die Frage, ob sich die Wirksamkeit des Erwerbs negativen Wissens auf das Lernen kognitiver Aspekte übertragen lässt. Erste Ergebnisse aus dem Bereich des Lernens von biologischen Konzepten geben Hinweise darauf, dass sich kognitive Aspekte wirkungsvoll durch die gezielte Betrachtung kontrastiver Aspekte vermitteln lassen (Ehmer, 2004). Es ist nun zu klären, ob die kognitiven Fähigkeiten von Schüler auch im Bereich des Experimentierens durch eine gezielte Vermittlung negativen Wissens effektiv gefördert werden können.

Fragestellung 3

Welche Wirksamkeit besitzt die Vermittlung negativen Wissens zum naturwissenschaftlichen Experimentieren für die Förderung kognitiver Fähigkeiten beim Experimentieren?

In dieser Arbeit wird die Wirksamkeit der Vermittlung von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren für die Förderung kognitiver Fähigkeiten untersucht. Die zugrunde gelegten Hypothesen werden im folgenden Kapitel dargestellt.

3.3 Hypothesen

Die Hypothesen dieser Arbeit lassen sich entsprechend der Forschungsfragen 1-3 in drei Gruppen unterteilen: Hypothesen zur Wirksamkeit der Vermittlung von methodischem Wissen (Hypothesenkomplex H1), Hypothesen zur Wirksamkeit der Vermittlung von epistemologischem Wissen (Hypothesenkomplex H2) und Hypothesen zur Wirksamkeit der Vermittlung von negativem Wissen (Hypothesenkomplex H3).

Innerhalb jedes Hypothesenkomplexes werden Hypothesen sowohl zur Entwicklung des Wissens als auch des Verständnisses formuliert. Bei den Hypothesen zur Wissensentwicklung wird dabei weiter zwischen Hypothesen zur Entwicklung des Methodenwissens und des Epistemologiewissens unterschieden. Für beide Wissensarten sind Testinstrumente vorhanden bzw. wurden konstruiert (s. Kapitel 3.4.4.1 und 3.4.4.2), die eine getrennte Erhebung beider Wissensarten ermöglichen. Bei den Hypothesen zum Verständnis werden dagegen keine weiteren Differenzierungen vorgenommen, d.h. es wird nicht zwischen einem methodischen und epistemologischen Verständnis unterschieden. Der Anspruch der Differenzierung des Verständnisses in methodische und epistemologische Anteile kann in der vorliegenden Arbeit nicht erfüllt werden, insbesondere weil es bislang weder ein entsprechendes Modell noch geeignete Testinstrumente für eine differenzierte Betrachtung des Verständnisses des Experimentierens gibt. Im Rahmen dieser Arbeit kann eine solche Leistung nicht erbracht werden. Daher wird das Verständnis hier als einheitliches Konstrukt behandelt.

Weiterhin werden Hypothesen formuliert, die die Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten im Ganzen betreffen. Diese setzen sich zu gleichen Teilen aus dem methodischen Wissen, dem epistemologischen Wissen und dem Verständnis zusammen. Bei der Überprüfung der Hypothesen werden dazu Ergebnisse aus drei Tests gleichgewichtet zusammengefasst, und zwar aus einem Methodenwissenstest, einem Epistemologiewissenstest und einem Verständnistest. Durch die gleichgewichtete Betrachtung können sich die Ergebnisse verschiedener Tests ausgleichen, so dass die Einzelaspekte der kognitiven Fähigkeiten vergleichbare Bedeutungen erhalten.

Bevor die Hypothesen dargestellt werden, soll zum besseren Verständnis eine Definition und Abgrenzung von Wissen bzw. Verständnis des Experimentierens im Kontext der vorliegenden Arbeit vorgenommen werden.

Der Begriff „Wissen“ bezeichnet grundsätzlich Kenntnisse über bestimmte Aspekte eines betrachteten Wissensgebiets (White, 1988). Ein „Verständnis“ dieser Aspekte schließt dagegen das Verstehen der Bedeutung der Aspekte mit ein, geht also über das reine Wissen hinaus (White, 1988). Dabei setzt es die Verknüpfung verschiedener Wissensaspekte zu einem gemeinsamen und komplexeren Konstrukt voraus. Im Gegensatz zum Wissen, das direkt abgefragt werden kann, wird Verständnis nur indirekt in Situationen deutlich, die die

Anwendung des Wissens erfordern (White, 1988). Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie über reine Reproduktionsleistung hinausgehen und eine gewisse Modifikation der Wissensaspekte erfordern: Das Wissen muss auf die Anwendungssituation übertragen werden, wozu eine Interpretation der Wissensaspekte im Sinne der Merkmale der Anwendungssituation notwendig ist (White, 1988).

Auf die vorliegende Studie übertragen, bedeutet das folgendes:

Das methodische Wissen des naturwissenschaftlichen Experimentierens beinhaltet Kenntnisse über Begriffe, Regeln und Vorgehensweisen beim Experimentieren (vgl. Kapitel 2.1.4). Im Kontext dieser Studie gehören dazu insbesondere Kenntnisse über die Regeln der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes.

Epistemologisches Wissen bezieht sich auf Kenntnisse z.B. über Merkmale und Entstehung naturwissenschaftlichen Wissens, die die logischen Begründungszusammenhänge der methodischen Regeln darstellen (vgl. Kapitel 2.1.3). In dieser Studie gehören dazu z.B. Kenntnisse über die Ziele naturwissenschaftlicher Experimente und die potenzielle Unsicherheit naturwissenschaftlicher Erkenntnis (vgl. Kapitel 3.4.3.1), die die Berücksichtigung der Variablenkontrolle und eines Kontrollansatzes beim Experimentieren erfordern.

Das Verständnis des naturwissenschaftlichen Experimentierens geht über eine reine Kenntnis der methodischen und epistemologischen Aspekte hinaus, indem es das Verstehen der Bedeutung des methodischen und epistemologischen Wissens beinhaltet. In dieser Arbeit wird das Verständnis des Experimentierens z.B. dadurch geprüft, dass eine Experimentplanung für drei Testfaktoren aufgestellt werden soll, während im Unterricht Wissen über die Regel der Variablenkontrolle lediglich für zwei Testfaktoren vermittelt wurde. In diesem Kontext kann das Wissen über die Variablenkontrolle von zwei Testfaktoren also nicht direkt angewendet werden, sondern muss auf die komplexere Kontrolle von drei Testfaktoren übertragen werden. Bei einem Verständnis der methodischen Regeln sollte diese Übertragung problemlos möglich sein, während das reine Wissen über die Vorgehensweise bei zwei Testfaktoren hier eventuell nicht ausreichen könnte.

Hypothesen zu Forschungsfrage 1

Die Hypothesen zu Forschungsfrage 1 betreffen die Wirksamkeit der Vermittlung von methodischem Wissen zum Experimentieren. Sie beziehen sich auf die in Kapitel 2.1 skizzierten Aspekte des Experimentierens.

Da methodische und epistemologische Aspekte des Experimentierens im naturwissenschaftlichen Unterricht eine sehr geringe Rolle spielen (Eschenhagen et al., 2006), kann erwartet werden, dass Schüler der Unterstufe geringes adäquates methodisches Wissen über das Experimentieren aufweisen. Es ist davon auszugehen, dass bereits eine gezielte Vermittlung grundlegender methodischer Wissensaspekte, wie die Prinzipien der

Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes, zu einer deutlichen Steigerung des Methodenwissens führen (**H1.1**)²¹. Dieses Wissen ist z.B. notwendig, um Hypothesen in gegebenen Experimenten zu identifizieren oder Experimentplanungen einer gegebenen Hypothese zuzuordnen. In einem multiple choice-Test wird das methodische Wissen daher durch Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen und Planen von Experimenten erhoben (vgl. Kapitel 3.4.4.1)²².

Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass ohne eine gezielte Vermittlung methodischen Wissens, kein Methodenwissen erworben werden kann (**H1.2**). Diese Hypothese dient auch der Untersuchung möglicher Testeffekte, d.h. es wird analysiert, ob bereits die Beschäftigung mit den Testaufgaben einen Lerneffekt bewirkt. Sollte dennoch auch in diesem Fall eine Wissenszunahme zu verzeichnen sein, wäre sie auf Testeffekte zurückzuführen, d.h. bereits die Beschäftigung mit den Testaufgaben hätte einen Lerneffekt bewirkt. Durch die mehrmalige Bearbeitung von Testaufgaben kann eine Testsensibilisierung stattfinden, die zu einem anderen, und zwar einem kompetenteren Umgang mit den Testaufgaben führt (Sarris, 1992). Da Testeffekte jedoch zunächst nicht erwartet werden, ist von einer Überlegenheit durch den Erwerb methodischen Wissens auszugehen (**H1.3**).

H1.1: Durch eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen sind Schüler der 6. Klasse in der Lage, Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren zu entwickeln, und zwar hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen und
- b) Planens von Experimenten.

H1.2: Ohne eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen können Schüler kein Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erwerben, und zwar weder hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen, noch hinsichtlich des
- b) Planens von Experimenten.

H1.3: Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen erfahren haben, sind Schülern, die eine solche Vermittlung nicht erfahren haben, in ihrem Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren überlegen, und zwar hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen und
- b) Planens von Experimenten.

²¹ Die Hypothese dient außerdem der Überprüfung der Intervention, indem die intendierte Wissensentwicklung in den Blick genommen wird.

²² Diese Art der Operationalisierung methodischen Wissens gilt auch für die Hypothesenkomplexe 3 und 4.

Empirische Studien haben Hinweise darauf geliefert, dass epistemologisches Wissen nur in einer expliziten Vermittlungssituation erworben werden kann. Ein implizites Erlernen epistemologischer Aspekte hat sich auch dann als nicht möglich erwiesen, wenn im Unterricht Experimente berücksichtigt werden, deren naturwissenschaftliche Methode epistemologische Grundsätze verkörpert (Bell et al., 2003; Schwartz et al., 2004) (**H1.4**). Es ist zu erwarten, dass ohne eine Intervention zum Experimentieren ebenfalls kein epistemologisches Wissen erworben werden kann. (**H1.5**). Aus diesem Grund ist kein Unterschied im epistemologischen Wissen zu erwarten, wenn keine unterrichtliche Intervention oder nur eine Vermittlung von methodischem Wissen durchgeführt werden (**H1.6**).

Das Epistemologiewissen wird mit einem complex multiple choice-Test erhoben, in dem Wissen über epistemologische Grundsätze des Experimentierens ermittelt wird (vgl. Kapitel 3.4.4.2). Die Hypothesen H1.4 und H1.5 dienen auch der Untersuchung möglicher Testeffekte des Testinstruments zum Epistemologiewissen.

H1.4: Durch die gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erwerben Schüler kein epistemologisches Wissen, weil dieses nicht implizit durch Beschäftigung mit Experimenten mitgelernt werden kann.

H1.5: Schüler, die keine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, erwerben kein epistemologisches Wissen, da hierfür eine gezielte Vermittlung notwendig ist.

H1.6: Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, und Schüler, die eine solche Vermittlung nicht erfahren haben, unterscheiden sich nicht hinsichtlich ihres epistemologischen Wissens.

Methodenwissen ist für das Verständnis des naturwissenschaftlichen Experimentierens von zentraler Bedeutung (Eschenhagen et al., 2006). Die gezielte Vermittlung methodischen Wissens bzw. der Erwerb solchen Wissens lässt daher eine Steigerung des Verständnisses erwarten (**H1.7**), die ohne eine solche Vermittlung nicht möglich sein sollte (**H1.8**). Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass der Erwerb methodischen Wissens zu einem Verständnis komplexerer Aspekte des naturwissenschaftlichen Experimentierens führt, das ohne eine solche Vermittlung nicht erreicht werden kann (**H1.9**). Das Verständnis der Schüler wird mithilfe von offenen Aufgaben erhoben, in denen die Schüler ihr Wissen über das Experimentieren anwenden sollen (vgl. Kapitel 3.4.4.3). Hypothese H1.8 eignet sich wiederum für die Analyse von Testeffekten.

H1.7: Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, steigern sich im Verständnis des Experimentierens, und zwar hinsichtlich des selbstständigen Planens von Experimenten.

H1.8: Schüler, die keine unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, steigern sich nicht im Verständnis des Experimentierens hinsichtlich des selbstständigen Planens von Experimenten.

H1.9: Schüler, die eine gezielte Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, die eine solche Vermittlung nicht erfahren haben, bezüglich des Verständnisses beim Experimentieren überlegen, und zwar hinsichtlich

- a) des selbstständigen Planens von Experimenten,
- b) des Umgangs mit experimentellen Daten und
- c) des Erkennens von Konfundierungen.

Es ist davon auszugehen, dass der Erwerb methodischen Grundwissens über das naturwissenschaftliche Experimentieren auch bei gleicher Gewichtung der Unterkomponenten (methodisches Wissen, epistemologisches Wissen und Verständnis) zu einer Steigerung der kognitiven Fähigkeiten führt (**H1.10**), die ohne eine unterrichtliche Vermittlung ausbleibt (**H1.11**). Daher wird eine Überlegenheit in den gesamten kognitiven Fähigkeiten durch die Vermittlung methodischen Wissens erwartet (**H1.12**). Die drei folgenden Hypothesen beziehen sich also auf die Testergebnisse, die gewonnen werden können, wenn man die drei Testteile – Methodenwissenstest, Epistemologiewissenstest und Verständnistest – zu einem gleichgewichteten Summenscore zusammenfasst.

H1.10: Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, steigern sich insgesamt hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren.

H1.11: Schüler, die keine gezielte Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, steigern sich insgesamt nicht hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren.

H1.12: Schüler, die eine gezielte Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, die eine solche Vermittlung nicht erfahren haben, insgesamt hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren überlegen.

Hypothesen zu Forschungsfrage 2

In diesem Abschnitt werden Hypothesen über die Wirksamkeit der Vermittlung von epistemologischem Wissen vorgestellt. Die Hypothesen beziehen sich auf die Frage, ob der Wissenserwerb und das Verständnis der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren davon profitieren, wenn neben methodischem Wissen zusätzlich epistemologisches Wissen vermittelt wird.

Es muss zunächst geklärt werden, ob Schüler der Unterstufe bereits die kognitiven Voraussetzungen aufweisen, um epistemologisches Wissen zu erwerben. Nach dem von Piaget aufgestellten Modell der kognitiven Entwicklung – dessen streng hierarchische Struktur heute umstritten ist – wird abstraktes Denken, zu dem auch eine epistemologische Perspektive auf das Experimentieren gezählt werden muss – erst zwischen dem 12. und 16. Lebensjahr entwickelt (Häußler et al., 1998). Dem stehen Studien gegenüber, in denen ein Verständnis epistemologischer Aspekte bereits bei Schülern von zwölf Jahren festgestellt werden konnte, wie z.B. der Zusammenhang zwischen Zielstellung und Vorgehensweise von Experimenten (Carey et al., 1989). Aus diesem Grund kann erwartet werden, dass eine Vermittlung einfacher epistemologischer Aspekte bereits in der Unterstufe möglich ist, wenn der Abstraktionsgrad der betrachteten Inhalte gering gehalten wird, d.h. die epistemologischen Aspekte mit möglichst konkretem Bezug zur experimentellen Methode thematisiert werden (**H2.1**). Da sich implizites Erlernen epistemologischer Inhalte als nicht möglich erwiesen hat (s.o.) (Bell et al., 2003; Schwartz et al., 2004), wird kein Wissenszuwachs im epistemologischen Wissen durch die alleinige Vermittlung methodischen Wissens erwartet (**H2.2**). Dementsprechend ist von einer Überlegenheit im epistemologischen Wissen durch dessen gezielte Vermittlung auszugehen (**H2.3**).

H2.1: Durch die gezielte unterrichtliche Vermittlung von epistemologischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren können Schüler der 6. Klasse entsprechendes Epistemologiewissen erwerben.

H2.2: Schüler, die eine unterrichtliche Vermittlung von ausschließlich methodischem Wissen, ohne eine gezielte Vermittlung von Epistemologiewissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, erwerben kein entsprechendes Epistemologiewissen, weil epistemologisches Wissen nicht implizit aus experimentellen Unterrichten abgeleitet werden kann, sondern explizit vermittelt werden muss.

H2.3: Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von epistemologischem Wissen neben methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, in ihrem Epistemologiewissen überlegen.

Wie in Kapitel 2.1.7.3 beschrieben gibt es Hinweise darauf, dass der Erwerb epistemologischen Wissens das Verständnis des naturwissenschaftlichen Experimentierens fördert (z.B. Sandoval & Reiser, 2004; z.B. Schwartz et al., 2004). Empirische Ergebnisse legen nahe, dass Schüler die Vorgehensweise beim Experimentieren und die Bedeutung experimenteller Daten adäquater verstehen, wenn sie nicht nur das reine Regelwissen der Methode des Experimentierens, sondern auch deren logischen Begründungszusammenhang kennen (z.B. Carey et al., 1989; Sandoval & Reiser, 2004; Schauble et al., 1991; Schwartz et al., 2004). Schüler, die eine adäquate Vorstellung von der Zielstellung naturwissenschaftlicher Experimente besitzen, konnten beispielsweise die Variablen in Experimenten besser kontrollieren (Sodian et al., 1991).

Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass eine gemeinsame Vermittlung von methodischem und epistemologischem Wissen zu einem besseren Verständnis führt als die alleinige Vermittlung methodischen Wissens (**H2.5**). Dagegen sollte das reine Methodenwissen in beiden Fällen gleich sein, da das Wissen über die Regeln beim Experimentieren im Gegensatz vom Verständnis nicht von logischen Hintergründen abhängen sollte (**H2.4**). Erst die Anwendung des Wissens, die ein Verständnis der Wissensinhalte voraussetzt, sollte Unterschiede deutlich machen.

H2.4: Schüler, die eine gezielte Vermittlung von epistemologischem Wissen zusätzlich zu methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, unterscheiden sich in ihrem Methodenwissen nicht von Schülern, in deren Unterricht ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, und zwar weder hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen, noch hinsichtlich des
- a) b) Planens von Experimenten.

H2.5: Schüler, die eine gezielte Vermittlung von epistemologischem Wissen neben methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, im Verständnis des Experimentierens überlegen, und zwar hinsichtlich

- a) des selbstständigen Planens von Experimenten,
- b) des Umgangs mit experimentellen Daten und
- c) des Erkennens von Konfundierungen.

Auch bei der zusammengefassten Betrachtung der kognitiven Fähigkeiten, die sich aus gleichen Anteilen des Wissens und Verständnisses über das naturwissenschaftliche Experimentieren zusammensetzen, ist mit einer förderlichen Wirkung der Vermittlung von epistemologischem Wissen gegenüber der alleinigen Vermittlung von methodischem Wissen zu rechnen (**H2.6**).

H2.6: Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von epistemologischem Wissen neben methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, insgesamt hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren überlegen.

Hypothesen zu Forschungsfrage 3

In diesem Abschnitt werden Hypothesen zur Wirksamkeit der Vermittlung von negativem Wissen vorgestellt. Sie beziehen sich auf die in Kapitel 2.2 skizzierte Theorie des negativen Wissens (OserHascher & Sychinger, 1999), und zwar vor allem auf die Untersuchungen in der Lehr-Lernforschung. Hier wurde eine verständnisförderliche Wirkung der Vermittlung negativen Wissens im Bereich des Lernens von biologischen Konzepten ermittelt (Ehmer, 2004). Es zeigte sich, dass die Vermittlung negativen Wissens nicht zu einem umfangreicheren Wissen über ein vermitteltes Konzept führt, sondern dass es bei gleicher Wissensbasis ein tieferes Verständnis der erlernten Wissensinhalte ermöglicht. Es wird davon ausgegangen, dass diese Ergebnisse sich auch auf das Lernen von Methoden übertragen lassen.

Daher wird erwartet, dass die gemeinsame Vermittlung von positivem und negativem Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren im Vergleich zu der alleinigen Vermittlung positiven Wissens zwar keine Unterschiede im methodischen (**H3.1**) oder epistemologischen Wissen (**H3.2**) bewirkt, aber zu einem besseren Verständnis des Experimentierens (**H3.3**) führt. Dies wird auch für die zusammengefasste Betrachtung der kognitiven Fähigkeiten, in der die einzelnen Wissens- und Verständnisaspekte gleich gewichtet werden (**H3.4**).

H3.1: Schüler, die eine unterrichtliche Vermittlung von positivem und negativem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, unterscheiden sich in ihrem Methodenwissen nicht von Schülern, in deren Unterricht ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, und zwar weder hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen, noch hinsichtlich des
- b) Planens von Experimenten.

H3.2: Schüler, die eine unterrichtliche Vermittlung von positivem und negativem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, unterscheiden sich in ihrem Epistemologiewissen nicht von Schülern, in deren Unterricht ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde.

H3.3: Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von positivem und negativem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, im Verständnis des Experimentierens überlegen, und zwar hinsichtlich

- a) des selbstständigen Planens von Experimenten,
- b) des Umgangs mit experimentellen Daten und
- c) des Erkennens von Konfundierungen.

H3.4: Schüler, die eine unterrichtliche Vermittlung von positivem und negativem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, insgesamt hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren überlegen.

In den anschließenden Kapiteln wird die empirische Überprüfung der genannten Hypothesen dargestellt.

3.4 Material und Methoden

3.4.1 Stichprobe

An der Studie nahmen 323 Schüler aus zwölf sechsten Klassen von vier verschiedenen Gymnasien in Schleswig-Holstein teil. Die Teilnehmer waren zwischen 11 und 13 Jahre alt. Der Altersdurchschnitt der Teilnehmer betrug 11 Jahre und 11 Monate. 48 % der Teilnehmer waren Jungen, 52 % Mädchen. Das Geschlechterverhältnis war also ausgeglichen und entsprach der normalen Geschlechterverteilung an Gymnasien.

Aufgrund interner Probleme einer Schule musste die Stichprobe für den Testzeitpunkt des Nachttests um zwei Klassen verringert werden, d.h. am Nachttest nahmen zehn Klassen teil. Darüber hinaus wurden Schüler aus den Analysen des Nachttests ausgeschlossen, wenn sie bei mehr als zwei der vier Interventionsstunden oder beiden Theoriestunden der Intervention abwesend waren. Aus diesem Gründen mussten sechs weitere Schüler aus den Auswertungen herausgenommen werden.

Für den Nachttest betrug die Stichprobe daher 269 Schüler. Der Altersdurchschnitt veränderte sich nicht. Hier waren 47% der Teilnehmer Jungen, 53% Mädchen.

Im Zuge der Entwicklung der Testinstrumente und Interventionen wurde außerdem eine Vorstudie durchgeführt, an der drei Klassen eines weiteren Gymnasiums in Schleswig-Holstein teilgenommen haben. Die Stichprobe der Vorstudie umfasste 72 Schüler zwischen 10 und 12 Jahren (Durchschnitt 11 Jahre 8 Monate). Die Geschlechter waren gleich verteilt.

Tabelle 2: Übersicht Stichprobe (Angaben in Klammern beziehen sich auf die verkleinerte Stichprobe des Nachttests)

	Stichprobe			
	Schülerzahl	Altersdurchschnitt	Anteil Mädchen	Anteil Jungen
Vorstudie	72	11 Jahre 8 Monate	50%	50%
Hauptstudie	323 (269)	11 Jahre 11 Monate	52% (53%)	48% (47%)

3.4.2 Forschungsdesign

Zur Überprüfung der in Kapitel 3.3 dargestellten Hypothesen wurde eine Interventionsstudie im Vortest-Nachttest-Design entworfen. Die Wissens- und Verständnisentwicklungen der Schüler wurden mithilfe von schriftlichen Testinstrumenten erhoben. Dazu wurde ein 2x2 Facettendesign entwickelt, durch das die Vermittlung von Methodenwissen, Epistemologiewissen und negativem Wissen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für den Wissens- und Verständniserwerb beim naturwissenschaftlichen Experimentieren

untersucht werden kann. Darüber hinaus wurde eine weitere Zelle berücksichtigt, in der nur Tests ohne Intervention durchgeführt wurden. Diese diente als Kontrollgruppe.

Die teilnehmenden Schulklassen wurden zufällig auf die Zellen des Forschungsdesigns verteilt.

Abbildung 8 gibt einen Überblick über das Forschungsdesign der Studie:

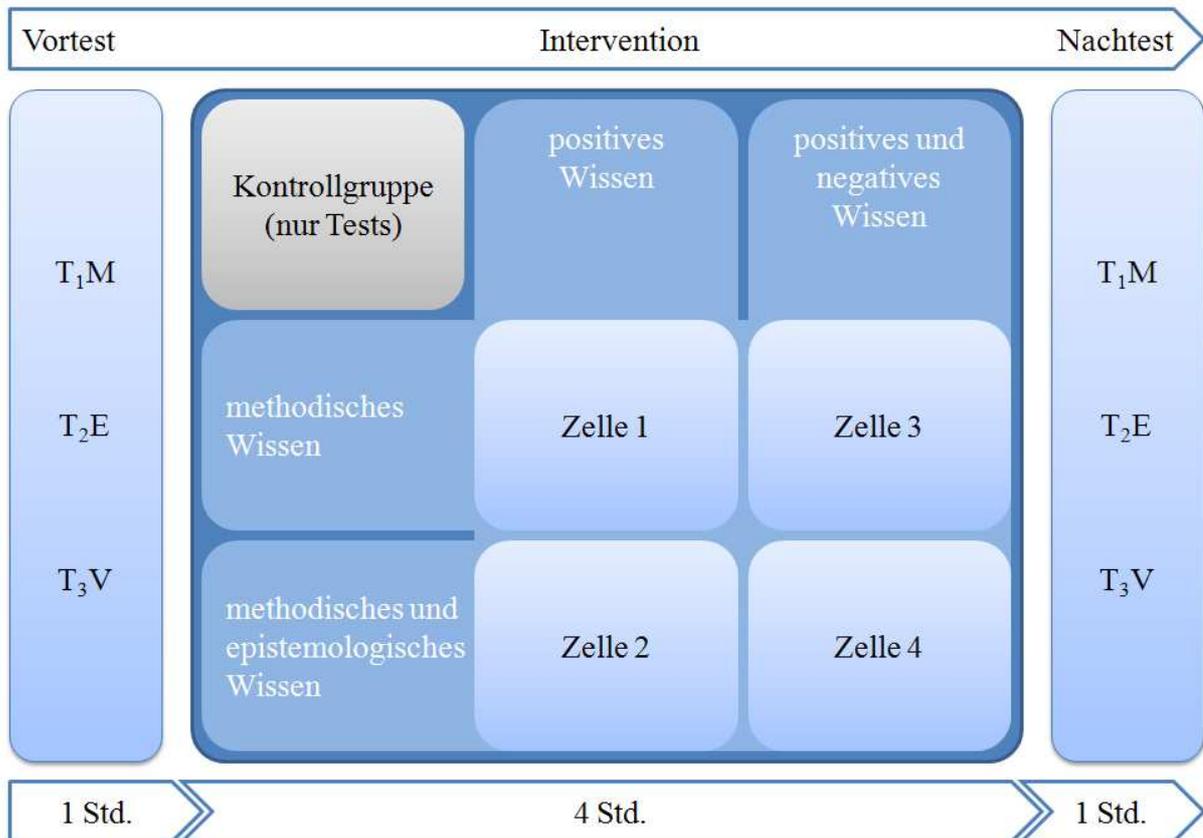


Abbildung 8: Überblick über das experimentelle Design (T₁M = Test zum Methodenwissen, T₂E = Test zum Epistemologiewissen, T₃V = Test zum Verständnis)

3.4.2.1 Variablen

Die vermittelten Wissensinhalte über das naturwissenschaftliche Experimentieren, d.h. methodisches, epistemologisches und negatives Wissen stellen die unabhängigen Variablen der vorliegenden Studie dar. Es wurden vier Interventionen entsprechend der vier Zellen des 2x2-Facettedesigns entworfen, die sich in den unabhängigen Variablen unterscheiden. Die Interventionen werden in Kapitel 3.4.3 ausführlich vorgestellt.

Als abhängige Variablen wurden die Entwicklungen des methodischen und epistemologischen Wissens sowie des Verständnisses der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren erhoben. Die Vorstellung der Erhebungsinstrumente erfolgt in Kapitel 3.4.4.

Das experimentelle Design der Studie bietet zur Überprüfung der in Kapitel 3.3 erläuterten Hypothesen folgende Vergleiche:

Hypothesenkomplex 1: Für die Untersuchung der Wirksamkeit der Vermittlung methodischen werden Zelle 1, in der positives Wissen über die Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens vermittelt wird, und die Kontrollgruppe, in der kein Unterricht zum naturwissenschaftlichen Experimentieren stattfindet, miteinander verglichen.

Hypothesenkomplex 2: Um die Wirksamkeit der Vermittlung von epistemologischem Wissen zu untersuchen, werden die Zellen 1 und 3, in denen methodisches Wissen zum Experimentieren vermittelt wird, mit Zelle 2 und 4 verglichen, in denen zusätzlich epistemologisches Wissen zum Experimentieren thematisiert wird.

Hypothesenkomplex 3: Zur Ermittlung der Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens die Zellen 1 und 3, in denen nur positives Wissen zum Experimentieren vermittelt wurden, den Zellen 3 und 4 gegenübergestellt, in denen zusätzlich negatives Wissen vermittelt wurde.

3.4.2.2 Ablauf

Vor den Interventionen, die jeweils vier Schulstunden umfassten, wurde ein 45minütiger Vortest durchgeführt. Dieser bestand aus drei Teilen, und zwar je einem Test zum Methodenwissen, Epistemologiewissen und Verständnis der Schüler. Der Nachtest im Anschluss an die Intervention hatte die gleiche Dauer und Testkategorien. Die Tests zum methodischen und epistemologischen Wissen waren im Vor- und Nachtest identisch. Der Test zum Verständnis enthielt im Nachtest komplexere Problemstellungen als im Vortest. Die Durchführung der Interventionen umfasste also in jeder Schulklasse insgesamt sechs Schulstunden. Da in Schleswig-Holstein für Biologie in der sechsten Klasse mit zwei Wochenstunden im Lehrplan vorgesehen sind, erstreckten sich die Interventionen daher über drei Wochen.

Die Interventionen wurden im Sommerhalbjahr 2007 im Zeitraum zwischen den Oster- und Sommerferien, d.h. von Ende April bis Anfang Juli 2007 durchgeführt.

3.4.3 Unterrichtliche Intervention

In den folgenden Kapiteln werden die unterrichtlichen Interventionen der vier Zellen des Forschungsdesign dargestellt. Dazu werden zunächst die vermittelten Wissensinhalte, die Grundsätze der Unterrichtsgestaltung und die Kontrolle möglicher Störvariablen beschrieben. Anschließend wird am Beispiel der Zelle 4 der Unterrichtsgang im Detail unter Einbezug der Unterrichtsmaterialien erläutert. Darauf folgt eine kurze Darstellung der Vorstudie, in der der Ablauf der Interventionen optimiert wurde.

3.4.3.1 Wissensinhalte

In den Interventionen wurde Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren vermittelt, das grundlegende Aspekte der Methode und/oder Epistemologie des naturwissenschaftlichen Experimentierens darstellt (vgl. auch Kapitel 2.1). In den vier Zellen des Untersuchungsdesigns wurden folgende konkreten Inhalte berücksichtigt:

In Zelle 1 wurde positives Wissen über die Methode des Experimentierens vermittelt. Dazu wurden die Phasen der experimentellen Erkenntnisgewinnung vermittelt, die im weiteren Fortgang dieser Arbeit unter dem Begriff *inquiry cycle* zusammengefasst werden. Hierbei lernten die Schüler, dass ein naturwissenschaftliches Experiment mit einer Fragestellung beginnt, die im Experiment untersucht werden soll. Es wird eine Hypothese aufgestellt, die eine mögliche Antwort auf die Fragestellung und damit eine Vermutung über den Ausgang des Experiments darstellt. Anschließend wird ein Experiment theoretisch geplant, das zur Überprüfung der Hypothese geeignet ist, und entsprechend der Planung durchgeführt. Die dabei gewonnenen experimentellen Daten werden ausgewertet und mit Rückbezug auf die Hypothese interpretiert. Es wird also überprüft, ob die Hypothese durch die Daten bestätigt oder widerlegt wurde. Häufig bleiben hierbei Fragen offen oder es ergeben sich neue Fragen aus den experimentellen Daten, so dass sich ein neues Experiment anschließen kann. Neben dem *inquiry cycle* wurden in Zelle 1 außerdem die Regeln der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes für ein und für zwei Testvariablen vermittelt.

Diese Wissensinhalte der Zelle 1 wurden auch in den drei weiteren Zellen des Forschungsdesign vermittelt.

In Zelle 2 wurde zusätzlich zum methodischen Wissen auch epistemologisches Wissen vermittelt. Die vermittelten Inhalte betrafen die Ziele naturwissenschaftlicher Experimente, den Unterschied zwischen direkter Beobachtung und indirekter Untersuchung eines Naturvorgangs im Experiment, die daraus resultierende potenzielle Fehlerhaftigkeit des Wissens sowie die individuelle Wahrnehmungsperspektive von Schülern und Wissenschaftlern. In diesem Zusammenhang wurden die Prinzipien von Variablenkontrolle und Kontrollansatz als Beispiele möglichst einfacher Vorgehensweisen bei der Gewinnung eindeutiger Erkenntnisse thematisiert.

In Zelle 3 wurde nicht nur das positive Wissen zum Experimentieren wie in Zelle 1 vermittelt sondern auch entsprechendes negatives Wissen. Dazu wurden den Regeln der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes konfundierte Experimente und Solitäransätze, d.h. Experimente ohne einen Kontrollansatz gegenübergestellt. Die Schüler konnten dadurch Abgrenzungswissen über die Unterschiede zwischen der naturwissenschaftlichen Methode des Experimentierens und Fehlern beim Experimentieren erwerben.

In Zelle 4 wurden dagegen positive und negative Wissensaspekte über methodisches und epistemologisches Wissen vermittelt. Das bedeutet, dass hier die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes konfundierten Experimenten und Solitäransätzen gegenübergestellt und auch die für Zelle 2 genannten epistemologischen Aspekte der

Erkenntnisgewinnung thematisiert wurden. Darüber hinaus wurde das Ziel der Erkenntnisgewinnung naturwissenschaftlicher Experimente von dem Ziel der Wissensdarstellung von Experimenten in Alltag und Schule abgegrenzt. Es wurde herausgestellt, dass die methodischen Besonderheiten des naturwissenschaftlichen Experimentierens nur mit dem Ziel der Erkenntnisgewinnung in Zusammenhang stehen. Das negative Wissen in dieser Zelle betrifft also einerseits die Unterschiede zwischen der naturwissenschaftlichen Methode und Fehlern beim Experimentieren sowie die Unterschiede zwischen der Darstellung und Gewinnung von Wissen.

In Tabelle 3 sind die vermittelten Inhalte der vier Interventionszellen zusammenfassend gegenübergestellt.

Tabelle 3: Übersicht über die vermittelten Inhalte der Interventionen

Art des Wissens	Wissensinhalte	Zelle 1	Zelle 2	Zelle 3	Zelle 4
Positives Methodenwissen	Phasen des <i>inquiry cycles</i>	X	X	X	X
	Variablenkontrolle	X	X	X	X
	Kontrollansatz	X	X	X	X
Negatives Methodenwissen	Konfundierung			X	X
	Solitäransatz ohne Kontrollansatz			X	X
Positives Epistemologiewissen	Ziel von Experimenten		X		X
	direkte Beobachtung und indirekte Untersuchung		X		X
	eindeutige und einfache Methode dient Eindeutigkeit der Erkenntnis		X		X
	Potenzielle Fehlerhaftigkeit naturwissenschaftlichen Wissens, Fehlen einer Instanz, die objektiv über Richtigkeit entscheidet		X		X
Negatives Epistemologiewissen	Wissen darstellen vs. Wissen gewinnen				X

Der geringere Umfang des vermittelten Wissens in Zelle 1 wurde durch eine ausführlichere Thematisierung der Phasen des *inquiry cycles* und eine detailliertere Betrachtung der biologischen Zusammenhänge von praktisch durchgeführten Experimenten ausgeglichen (s. Kapitel 3.4.3.2). Zu beachten ist dabei, dass die Vermittlung zusätzlicher negativer und epistemologischer Aspekte nur einen wenig gesteigerten Zeitaufwand im Vergleich zur

alleinigen Vermittlung von Methodenwissen in Zelle 1 erforderte. Der Grund liegt darin, dass z.B. die Vermittlung von Wissen über konfundierte Experimente lediglich eine andere Perspektive auf die Variablenkontrolle, die auch in Zelle 1 vermittelt wurde, darstellt und keine vollständig neuen Wissens Elemente. Gleiches gilt für die Abgrenzung der epistemologischen Aspekte der Wissensdarstellung und Wissensgewinnung in Experimenten. Diese konnten z.B. durch die Thematik des Rollenspiels eingeführt werden, so dass hier kein zusätzlicher Zeitaufwand notwendig war.

Die zusätzlichen Aspekte der Zellen 2-4 wurden also vor allem durch veränderte Inhalte, z.B. im Rollenspiel und im Lückentext, und nicht durch weitere Unterrichtsphasen gewährleistet. Die Dauer der Vermittlungs- und Übungsphasen des Methodenwissens war in allen Zellen gleich, so dass hierdurch vergleichbare Bedingungen für den Verständnis- und Wissenserwerb in allen Zellen gegeben waren.

Wie in Kapitel 2.2 erläutert, eignet sich das Lernen aus eigenen Fehlern nicht als gezielte Vermittlungsmethode für den Erwerb negativen Wissens, der jedoch zur Sicherung der Untersuchungsbedingungen der Studie gewährleistet werden muss. Aus diesem Grund wurde das negative Wissen in den Interventionen einerseits durch advokatorisches Fehlerlernen, z.B. bei der Gegenüberstellung von konfundierten und adäquat kontrollierten Experimenten, vermittelt. Andererseits wurden Kontrastierungen, z.B. bei der Gegenüberstellung von Alltags- und naturwissenschaftlichen Experimenten, zur Vermittlung des negativen Wissens vorgenommen. Dadurch konnte die Vermittlung der Inhalte im Voraus exakt geplant werden und eine ungehemmte Auseinandersetzung der Schüler mit den Inhalten, die beim Lernen aus eigenen Fehlern nicht immer gegeben ist, gewährleistet werden. Dieses Vorgehen stellte sicher, dass die Schüler in den entsprechenden Zellen das intendierte negative Wissen kennenlernen konnten und sich die Bedingungen in den Zellen des Forschungsdesigns wie geplant voneinander unterschieden.

3.4.3.2 Grundsätze der Unterrichtsgestaltung

Um zu verhindern, dass Unterrichtsmerkmale wie die Sozialformen und Unterrichtsmethoden einen Einfluss auf das Lernen der Schüler nehmen, wurde ein einheitliches Unterrichtsskript entwickelt, das eine identische Abfolge von Unterrichtsphasen und Unterrichtsmethoden für alle vier Interventionen vorgibt. In dieses Gerüst werden die fachlichen Inhalte der vier verschiedenen Interventionen eingefügt. Z.B. wird in allen vier Interventionen ein Lückentext von den Schülern bearbeitet, die darin berücksichtigten fachlichen Inhalten hängen jedoch von der Zuordnung des jeweiligen Unterrichts zu den Zellen des Forschungsdesigns ab (s. Abbildung 8). Maßnahmen zur Kontrolle weiterer potenzieller Einflüsse werden in Kapitel 3.4.3.3 vorgestellt.

In den folgenden Abschnitten wird das Unterrichtsskript vorgestellt. Fachliche Inhalte können hierbei nur exemplarisch angegeben werden, weil diese in den Interventionen der verschiedenen Zellen variierten. Um zu verdeutlichen, wie die fachlichen Inhalte und das Unterrichtsskript zusammengeführt wurden, wird in Kapitel 3.4.3.4 am Beispiel der Zelle 4 eine Intervention mit den fachlichen Inhalten im Detail vorgestellt.

Das Unterrichtsskript

Die vier Interventionsstunden gliederten sich auf in zwei Theoriestunden und zwei Stunden, in denen die Schüler selbst Experimente durchführten. Die Interventionen begannen mit einer Theoriestunde, auf die praktische und theoretische Unterrichte im Wechsel folgten.

1. Stunde

Die erste Stunde diente der Einführung theoretischer Aspekte des Experimentierens. Es war davon auszugehen, dass diese Art der Betrachtung von Experimenten für die meisten der teilnehmenden Schüler neu und ungeläufig ist, da theoretische Aspekte des Experimentierens in der Schule normalerweise keine oder eine untergeordnete Rolle spielen (Eschenhagen et al., 2006).

Um das Interesse der Schüler in dieser Hinsicht zu wecken und ihnen einen leichten Einstieg in die ungewohnte Unterrichtssituation zu ermöglichen, bestand der Einstieg in die Interventionen aus einem Rollenspiel, das von verschiedenen Schülern vorgelesen wurde. Darin wurde eine Problemsituation beim Experimentieren dargestellt, z.B. ein Streitgespräch über effektgeleitete und erkenntnisgeleitete Experimente (vgl. Abbildung 9). Im Anschluss wurde das im Rollenspiel aufgeworfene Problem im Lehrer-Schüler-Gespräch erläutert. Es bildete den Ausgangspunkt und die Begründung für die Betrachtung der theoretischen Inhalte zum Experimentieren in der weiteren Intervention.

Erste theoretische Inhalte des Experimentierens wurden anschließend in einem Lückentext thematisiert. Nachdem die Schüler den Lückentext in Einzelarbeit ausgefüllt, beantworteten sie Verständnisfragen zum Text, die der Sicherung der inhaltlichen Aspekte dienen (vgl. Abbildung 10). Im Anschluss wurden die Lösungen im Plenum verglichen und auf einer Overhead-Folie festgehalten. Diese konnte in den folgenden Stunden zum schnellen Rückbezug auf die thematisierten Inhalte genutzt werden.

Mithilfe von vorbereiteten Overhead-Folien (vgl. Abbildung 11) wurde auch die Variablenkontrolle eingeführt. Dazu wurde ein Experiment zur Hefegärung vorgestellt, bei dem die Notwendigkeit von Salz für das Gehen eines Hefeteiges untersucht wird. Die Schüler wurden hier zum ersten Mal in der Intervention mit der kontrollierten Untersuchung einzelner Faktoren konfrontiert.

Nach dieser theoretischen Phase zum Experimentieren konnten die Schüler in einem Spiel die praktische Umsetzung der gerade kennengelernten Aspekte erfahren. Das dabei durchgeführte „Klatschexperiment“ wird auf Seite 76 ausführlich beschrieben. In dem Spiel

stellten vier Schüler vier Faktoren eines Systems dar, das die anderen Mitschüler der Klassen experimentell untersuchen sollten. Es diente der praktischen Anwendung der Variablenkontrolle und eines Kontrollansatz in einem spielerischen Kontext.

2. Stunde

In der zweiten Stunde führten die Schüler in Gruppen von vier Personen ein Experiment zum menschlichen Pulsschlag, das den Grundsätzen des naturwissenschaftlichen Experimentierens entsprach, praktisch durch. Dabei lernten sie unter Anleitung den *inquiry cycle* kennen, d.h. die Abfolge von Fragestellung, Hypothesen, Experimentplanung und – durchführung, die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse mit Rückschluss auf die Hypothese (vgl. Kapitel 3.4.3.1). Darüber hinaus konnten sie die praktische Relevanz der theoretischen Aspekte aus der ersten Interventionsstunde erfahren. Da die Schüler zu diesem Zeitpunkt noch sehr wenig Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren besaßen, folgten sie bei der Durchführung des Experiments einem vorgegebenen Plan (vgl. Abbildung 13), der sie sicher zu eindeutigen Schlussfolgerungen über die relevanten Faktoren des Experiments führte. Ein Handout diente dabei sowohl als Experimentieranleitung als auch der einfachen Protokollierung des Experiments.

Nach der Vorstellung der Gruppenergebnisse, d.h. der Widerlegung oder Bestätigung der untersuchten Hypothesen, wurden diese im Plenum diskutiert. Die Stunde endete mit einem Lehrer-Schüler-Gespräch über eine mögliche biologische Begründung der beobachteten Pulsentwicklung, d.h. über den Anstieg der Pulsfrequenz beim Anhalten der Luft. Da der menschliche Blutkreislauf, der regulär im Lehrplan für die 6. Klassenstufe vorgesehen ist, zum Zeitpunkt der Studie bereits bekannt war, konnten die Schüler hierbei selbst mögliche Erklärungen anbringen. Dabei wurde deutlich zwischen den experimentellen Daten und den auf Vorwissen gestützten Vermutungen unterschieden. Es wurde darauf hingewiesen, dass diese Vermutungen in weiteren Experimenten überprüft werden müssten.

3. Stunde

Zu Beginn der dritten Stunde, die erneut eine theoretische Ausrichtung aufweist, wurde das Experiment der vorangegangenen Stunde aus einer methodischen Perspektive im Lehrer-Schüler-Gespräch reflektiert. Hierbei standen also nicht mehr die biologischen Zusammenhänge, sondern das methodische Vorgehen im Experiment im Mittelpunkt. Dazu wurde rekapituliert, wie die Variablenkontrolle im Experiment durchgeführt wurde und welche Ansätze als Kontrollansätze dienten. Im Anschluss wurden anhand von Overhead-Folien weitere Aspekte des naturwissenschaftlichen Experimentierens thematisiert, die je nach Zelle des Untersuchungsdesigns variierten. Z.B. wurden hier konfundierte und nicht konfundierte Experimente gegenübergestellt. In allen Interventionen wurde dabei auch die Variablenkontrolle für zwei Testfaktoren ausgeweitet (vgl. Abbildung 15). Danach wurden

die methodischen Aspekte in Partnerarbeit von jeweils zwei Schülern anhand einer schriftlichen Aufgabe zum Planen von Experimenten geübt (vgl. Abb. 16). Hierbei ging es darum, die theoretischen Inhalte in einer Problemsituation anzuwenden. Der Rest der Stunde wurde dazu genutzt, im Plenum das praktische Experiment für die nächste Stunde gemeinsam zu planen. Dieses sollte den Zusammenhang von Bewegung und Pulsschlag untersuchen. Bei der Planung des konkreten Experiments wendeten die Schüler abschließend das erlernte Wissen zum Experimentieren selbständig an. Dabei trafen sie alle Entscheidungen des Planungsprozesses ausgehend von der Fragestellung selbstständig. Die Testleiterin griff in die Entscheidungen der Schüler nur dann ein, wenn die Planungen sich als nicht durchführbar darstellten (z.B. wenn schwimmen als Bewegung gewählt wird) oder methodische Fehler auftraten, die das Plenum in der Diskussion nicht bemerkte.

4. Stunde

In der vierten Stunde wurde das Experiment, das die Schüler am Ende der vorangegangenen Stunde geplant hatten, zunächst durchgeführt und anschließend von den Schülern mit Rückschluss auf die Hypothese ausgewertet und im Plenum besprochen. Diese letzte Diskussionsphase wurde auch zur abschließenden Reflexion der gelernten Inhalte, die je nach Intervention variierten, genutzt. Dabei wurde der Bezug zum Rollenspiel der ersten Stunde wieder hergestellt, um den Schülern ihren Wissenszuwachs und den logischen Zusammenhang des Gelernten noch einmal aufzuzeigen.

Für die vorliegende Studie dient das einheitliche Unterrichtsskript als Rahmen der Interventionen, der entsprechend dem experimentellen Design der Studie mit den spezifischen Inhalten der vier verschiedenen Unterrichtsgänge gefüllt wird. Ziel ist es, die Wirksamkeit der untersuchten Wissensvermittlungen zu untersuchen, indem für jede Wissensart zwei Bedingungen kreiert werden, die sich in dieser unabhängigen Variable möglichst stark unterscheiden. Hierbei ist zwischen zwei Vergleichsmöglichkeiten zu differenzieren: Hinsichtlich der Vermittlung von Methodenwissen können zwei Extrembedingungen verglichen werden, nämlich die Kontrollgruppe, die keinerlei Unterricht zum naturwissenschaftlichen Experimentieren erhält, und Zelle 1, in der gezielt positives Wissen über die Methode des Experimentierens vermittelt wird. Bei der Untersuchung der Wirksamkeit von epistemologischem Wissen ist ein solcher Extremvergleich mit der Kontrollgruppe dagegen nicht möglich, da bei diesem Faktoren untersucht wird, welche Wirkung eine zusätzliche Vermittlung epistemologischen Wissen zur Vermittlung von methodischem Wissen aufweist. Das gleiche gilt für die Vermittlung negativen Wissens, die zusätzlich zur Vermittlung von positivem Wissen stattfindet. Daher werden in diesen Fällen zwei Bedingungen miteinander verglichen, deren vermittelte Inhalte sich teilweise entsprechen (vgl. Tabelle 3):

Das methodische Wissen, das in Zelle 1 die unabhängige Variable darstellt, bildet in den Zellen 2-4 die Wissensbasis, auf deren Grundlage die Wirksamkeit von zusätzlich vermitteltem epistemologischem bzw. negativem Wissen untersucht wird. Die Charakteristika der Wissensarten machen es dabei unmöglich, z.B. im Falle der Vermittlung von negativem Wissen ganz auf die Vermittlung positiven Wissens zu verzichten. Hierfür gibt es zwei Gründe: Einerseits stellt das positive Wissen das hauptsächliche Lernziel auch bei der Vermittlung von negativem Wissen dar und andererseits soll eine verständnisfördernde Wirkung ja gerade durch den Kontrast zwischen positivem und negativem Wissen zustande kommen. Daher kann bei der Vermittlung von negativem Wissen nicht auf die Vermittlung positiven Wissens verzichtet werden. So kann z.B. bei der Thematisierung von Konfundierungen nicht von der Darstellung der Variablenkontrolle abgesehen werden. Gleiches gilt für die Vermittlung epistemologischen Wissens, die gerade dem Wissens- und Verständniserwerb des methodischen Wissens dient. Auch hier ist es nicht sinnvoll, das Ziel der möglichst eindeutigen Erkenntnisgewinnung aus Experimenten ohne die damit verbundenen Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes zu thematisieren, wenn das Verständnis der Schüler über das Experimentieren insgesamt gefördert werden soll.

Damit möglichst klar definierte Unterschiede zwischen den Zellen bestehen, werden z.B. in Zelle 3 Übungsaufgaben ausschließlich auf negatives Methodenwissen hin ausgerichtet, während in Zelle 1 solche Übungen zwangsweise nur positives Wissen betreffen. Hierzu gehört, dass in Zelle 1 in der dritten Interventionsstunde die Anwendung des Wissens durch die Planung eines Experimentes geübt wird. Dabei müssen die Schüler das erlernte positive Wissen über die Variablenkontrolle zur Anwendung bringen. Die Schüler der Zelle 3 müssen dagegen Fehler in einer gegebenen Experimentplanung verbessern und sich dabei ihres positiven und negativen Wissens bedienen.

Durch diese Vorgehensweise kommt zwar eine gewisse Vernachlässigung positiver Wissensaspekte in den Zellen 2-4 zustande, dieser Nachteil muss aber zugunsten der Unterscheidung der Bedingungen in Kauf genommen werden.

3.4.3.3 Kontrolle potenzieller Störfaktoren

Das im vorigen Kapitel dargestellte einheitliche Unterrichtsskript der verschiedenen Interventionen diene dem Zweck, solche Einflüsse auf das Wissen und Verständnis der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren auszuschließen, die nicht auf die Wirkung der unabhängigen Variablen, d.h. der verschiedenen vermittelten Wissensarten zurückzuführen sind. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die Effekte der Wissensentwicklung, die mit den Testinstrumenten der Studie gemessen werden, möglichst

eindeutig auf die Art der Wissensvermittlung und nicht auf andere Einflussgrößen zurückzuführen sind.

Aus Studien zur Unterrichtsqualität ist bekannt, dass das Lernen in der Schule durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt wird. Helmke (2006) fasst vier Faktoren zusammen, die die Lernleistung von Schülern im besonderen Maße beeinflussen: die Lehrperson, die Unterrichtsgestaltung, die individuellen Eingangsvoraussetzung der Lernenden und Einflussfaktoren aus dem Umfeld der Lernenden. Wenn die Wissensentwicklung der Schüler eindeutige Aussagen über die Wirksamkeit der Vermittlung von methodischem, negativem Wissen bzw. epistemologischem Wissen erlauben soll, müssen diese Faktoren entweder kontrolliert werden oder – wo eine Kontrolle nicht möglich ist – durch eine größtmögliche Varianz gestreut werden. Unterrichtsunabhängige Einflüsse können darüber hinaus von den eingesetzten Testinstrumenten ausgehen (Sarris, 1992). Hierbei ist einerseits sicherzustellen, dass die Testinstrumente zur Messung der betrachteten abhängigen Variablen geeignet sind. Andererseits ist auszuschließen, dass ein Lerneffekt bereits durch die Bearbeitung der Testaufgaben möglich ist. Andernfalls wäre eine Steigerung zwischen Vor- und Nachtestergebnis nicht nur auf die Wissensvermittlung, sondern auch auf die Bearbeitung der Testaufgaben zurückzuführen. Solche Testeffekte müssen von den Effekten der Wissensvermittlung deutlich getrennt werden, um ein angemessenes Bild der Wirksamkeit der Wissensvermittlung beschreiben zu können.

In den folgenden Absätzen werden die Maßnahmen zur Kontrolle ungewünschter Einflussfaktoren genauer vorgestellt:

Einfluss durch die Lehrperson

Der auch als Lehrereffekt bezeichnete Einfluss der jeweiligen Lehrperson stellt einen besonders starken Einflussfaktor auf den Lernerfolg der Schüler dar (Helmke, 2006; Rumann, 2005), d.h. die Wissensentwicklung der Schüler hängt stark von der jeweiligen Lehrperson bei der Wissensvermittlung ab. Dabei spielt z.B. sowohl das Fachwissen der Lehrkraft als auch deren Unterrichtserfahrung eine Rolle. In dieser Studie wurde der sogenannte Lehrereffekt dadurch egalisiert, dass alle Interventionen durch die Testleiterin dieser Studie durchgeführt wurden, also alle Schüler den gleichen Einflüssen durch die Lehrperson ausgesetzt waren.

Darüber hinaus wurden die Interventionen der vier Zellen des Untersuchungsdesigns dieser Studie gleichmäßig über den Zeitraum der Datenerhebung verteilt, so dass in allen Zellen das gleiche Maß an Erfahrung mit der Durchführung der Intervention zum Tragen gekommen ist. Konkret wurden die Unterrichte der Zellen 1 bis 4 zunächst mit jeweils einer Schulklasse durchgeführt, bevor in einem zweiten und anschließend dritten Durchlauf weitere Schulklassen berücksichtigt wurden. Dadurch hat in jeder Zelle jeweils eine Schulklasse eine Intervention zu Beginn, in der Mitte und am Ende der Datenerhebung erfahren.

Über jede Unterrichtsstunde wurde außerdem durch die Testleiterin ein Protokoll angefertigt, in dem die vermittelten Inhalte, nachzuholende Wissensaspekte und besondere Vorkommnisse festgehalten wurden. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Unterrichte den theoretischen Planungen entsprachen.

Einfluss durch die individuellen Eingangsvoraussetzungen

Um sicher zu gehen, dass das Wissen der Schüler nach erfolgter Intervention auf die gezielte Wissensvermittlung in dieser Studie zurückzuführen ist, wird das Vorwissen der Schüler in einem Vortest erhoben. Dadurch ist es möglich, die Wissensentwicklung als Unterschied zwischen Vor- und Nachtestergebnis eindeutig auf die Intervention zurückzuführen. Diese Vorgehensweise ermöglicht es außerdem, auch Schüler unterschiedlicher Vorwissensniveaus miteinander zu vergleichen, da die Wissenszuwächse und nicht das absolute Wissen des Nachtests für die Bewertung der Wirksamkeit der Wissensvermittlung herangezogen werden. Würde man hierzu nur die Nachtestergebnisse der Schüler berücksichtigen, würden Schüler, die bereits vor den Interventionen ein hohes Vorwissen aufweisen, die Ergebnisse durch ihren nicht auf die Interventionen zurückzuführenden Wissensvorsprung verfälschen.

Darüber hinaus bietet die Berücksichtigung mehrerer Schulklassen pro Zelle des experimentellen Studiendesigns den Vorteil, dass sog. Klasseneffekte durch besonders vorwissensstarke oder –schwache Schulklassen ausgeglichen werden können. Würde man nur eine einzelne Schulklasse in jeder Zelle untersuchen, könnte die Wissensentwicklung auch auf die Leistungsfähigkeit dieser spezifischen Lerngruppe zurückzuführen sein. Damit würden die Ergebnisse einem großen Fehlerrisiko unterliegen und nicht verallgemeinerbar sein.

Einfluss aus dem Umfeld der Lernenden

Die individuellen Merkmale der Lernenden, die sich z.B. durch den sozio-ökonomischen Status des Elternhauses oder das Lernklima in der Schulklasse ergeben, können in dem gewählten Untersuchungsdesign der Studie nicht kontrolliert werden. Da sie keinen Untersuchungsgegenstand dieser Studie darstellen, werden sie nicht gezielt erhoben. Stattdessen wurden die teilnehmenden Schulklassen so dem Untersuchungsdesign zugeordnet, dass eine gleichmäßige Verteilung ländlicher und städtischer Einzugsgebiete gewährleistet ist. Es wird davon ausgegangen, dass in den Schulklassen eine vergleichbare Verteilung von Merkmalen der Schülerumfelde gegeben ist. Durch die Berücksichtigung mehrerer Schulklassen pro Zelle des Untersuchungsdesigns wird hier eine vergleichbare Variation erwartet.

Einfluss durch die Unterrichtsgestaltung

Das einheitliche Unterrichtsskript, das z.B. einen ungewünschten Einfluss der Unterrichtsmethoden verhinderte, wurde bereits in Kapitel 3.4.3.2 vorgestellt.

Einfluss durch die Testinstrumente

Die Eignung der Testinstrumente für die Erhebung der Wissens- und Verständnisentwicklung der Schüler wird durch eine umfangreiche statistische Testanalyse sichergestellt. Die Darstellung erfolgt in Kapitel 3.4.4.

Darüber hinaus bietet die Integration der Kontrollgruppe in das Untersuchungsdesign die Möglichkeit, sog. Testeffekte, also Wissensentwicklungen, die auf die Bearbeitung der Testaufgaben und nicht auf die Interventionen zurückzuführen sind (Sarris, 1992), aufzudecken. Die entsprechenden Analysen sind in den Ergebnissen zu Fragestellung 1 enthalten (vgl. Kapitel 3.5.2).

3.4.3.4 Darstellung des Unterrichtsverlaufs am Beispiel der Zelle 4

In Zelle 4 des Studiendesigns, in der die Wirksamkeit der gemeinsamen Vermittlung von negativem und epistemologischem Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren untersucht wird, wird die Gegenüberstellungen von Alltagsexperimenten und naturwissenschaftlichen Experimenten genutzt, um das Verständnis der Schüler über die vermittelten methodischen Inhalte zu fördern. Dabei wird unterschieden, dass Experimente im Alltag oft effektgeleitet und ohne Kontrollansatz durchgeführt werden, während für die gezielte Untersuchung von Ursache-Wirkungsbeziehungen in den Naturwissenschaften ein Experiment mit Variablenkontrolle und Kontrollansatz notwendig ist. Diese Gegenüberstellung dient in allen Phasen der Intervention als Bezugsrahmen, in den die Schüler vermitteltes Wissen integrieren können.

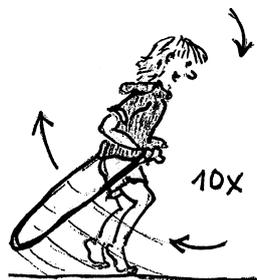
Als zentrale Aspekte des methodischen Wissens werden wie in den anderen Zellen des Forschungsdesigns die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes vermittelt. Das Wissen über Konfundierungen und Solitäransätze ohne Kontrollansatz lernen die Schüler dagegen als Fehler beim Experimentieren in naturwissenschaftlichen Kontexten kennen, die aber im Alltag zur Darstellung von Wissen nicht zwingend unangemessen sein müssen. Als Begründung der methodischen Regeln wird die notwendige Eindeutigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnis angeführt, die für eine Darstellung bekannten Wissens keine Rolle spielt (vgl. Tabelle 3). Durch die Einbettung verschiedener methodischer Vorgehensweisen in unterschiedliche Kontexte sollen die Schüler ein besseres Verständnis über die methodischen Besonderheiten von naturwissenschaftlichen Experimenten erwerben.

In den folgenden Abschnitten werden die vier Stunden der Intervention der Zelle 4 des Forschungsdesigns detailliert vorgestellt:

1. Stunde

Zu Beginn der ersten Interventionsstunde lernen die Schüler im Rollenspiel zwei unterschiedliche Zielstellungen von Experimenten kennen, nämlich das Erreichen eines gewünschten Effekts, das im Alltag oft mit dem Experimentieren verbunden wird, und das Ziel der Wissensgewinnung, das für naturwissenschaftliche Experimente charakteristisch ist. In dem Rollenspiel, das zwei freiwillige Schüler als Einstieg in die Thematik der Intervention vorlesen, streiten zwei Wissenschaftler darüber, welche Vorgehensweise für die gezielte Untersuchung einer Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen Faktoren geeignet ist (Abb. 9):

Dr. Spocht und Dr. Schlauh haben ein Experiment zum Pulsschlag gemacht, mit dem sie unterschiedlich zufrieden sind.



Dr. Spocht: „Ich weiß gar nicht, was Dein Problem ist. Es hat doch alles total gut geklappt!“

Dr. Schlauh: „Eben nicht! Wir sind genau so schlau wie vorher, NICHTS hat geklappt.“

Dr. Spocht: „Wieso denn? Der Puls ist doch total gut hochgegangen. Wir haben doch bei allen Versuchspersonen sehr hohe Pulswerte erhalten. Ich glaube, so einen hohen Puls hatte ich noch nie! Das ist doch super!“

Dr. Schlauh: „Darum geht es doch nicht! Dass der Puls steigen kann, das wussten wir doch auch schon vorher. Aber wir wollten doch herausfinden, welche Art von Bewegung und welche Dauer der Bewegung den Puls am stärksten beschleunigt. Aber Du hast die Teilnehmer ja alle Seilspringen lassen, und alle 15 Minuten lang. Wir hatten doch extra einen Plan gemacht, aber an den hast Du Dich ja nicht gehalten. Und nun sind wir keinen Schritt weiter gekommen und haben nichts erreicht!“

Dr. Spocht: „Ach was, das kannst Du so auch nicht sagen – schließlich haben wir den Teilnehmern zu sehr gesundem Sport verholfen und es hat allen Spaß gemacht. Ich habe gelesen, dass es sehr gut ist, seinen Puls ab und zu so hoch zu treiben. Und das haben wir doch geschafft! Ich finde das sehr wichtig! Vielleicht bekommen wir beim nächsten Experiment sogar noch höhere Werte!“

Abbildung 9: Rollenspiel der Zelle 4

Im anschließenden Lehrer-Schüler-Gespräch stellen die Schüler die beiden Positionen der Wissenschaftler des Rollenspiels zunächst gegenüber und charakterisieren deren Vorgehensweisen beim Experimentieren. Dabei wird bereits deutlich, dass ein geplantes Vorgehen für gezielte Untersuchungen notwendig ist. Dieser Zusammenhang bildet den Ausgangspunkt für die nun folgende Vermittlung methodischer Grundsätze des naturwissenschaftlichen Experimentierens.

Dazu bearbeiten die Schüler in Einzelarbeit den in Abbildung 10 dargestellten Lückentext. Die unterstrichenen Worte sind dabei von den Schülern aus der über dem Text stehenden Auswahl einzusetzen.

Biologen experimentieren!

In dem folgenden Text über Biologen und ihre Experimente sind einige Begriffe abhanden gekommen. Vervollständige den Lückentext sinnvoll so mit den angegebenen Worten, dass jedes Wort nur einmal gebraucht wird und alle Lücken ausgefüllt sind.



bekanntes, beobachten, direkt, eindeutig, Experimente, indirekt, Natur, Regeln, untersucht, vorzuführen, Wirkung

Biologen arbeiten daran, immer neues Wissen über die Natur zu gewinnen. Häufig ist es dabei nicht genug, die Vorgänge in der Natur nur zu beobachten. Dann führen sie gezielt Experimente durch, um z.B. den menschlichen Herzschlag zu untersuchen. Ziel der Experimente ist es, die Wirkung eines bestimmten Faktors auf den betrachteten Vorgang zu ergründen, z.B. wie körperliche Anstrengung den Herzschlag beeinflusst. Da sie die Wirkung am Herzen nicht direkt beobachten können, müssen sie sich ein Experiment überlegen, mit dem sie den Vorgang indirekt untersuchen können. Um möglichst sicher zu sein, dass sie auch ohne eine direkte Beobachtung zutreffendes Wissen erhalten, machen Biologen ihre Experimente möglichst eindeutig und befolgen ganz bestimmte Regeln. So versuchen sie, Fehler zu vermeiden.

Im Alltag will man bekanntes Wissen dagegen oft nur darstellen anstatt es zu gewinnen. Dann reicht es aus, einen Vorgang nur vorzuführen z.B. schnellen Herzschlag bei körperlicher Bewegung. Der Vorgang muss dann nicht mehr untersucht werden, weil das Wissen darüber bereits vorhanden ist. In so einem Fall müssen die Regeln des Experimentierens nicht beachtet werden.

Fragen zum Text (s. Rückseite)

1. Welche Schwierigkeiten haben Biologen bei ihrer Arbeit?
2. Wie versuchen sie, diese Schwierigkeiten zu lösen?
3. Wie unterscheiden sich Experimente von Biologen und Experimente im Alltag?

Abbildung 10: Lückentext der Zelle 4

Die Fragen zum Text dienen der Sicherung des Inhalts des Lückentexts, um einer rein mechanischen Füllung der Textlücken entgegenzuwirken. Die Schüler erarbeiten sich dabei Wissen über den grundsätzlichen Unterschied direkter Beobachtung und indirekter Untersuchung eines Zusammenhangs in einem Experiment sowie die daraus resultierende potenzielle Unsicherheit naturwissenschaftlichen Wissens. Die Schüler lernen, dass methodische Regeln beim Experimentieren dem Zweck dienen, die Wissensgewinnung möglichst verlässlich zu gestalten, und dass Biologen dennoch stets einen kritischen Blick auf ihre Daten und Erkenntnisse bewahren müssen. Außerdem werden die Zielstellungen von Alltagsexperimenten und naturwissenschaftlichen Experimenten gegenübergestellt: Im Alltag und z.B. in der Schule dienen Experimente oft der Darstellung bekannten Wissens und zielen

als Demonstration auf das Erreichen eines bestimmten Effekts ab, der den Betrachtern dadurch verständlicher werden soll. In der Naturwissenschaft werden Experimente dagegen eingesetzt, um neues Wissen zu gewinnen. Ihr Ziel ist also nicht das Erreichen eines Effekts, sondern das eindeutige Untersuchen von Ursache-Wirkungsbeziehungen der daran beteiligten Variablen.

Nach der Bearbeitung des Lückentextes wissen die Schüler, dass für die gezielte Untersuchung von Naturvorgängen methodische Regeln zum Zwecke der Absicherung des gewonnenen Wissens notwendig sind, während die Darstellung bekannten Wissens solche Regeln nicht voraussetzt.

Nach dieser theoretischen Phase zum Experimentieren erfahren die Schüler in einem „Klatschexperiment“ spielerisch die praktische Umsetzung der gerade kennengelernten Aspekte. Dabei stellen vier freiwillige Schüler vier Faktoren in einem System dar, das ein bestimmtes Phänomen hervorbringt. Als analoges Beispiel aus der Biologie dient das Phänomen der Samenkeimung, das in einem System aus Erde, Wasser, Wärme und Licht beobachtet werden kann. Beim Klatschexperiment wird das Phänomen durch das Klatschen der Schüler symbolisiert, das theoretisch von jedem der vier Schüler herbeigeführt werden kann. Zur Vereinfachung der Spielsituation ist pro Spielrunde nur ein Schüler für das Klatschen verantwortlich²³. Aufgabe der Mitschüler ist es nun – wie bei einer experimentellen Untersuchung der kausalen Zusammenhänge der Samenkeimung – nach den Regeln der Variablenkontrolle herauszufinden, welcher Schüler das Klatschen verursacht. Dieser wird ausgewählt, indem die Testleiterin auf ihn zeigt. Um den Schülern den Unterschied zwischen direkter Beobachtung und indirekter Untersuchung erfahrbar zu machen, bestimmt die Testleiterin auf diese Weise zunächst unter Beobachtung aller Schüler einen Freiwilligen aus dem zu untersuchenden System. Nachdem der Schüler für die Beobachter sichtbar in die Hände geklatscht hat, fragt die Testleiterin die Schüler, wer wohl für das Klatschen verantwortlich gewesen ist. Es ist zu erwarten, dass diese Frage aufgrund der offensichtlichen Antwort eine Mischung von Heiterkeit und Ratlosigkeit bei den Schülern auslöst. Die Testleiterin löst nun auf, dass der bisherige Ablauf einer direkten Beobachtung glich, jedoch keinem Experiment. In einem zweiten Durchlauf drehen sich die Schüler des Plenums daher nun mit dem Rücken zu den Freiwilligen, bevor ein neuer Auslöser bestimmt wird. Nachdem dieser in die Hände geklatscht hat, werden die Schüler erneut nach ihrem Urteil und dessen Eindeutigkeit gefragt.

Es wird vermutet, dass sich die Schüler hierbei nicht auf einen einzigen Schüler einigen können, wodurch eine Diskussion darüber entstehen kann, welche Überlegung richtig ist. Nach dem Hinweis darauf, dass das System der vier Schüler wie in einem Experiment

²³ Damit stellt das Klatschexperiment eine starke Vereinfachung natürlicher Phänomene dar, die in den meisten Fällen von einem System von Faktoren beeinflusst werden. Zur Verdeutlichung der Variablenkontrolle ist diese Vereinfachung jedoch notwendig.

verändert werden kann, machen die Schüler Vorschläge für eine mögliche Untersuchung. Diese Phase des Klatschexperiments hängt stark von den Ideen der jeweiligen Schulklasse ab. Wenn die Schüler z.B. vorschlagen, beide als Urheber vermuteten Schüler aus dem System zu entfernen, wird das Experiment ohne diese Schüler erneut durchgeführt. Wenn das Klatschen dann ausbleibt, werden die Schüler erneut nach eindeutigen Schlussfolgerungen gefragt. Da die Schüler den Urheber immer noch nicht eindeutig benennen können, lernen sie die mangelnde Aussagefähigkeit konfundierter Experimente kennen. Die Schüler können das Experiment so lange durchführen, bis sie Meinung sind, dass der Schüler, der das Klatschen herbeigeführt hat, eindeutig bestimmt werden konnte. Durch die Erfahrung erfolgreicher und erfolgloser Untersuchungsstrategien beim Klatschexperiment können die Schüler negatives Wissen hinsichtlich der Variablenkontrolle und Konfundierung in Experimenten erwerben.

Zum Abschluss der Schulstunde werden die Erfahrungen der Schüler aus dem Klatschexperiment auf das Experimentieren in naturwissenschaftlichen Kontexten übertragen. Dazu werden anhand von Overheadfolien über Experimente zur Hefegärung die Variablenkontrolle und das Prinzip des Kontrollansatzes noch einmal verdeutlicht (Abb. 11) und einem konfundierten Experiment gegenübergestellt (Abb. 12).



Abbildung 11: Einführung von Variablenkontrolle und Kontrollansatz in Zelle 4

Das Experiment in Abb. 11 lässt eindeutige Schlussfolgerungen über die Relevanz des Faktors Salz zu, während das konfundierte Experiment in Abb. 12, in dem die Faktoren Salz und Wasser gleichzeitig variiert werden, keine eindeutigen Aussagen über die Notwendigkeit der Faktoren erlaubt. Die Darstellungen greifen die Erfahrungen mit konfundierten und unkundierten Untersuchungen, die die Schüler im Klatschexperiment gemacht haben, noch einmal auf. Dadurch soll ihr Verständnis der Bedeutung der Variablenkontrolle weiter unterstützt werden. Außerdem wird durch dieses Vorgehen sichergestellt, dass die Schüler aus der Spielphase nicht die erfolglosen Strategien, sondern die erfolgreichen Strategien als positives Wissen des Experimentierens übernehmen.

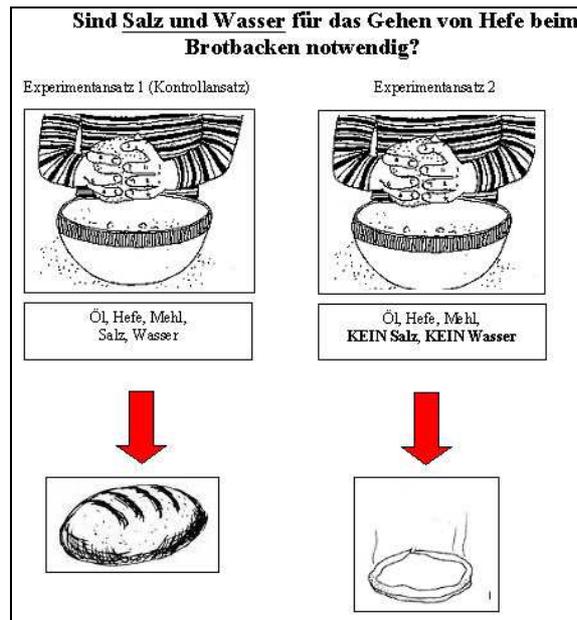


Abbildung 12: Einführung der Variablenkontrolle: konfundiertes Experiment

Am Ende dieser Schulstunden haben die Schüler die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes kennen gelernt und wissen um die eingeschränkte Aussagekraft von konfundierten Experimenten. Darüber hinaus können sie zwischen der Darstellung von Wissen, für die keine methodischen Regeln zu beachten sind, und der Wissensgewinnung durch Experimente unterscheiden.

2. Stunde

In der zweiten Interventionsstunde führen die Schüler ein Experiment praktisch durch, das ausdrücklich der Wissensgewinnung dient. Die Schüler werden darauf hingewiesen, dass sie selbst am Ende der Stunde entscheiden sollen, welches Wissen sie aus dem Experiment ableiten und es keine Auflösung durch die Testleiterin geben wird. Die Schüler werden dazu angehalten, aus diesem Grund möglichst sorgfältig zu arbeiten, damit sie am Ende kein unzutreffendes Wissen aus den Messergebnissen ableiten.

Hinsichtlich des Erwerbs von Methodenwissen bietet das Experiment den Schülern einerseits die Möglichkeit, die Aspekte der ersten Interventionsstunde über Variablenkontrolle und Kontrollansatz in einer Anwendungssituation zu betrachten, und zusätzliche Aspekte des Experimentierens, wie die Phasen des *inquiry cycles*, auf diese Art kennen zu lernen. Die Durchführung des Experiments ist den Schülern vollständig vorgegeben, d.h. sie erhalten eine ausführliche Experimentieranleitung, der sie genau folgen sollen. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die Schüler zu diesem frühen Zeitpunkt der Intervention ein methodisch einwandfreies Experiment erleben und dadurch eine bessere Vorstellung von der naturwissenschaftlichen Methode des Experimentierens erlangen können. Da die Schüler dieser Interventionszelle z.B. noch keine Kenntnisse über den typischen Ablauf des *inquiry*

cycles erworben haben, wird durch die detaillierte Anleitung auch ein hypothesengeleitetes Vorgehen gewährleistet. Die Anleitung dient den Schülern dabei gleichzeitig auch als Protokoll des Experiments, in das sie die Messergebnisse und Auswertungen eintragen können. In Abb. 13 ist die Experimentieranleitung der Schüler dargestellt:

Welche Faktoren haben einen Einfluss auf den Herzschlag, d.h. den Puls?

Fragestellung: Die Fragestellung legt fest, welche Faktoren untersucht werden sollen.

Ist der Puls von der Atmung abhängig, d.h. verändert sich der Herzschlag, wenn die Atmung sich ändert?

Hypothese: Die Hypothese ist eine begründete Vermutung über das Ergebnis des Experiments. Sie wird im Experiment überprüft, d.h. entweder bewiesen oder widerlegt.

- Die Atmung hat **einen** Einfluss auf den Pulsschlag
- Die Atmung hat **keinen** Einfluss auf den Pulsschlag.

Planung: Wie kann die gewählte Hypothese eindeutig überprüft werden?

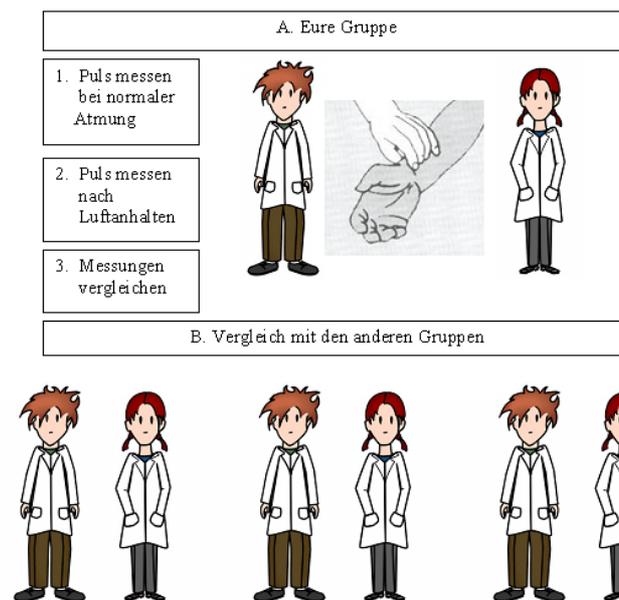


Abbildung 13: Experiment der zweiten Stunde in Zelle 4

Das biologische Thema des Experiments ist der menschliche Herzschlag. Ziel des Experiments ist eine Antwort auf die Frage, ob die Atmung den Herzschlag beeinflusst. Dazu wird untersucht, ob Luftanhalten den Herzschlag verändert, d.h. ob das Ausbleiben der Atmung eine Wirkung auf das Schlagen des Herzens ausübt. Durch das Experiment lernen die Schüler, eine Hypothese über den Ausgang des Experiments aufzustellen, die durch das Experiment überprüft werden kann. Dazu können die Schüler zwischen zwei vorgegebenen Hypothesenalternativen wählen, je nachdem ob sie einen Einfluss der Atmung vermuten oder nicht. Aufgrund der niedrigen Klassenstufe der Schüler handelt es sich bei den zur Auswahl stehenden Hypothesen im Gegensatz zu echten naturwissenschaftlichen Hypothesen lediglich

um einfache Aussagen über den erwarteten vorhandenen oder fehlenden Einfluss, ohne dass von den Schülern eine zugrunde gelegte Theorie explizit eingefordert wird. Im Unterrichtsgespräch äußern sich die Schüler jedoch über die konzeptuellen Gründe für ihre Hypothesenwahl.

Anschließend wird die Durchführung des Experiments einschließlich der Bedienung der Pulsmessgeräte mit den Schülern besprochen, bevor diese in Vierergruppen mit dem Experiment beginnen.

Aus den Messwerten der einzelnen Schüler werden in den Gruppen zunächst Mittelwerte gebildet, die anschließend im Plenum gesammelt und verglichen werden. Dazu stellen die Gruppen jeweils ihre Ergebnisse, d.h. das Gruppenurteil der Hypothesenüberprüfung vor und begründen ihre Entscheidung anhand ihrer Daten.

Im abschließenden Lehrer-Schüler-Gespräch suchen die Schüler eine biologische Begründung der Messergebnisse durch ihr Vorwissen zum menschlichen Blutkreislauf. Diese Phase wird durch die Testleiterin deutlich von der Wissensgewinnung aus dem Experiment abgegrenzt, um den Schülern den Unterschied zwischen der experimentellen Wissensgewinnung und vorwissensabhängiger Begründung experimenteller Ergebnisse deutlich zu machen.

In der zweiten Interventionsstunde haben die Schüler die praktische Anwendung der Prinzipien von Variablenkontrolle und Kontrollansatz bei der experimentellen Wissensgewinnung kennen gelernt und erfahren, dass man experimentelle Ergebnisse durch ein eindeutiges methodisches Vorgehen absichern muss.

3. Stunde

Die dritte Interventionsstunde dient der Wiederholung und Vertiefung der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes sowie deren Übung in Anwendungskontexten.

Zu Beginn der Stunde wird das Experiment der vorangegangenen Stunde wieder aufgegriffen, indem die Schüler entsprechend ihres Methodenwissens aus der ersten Interventionsstunde das Experiment aus einer methodischen Perspektive erneut betrachten. Dabei sollen sie nochmals die Eindeutigkeit der experimentellen Ergebnisse methodisch begründen und den Vermutungen über die biologischen Ursachen der Vorgänge gegenüberstellen. Der Unterschied zwischen der Darstellung bekannten Wissens und der Gewinnung neuen Wissens wird rekapituliert und dient als Ausgangspunkt für die weitere Betrachtung methodischer Fehler beim Experimentieren, die mithilfe von Overhead-Folien durchgeführt wird.

Neben den bereits in den Abbildungen 11 und 12 dargestellten Experimenten lernen die Schüler an dieser Stelle, dass ein Solitäransatz ohne Kontrollansatz nur zur gezielten

Darstellung eines Naturprozesses dienen kann, nicht aber zur Wissensgewinnung (Abbildung 14). Dazu wäre ein Vergleich von zwei Ansätzen, die sich nur in der Testvariable unterscheiden, notwendig. Durch diese Unterrichtsphase wird der Vergleichscharakter naturwissenschaftlicher Experimente betont.

**Ist Salz für das Gehen von Hefe beim Brotbacken
notwendig?**

Experimentansatz 1 (Kontrollansatz)



Öl, Wasser, Hefe, Mehl, Salz



Abbildung 14: Einführung Kontrollansatz: Solitäransatz

Die Abbildungen werden jeweils dazu genutzt, um die Auswirkungen und Bedeutung der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes für die Planung von Experimenten und die Auswertung der experimentellen Daten herauszustellen (vgl. Kapitel 2.1).

Nach der Gegenüberstellung von Fehlern beim naturwissenschaftlichen Experimentieren und naturwissenschaftlich adäquatem Vorgehen lernen die Schüler als letzten Aspekt des Methodenwissens die Anwendung der Variablenkontrolle auf mehrere Testfaktoren kennen (Abbildung 15): Sie erfahren, wie sie anhand einer kleinen Versuchsreihe aus zwei Experimentalansätzen und einem Kontrollansatz zwei Testfaktoren untersuchen können, ohne ein konfundiertes Experiment zu konstruieren. Dazu muss neben einem gemeinsamen Kontrollansatz je ein Experimentalansatz für die Untersuchung jedes Testfaktors eingeplant werden. Ein Experiment benötigt also mindestens einen Ansatz mehr, als Testfaktoren untersucht werden sollen.

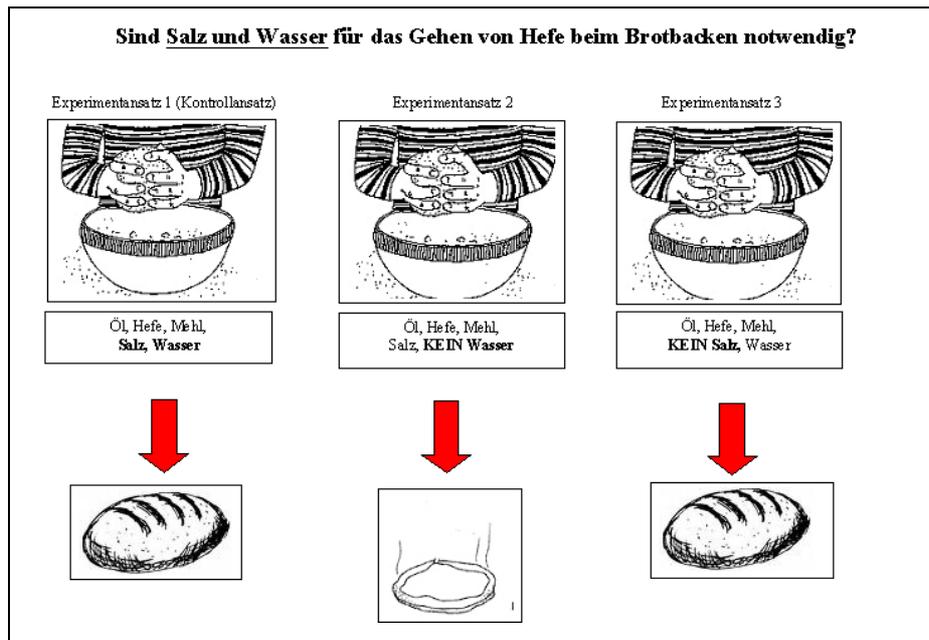


Abbildung 15: Einführung der Variablenkontrolle für zwei Testfaktoren

In der anschließenden Unterrichtsphase üben die Schüler in Partnerarbeit die Anwendung der methodischen Wissensinhalte. Dazu bearbeiten sie eine Aufgabe, in der ein konfundiertes Experiment mit zwei Testfaktoren dargestellt ist (s. Abbildung 16).

Frage: Beeinflussen Aufregung und Hunger den Herzschlag?

Hypothese: Aufregung und Hunger beeinflussen den Herzschlag.

Planung:

	Ansatz 1	Ansatz 2
Geschlecht	weiblich	weiblich
Alter	12	12
Stimmung	ruhig	aufgeregt (vor der Mathearbeit)
Hunger	satt	hungrig

Durchführung:

	↓	↓
Pulsmesswerte	84	102

Auswertung: Das Experiment beweist, dass Hunger und Aufregung den Herzschlag beschleunigt, weil mit Hunger und Aufregung bei Ansatz 2 höhere Pulswerte gemessen wurden als bei Ansatz 1 ohne Hunger und ohne Aufregung.

Abbildung 16: Übung zur Variablenkontrolle der Zelle 4

Die Schüler sind nun aufgefordert, einerseits die enthaltenen Fehler zu identifizieren und andererseits eine methodisch fehlerfreie Experimentplanung zur Untersuchung der beiden Testfaktoren aufzustellen. Außerdem sollen sie begründen, warum durch das von ihnen geplante Experiment – im Gegensatz zur gegebenen Planung – eindeutige Ergebnisse zu

gewinnen sind. Hierbei müssen sie das negative Wissen über Fehler beim Experimentieren und das positive Wissen über die Durchführung der Variablenkontrolle anwenden, und ihre Vorgehensweise zusätzlich reflektieren. Die Lösungen der Schüler werden anschließend im Plenum vorgestellt und diskutiert.

Nachdem die Schüler im Laufe der Intervention methodisches Wissen über die Planung von naturwissenschaftlichen Experimenten erworben haben, sind sie nun in der Lage, das Experiment der folgenden Interventionsstunde selbstständig zu planen. Dazu entscheiden sie im Plenum darüber, welches Experiment zum Einfluss körperlicher Bewegung auf den menschlichen Herzschlag sie in der kommenden Interventionsstunde durchführen wollen. Meistens haben die Schüler am Ende des sechsten Schuljahres diese Fragestellung im Biologieunterricht bereits untersucht, so dass es ihnen aufgrund ihres Vorwissens leicht fallen sollte, sich weiterführende Fragestellungen zu überlegen. Denkbar wären z.B. die Frage, wie sich unterschiedliche Bewegungsdauern auswirken, ob die Schnelligkeit der Bewegung einen Einfluss hat oder wie vermeintlich anstrengende Bewegung sich gegenüber vermeintlich weniger anstrengenden Bewegungen auswirken. Ziel ist es, dass sich die Schüler durch die Wahlfreiheit bei der Planung mit dem Experiment stärker identifizieren. Durch die Anwendung der Variablenkontrolle in dem von ihnen gewählten Kontext sollen die Schüler in ihrem Verständnis noch weiter gefördert werden.

Die Planung des Experiments wird im Plenum vorgenommen und von der Testleiterin auf einer Overhead-Folie festgehalten. Daraus wird eine Experimentieranleitung erstellt, deren Aufbau sich an der Anleitung des ersten Experiments orientiert und den Schülern in der vierten Interventionsstunde für die Durchführung des Experiments zur Verfügung steht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Schüler in der dritten Interventionsstunde naturwissenschaftliche und nicht naturwissenschaftliche Aspekte des Experimentierens kontrastierten und ihr Wissen über die Variablenkontrolle auf die Untersuchung von zwei Testfaktoren erweiterten. Außerdem lernten sie die Bedeutung der methodischen Regeln für die Planung und Auswertung von Experimenten kennen und übten die Anwendung des Methodenwissens beim selbständigen Planen von Experimenten.

4. Stunde

Nach dem die Schüler das von ihnen geplante Experiment durchgeführt haben, werden die Gruppenergebnisse verglichen und im Plenum diskutiert. Hierbei wird erneut Bezug zur Methode hergestellt, um den Schülern die methodische Begründung des Vorgehens noch einmal ins Bewusstsein zu rufen.

Zum Abschluss der Stunde und der Intervention wird der Bezug zum Rollenspiel der ersten Interventionsstunde hergestellt. Die Schüler werden aufgefordert, die gegensätzlichen

Positionen der Wissenschaftler anhand ihres gewonnenen Methodenwissens erneut zu bewerten. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Wissensaspekte der Intervention noch einmal von den Schülern zusammenfassen zu lassen und ihnen ihre individuelle Wissensentwicklung vor Augen zu führen.

Damit ist die Intervention in Zelle 4 der Studie beendet.

Wie beschrieben lässt sich der hier für die Zelle 4 dargestellte Interventionsablauf auch auf die anderen Zellen übertragen. Unterschiede kommen hauptsächlich durch die realisierten Wissensinhalte zustande²⁴.

3.4.3.5 Testung und Optimierung der Interventionen

Zur Optimierung der theoretischen Interventionsplanungen wurde eine Vorstudie durchgeführt, in der die Unterrichte der Zellen 2, 3 und 4 mit jeweils einer Klasse vorab getestet wurden. Ziel war es, die Eignung der Unterrichte für die Klassenstufe zu überprüfen und die aufgestellten Zeitpläne gegebenenfalls zu verbessern. Aufgrund organisatorischer Gegebenheiten konnte für die Zelle 1 keine Vorstudie durchgeführt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Erkenntnisse aus der Vorstudie auf die Zelle 1, in der ausschließlich methodisches Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vermittelt wurde, übertragen werden können.

Die Vorstudie (n = 72) ergab, dass sie die Unterrichtsgänge wie geplant durchführen lassen und dass sich insbesondere die Zeitpläne realistisch umsetzen lassen. Die Schüler folgten den Unterrichtsgängen gern und ließen sich besonders durch das Rollenspiel und die praktischen Experimente motivieren. Das Klatschexperiment eignete sich gut, um vor allem leistungsschwächeren Schülern spielerisch die abstrakten Merkmale von Experimenten zu verdeutlichen. Die Übertragung der Entscheidungsgewalt für das Thema des zweiten Experiments fand großen Anklang.

Zur deutlicheren Unterscheidung der Bedingungen in den verschiedenen Zellen wurden folgende Vorgehensweisen beschlossen: Bei Unterrichtsgängen, in denen kein epistemologisches Wissen vermittelt werden soll, muss darauf geachtet werden, dass auf „Warum-Fragen“ der Schüler nicht mit epistemologischen Begründungen zu antworten ist. Z.B. dürfen die Regeln der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes in den Zellen 1 und 3 nicht mit der Eindeutigkeit des Erkenntnisgewinnungsprozesses begründet werden, sondern müssen als Merkmale naturwissenschaftlicher Experimente herausgestellt werden.

²⁴ In einzelnen Fällen wird die Abfolge der Unterrichtsphasen innerhalb einer Schulstunde leicht variiert, wenn es sich für die Vermittlung der spezifischen Inhalte anbietet.

Bei Unterrichten, in denen kein negatives Wissen vermittelt werden soll, ist außerdem darauf zu achten, dass Fehler beim Experimentieren im Unterrichtsgang korrigiert, nicht aber zum expliziten Unterrichtsgegenstand gemacht werden, z.B. wenn Schüler ein konfundiertes Experiment planen.

Dagegen zeigte sich, dass Schüler der Unterstufe noch mehr Maßnahmen zur Strukturierung und Sicherung des Wissens benötigen als bis dahin eingeplant war. Für die Durchführung der Interventionen der Hauptstudie wurden daher zusätzliche Handouts eingeplant, auf denen die Experimente zur Hefegärung abgebildet sind, die sie auch im Unterricht kennen lernen. Für die Sammlung der Arbeitsbögen sollte jeder Schüler eine eigene Mappe ausgehändigt bekommen, die er als Nachschlagewerk über das Experimentieren auch über die Intervention hinaus gebrauchen könnte.

3.4.3.6 Durchführung der Interventionen

Die Interventionen wurden in der Hauptstudie wie geplant unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Vorstudie durchgeführt.

Ein Protokollbogen, der nach jeder Schulstunde durch die Testleiterin ausgefüllt wurde, sicherte die Dokumentation der Unterrichte. Darin wurden fehlende Schüler, besondere Vorkommnisse und in der jeweiligen Stunde nicht geschaffte Inhalte vermerkt. Letztere wurden gegebenenfalls in der folgenden Stunde nachgeholt. Hierbei handelte es sich nur um einzelne Wissensaspekte, so dass der generelle Ablauf der Intervention in keinem Fall betroffen war.

3.4.4 Erhebungsmethoden

Zur Untersuchung der Wirksamkeit der unabhängigen Variablen dieser Interventionsstudie wurden im Vortest und im Nachtest dreiteilige Tests durchgeführt deren einzelne Testteile in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt werden, und zwar

- der Test des Methodenwissens in Kapitel 3.4.4.1
- der Test des Epistemologiewissens in Kapitel 3.4.4.2
- der Test des Verständnisses des Experimentierens in Kapitel 3.4.4.3.

Es werden zunächst jeweils die Testentwicklungen im Rahmen der Vorstudie dargestellt, bevor die Itemanalysen der Testinstrumente anhand der Stichprobe der Hauptstudie erläutert werden.

Aufgrund der Anlage der Interventionsstudie im Vortest-Nachtest-Design besteht die Schwierigkeit, dass die Testinstrumente an zwei sehr unterschiedlichen Testzeitpunkten Wissen bzw. Verständnis erheben sollen: Einerseits soll mit ihnen das geringe Vorwissen der Schüler vor den Interventionen ermittelt werden und andererseits der vermutlich starke Wissenszuwachs der Schüler nach den Interventionen. Da Test- und Personenmerkmale in einer wechselseitigen Beziehung stehen (Killermann et al., 2005), können die Testinstrumente der vorliegenden Studie nicht für beide Testzeitpunkte gleich gut geeignet sein.

Für die Aufgabenstellung der Studie ist es entscheidend, das Methodenwissen zum Zeitpunkt des Nachtests aussagekräftig analysieren zu können, da erst das Wissen der Schüler nach der Intervention dem Ziel der Studie entsprechend Aussagen über die vermittelten Wissensarten zulässt. Daher wurden die Testinstrumente zunächst auf die Anforderungen der Nachtestsituation ausgerichtet. Erst zweitrangig sollen sich dieselben Testinstrumente auch für einen Einsatz als Vortest eignen. Aus diesem Grund entscheiden hauptsächlich die Ergebnisse der Itemanalysen der jeweiligen Nachtests über die qualitative Beurteilung der Testinstrumente.

3.4.4.1 Test zum Methodenwissen

Mit diesem Testinstrument soll das Methodenwissen der Schüler im Bereich des naturwissenschaftlichen Experimentierens ermittelt werden, und zwar vor allem hinsichtlich der im Fokus dieser Studie stehenden Aspekte der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes naturwissenschaftlicher Experimente, die dem Grundwissen über das Experimentieren zugeordnet werden. Das eingesetzte Testinstrument muss dabei sowohl das Vorwissen von Schülern der sechsten Klassenstufe als auch deren Wissensentwicklung durch die Intervention grundlegend abbilden können.

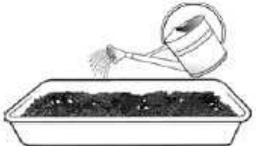
3.4.4.1.1 Testentwicklung

Hammann et al (2007) haben ein reliables Testinstrument (Cronbachs Alpha = .82) zur Messung von Kompetenzen beim naturwissenschaftlichen Experimentieren entwickelt, das für die 6. Klassenstufe besonders geeignet ist (Hammann et al., 2007) (vgl. Kapitel 2.1.5.2). Es handelt sich dabei um einen multiple choice-Test, mit dem Methodenwissen in den drei Dimensionen des naturwissenschaftlichen Experimentierens „Hypothesen aufstellen“, „Experimente planen“ und „Datenanalyse“ erhoben wird (vgl. Kapitel 2.1.5.1 (Klahr, 2000)). Die Antworten sind in einem partial credit- System zu bewerten, das den Vorteil bietet, dass zusätzlich zur sonst üblichen dualen Unterscheidung von richtigen und falschen multiple choice-Antworten auch eine Zwischenstufe von teilweise richtigen Antworten identifiziert werden kann, wodurch differenziertere Analysen möglich sind.

Abbildung 17 zeigt eine Aufgabe zum Aufstellen von Hypothesen aus der Unit „Samenkeimung“ des Tests von Hammann und Mitarbeitern (2007)²⁵.

Aufgabe 1
 Andreas macht ein Experiment zur Samenkeimung. Er verwendet dafür zwei Töpfe mit Erde. Er sät Bohnensamen in die Töpfe aus und sorgt dafür, dass beide Töpfe im Licht bei einer Temperatur von 22°C stehen. Topf 2 erhält kein Wasser (siehe Abbildungen).

Topf 1



**Erde / Wasser/
Licht / 22°C**

Topf 2



**Erde / kein Wasser/
Licht / 22°C**

Warum macht Andreas dieses Experiment?

A Weil er Samen dazu bringen will, schneller auszukeimen.
 B Weil er vermutet, dass Licht und Erde für die Samenkeimung notwendig sind.
 C Weil er vermutet, dass Wasser und Wärme für die Keimung notwendig sind.
 D Weil er vermutet, dass Wasser für die Samenkeimung notwendig ist.

Abbildung 17: Beispielaufgabe Hypothesen identifizieren (Hammann et al., 2007)

In der vorliegenden Studie wurden Aufgaben aus den Dimensionen „Hypothesen aufstellen“ und „Experimente planen“ eingesetzt. Aufgaben zur Datenanalyse wurden nicht verwendet, da die Dimensionen Hypothesen aufstellen und Datenanalyse hoch miteinander korrelieren (Korrelationskoeffizient 0,73) (Hammann et al., 2007). Es ist davon auszugehen, dass für die Beantwortung der Aufgaben dieser beiden Dimensionen ähnliches Methodenwissen notwendig ist. Um den Testumfang zu reduzieren wurde daher auf die Aufgaben zur Datenanalyse verzichtet.

In der Vorstudie dieser Untersuchung wurden 16 Aufgaben aus dem Test von Hammann und Mitarbeitern eingesetzt, und zwar jeweils zwei Aufgaben zum Hypothesen aufstellen und

²⁵ Die Konstruktionsmerkmale des Aufgabendesigns werden detailliert auf S. 88ff. vorgestellt.

Experimente planen aus den Units Samenkeimung, Kleine Küken, Brotbacken und Apfelwein.

Itemanalyse der Vorstudie

Bereits im Vortest der Vorstudie zeigte sich, dass die Kontrolle eines einzelnen Testfaktors für die Schüler der Stichprobe ($N = 73$) zu einfach war. Die Lösungswahrscheinlichkeiten der Aufgaben des Methodenwissenstests lagen bereits vor der Intervention bei durchschnittlich 80,1 %, wobei neun Aufgaben eine Lösungswahrscheinlichkeit über der Grenze von 80% aufwiesen²⁶. Das bedeutet, dass ein sogenannter Deckeneffekt eingetreten ist (Killermann et al., 2005), da die Mehrheit der Schüler bereits vor gezielter Vermittlung methodischen Wissens zum naturwissenschaftlichen Experimentieren zur Lösung der Aufgaben befähigt waren. Das Testinstrument ist damit nicht in der Lage, die Wissensunterschiede der Schüler abzubilden, sondern erfasst hauptsächlich das Wissen, das bei der Mehrheit der Schüler vorhanden ist. Dadurch ist der Test von Hammann et al. (2007) trotz guter Reliabilität (Cronbachs Alpha = .82) nicht geeignet, den erwarteten Wissenszuwachs der Schüler nach der Intervention abzubilden. Aus diesem Grund wurde das Testinstrument weiterentwickelt. Ziel war es, die Aufgabenschwierigkeit der Items so zu steigern, dass sich die Lösungswahrscheinlichkeiten zu beiden Testzeitpunkten, also bei der Messung des Vorwissens und des vermittelten Methodenwissens, innerhalb des 20-80%-Intervalls bewegen. Nur dann ist eine differenzierte Auswertung der Wissensunterschiede der Schüler möglich.

Das veränderte Testinstrument wurde bereits im Nachtest der Vorstudie eingesetzt. Die multiple choice-Aufgaben wurden dazu in Anlehnung an eine frühere Testversion der Arbeitsgruppe von Hammann (Version 2 des Tests; Hammann et al. (2007)) weiterentwickelt: Die Komplexität der Aufgaben wurde dadurch gesteigert, dass in den Experimenten nicht mehr nur ein, sondern zwei Testfaktoren untersucht werden. Die Schüler müssen also z.B. bei den Aufgaben zum Planen von Experimenten zwei Faktoren kontrollieren. Zusätzlich wurden die multiple choice-Antworten dahingehend verändert, dass sie Wissensaspekte der Variablenkontrolle umfassender abbilden und zusätzliche Aussagen über das Wissen der Schüler in diesem Bereich zulassen. Die Konstruktionsprinzipien der neuen Aufgaben werden im Folgenden für beide Aufgabentypen im Detail vorgestellt.

Hypothesen identifizieren

Bei diesem Aufgabentyp wird das Wissen über Variablenkontrolle und Kontrollansatz dadurch operationalisiert, dass einem gegebenen Experiment die Hypothese zugeordnet werden soll, die durch die abgebildeten Experimentansätze überprüft werden kann. In den Aufgaben wird dazu jeweils ein Experiment aus drei Ansätzen eines fiktiven Schülers

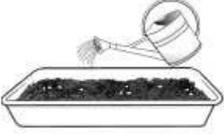
²⁶ Detaillierte Angaben zu den Grundsätzen der Itemanalyse werden bei der Darstellung der Hauptstudie vorgenommen.

beschrieben. Auf eine verbale folgt hierbei eine bildliche Darstellung der Ansätze des Experiments (s. Abbildung 18). Bei den Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen sind die Schüler nun aufgefordert, aus vier möglichen Alternativen die dem Experiment zugrunde liegende Hypothese auszuwählen. Aufgrund der Altersklasse der Teilnehmer handelt es sich bei den Antwortmöglichkeiten nicht um naturwissenschaftliche Hypothesen im engen Sinne, da z.B. keine Anbindungen an naturwissenschaftliche Theorien vorgenommen werden. Die Hypothesen werden stattdessen als unbegründete Vermutungen über die Wirksamkeit von Testfaktoren dargestellt. Dadurch steht in der Aufgabe nicht das Wissen um die Formulierung von Hypothesen, sondern das zur Aufstellung notwendige Wissen über Testfaktoren, Variablenkontrolle und Kontrollansatz im Mittelpunkt.

Abbildung 18 zeigt ein Aufgabenbeispiel aus der Einheit Samenkeimung.

Aufgabe 1
Jan macht ein Experiment zur Samenkeimung. Er verwendet dafür drei Töpfe mit Erde. Er sät in die Töpfe Bohnensamen aus und stellt sie ins Licht. Topf 1 und 3 werden gewässert, Topf 2 jedoch nicht. Außerdem sorgt Jan bei Topf 1 und 2 für eine Temperatur von 22°C, bei Topf 3 sind es 10°C.

Topf 1



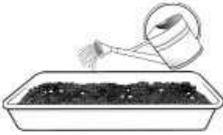
Erde / Wasser/
Licht/ 22°C

Topf 2



Erde / kein Wasser/
Licht/ 22°C

Topf 3



Erde / Wasser/
Licht/ 10°C

Warum macht Jan dieses Experiment?

- A Weil er vermutet, dass Wärme und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.
- B Weil er vermutet, dass Wärme und Wasser für die Samenkeimung notwendig sind.
- C Weil er die Samen dazu bringen will, schneller auszukeimen.
- D Weil er vermutet, dass Wasser und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.

Abbildung 18: Aufgabenbeispiel Hypothesen identifizieren

In dem in der Aufgabe dargestellten Experiment werden ausgehend von Topf 1, in dem alle vier Faktoren vorhanden sind, die Faktoren Wasser (in Topf 2) und Wärme (in Topf 3) kontrolliert variiert, d.h. das Experiment folgt der naturwissenschaftlichen Methode entsprechend den Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes. Es ist geeignet, die Wirkung der Faktoren Wärme und Wasser eindeutig zu untersuchen. Antwort B enthält demnach die durch das Experiment untersuchte Hypothese. Schüler, die diese Antwort wählen, sind in der Lage, ein Experiment hinsichtlich der darin kontrolliert untersuchten Testfaktoren richtig zu interpretieren.

Die Hypothesen in den Antworten A und D enthalten dagegen jeweils nur eine der untersuchten Testvariablen und zusätzlich mit dem Faktor Licht eine nicht untersuchte Variable. Schüler, die diese Antworten wählen, sind nur teilweise zur Identifikation von Testfaktoren eines Experiments in der Lage.

Im Unterschied zu den anderen Antworten stellt die Aussage in Antwort C keinerlei naturwissenschaftliche Hypothese dar, sondern bezieht sich auf ein nicht wissenschaftliches Ziel des Experimentierens, nämlich das Erreichen des im Experiment untersuchten Effekts. Schülern, die diese Antwort als Hypothese des Experiments auswählen, mangelt es offensichtlich bereits an grundlegendem Wissen über die Zielstellung von naturwissenschaftlichen Experimenten und über die Bedeutung von Testfaktoren. Damit fehlt eine wichtige Grundlage zum Verständnis der Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes.

Bei der Testauswertung bilden die drei beschriebenen Antwortkategorien bei den Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen die Stufen richtiger, halb richtiger und falscher Antworten des partial credit-Systems (vgl. Tabelle 4).

Experimente planen

Bei den Aufgaben zum Planen von Experimenten wird ein experimentelles Vorhaben inklusive der zu untersuchenden Hypothese verbal vorgestellt. Aufgabe der Schüler ist es, aus vier Experimentplanungen diejenige auszuwählen, die zur Überprüfung der gegebenen Hypothese, d.h. zur Untersuchung der angegebenen Testfaktoren geeignet ist.

Abbildung 19 zeigt ein Item aus der Unit Samenkeimung zum Planen von Experimenten.

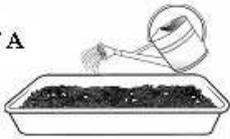
Luis möchte untersuchen, wie wichtig **Wasser** und **Licht** für die Samenkeimung sind. Er vermutet, dass Samen Wasser brauchen um zu keimen und dass sie Licht brauchen um zu keimen.

Er plant ein Experiment, um diese Vermutungen zu überprüfen.

Er legt Bohnensamen in einen Topf mit Erde, gießt sie regelmäßig und sorgt für eine Temperatur von 22 °C und Licht.

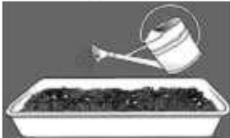
Luis hat noch weitere Töpfe, die er mit Topf A vergleichen kann.

Topf A



**Erde /Wasser
Licht/ 22°C**

Topf 1



**Erde / Wasser
kein Licht/ 22°C**

Topf 2



**Erde/kein Wasser
kein Licht/ 22°C**

Topf 3



**Keine Erde / kein Wasser
kein Licht/ 10°C**

Topf 4



**Erde / Kein Wasser/
Licht/ 22°C**

Womit muss Luis Topf A vergleichen, um seine Vermutung zu überprüfen?

A Topf 1 und 4

B Topf 1, 2 und 4

C Topf 2

D Topf 3

Abbildung 19: Aufgabenbeispiel Experimente planen

Die multiple choice-Antworten, aus denen die Schüler auswählen können, folgen wie bei den Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen einem System von richtigen, halb richtigen und falschen Antworten (vgl. Tabelle 4).

In dem Aufgabenbeispiel in Abbildung 19 ist Antwort A die richtige Antwort, da die Ansätze Topf 1 und Topf 4 zusammen mit dem vorgegebenen Kontrollansatz Topf A zur eindeutigen Überprüfung der Wirksamkeit der Faktoren Wasser und Licht geeignet sind.

Im Gegensatz dazu sind die Antworten B und C nur teilweise richtig. Das in Antwort C vorgeschlagene Experiment untersucht zwar die Testfaktoren, führt jedoch zu deren konfundierten Untersuchung, da sich Topf A und Topf 2 in den Faktoren Licht und Wasser gleichzeitig unterscheiden. Das Experiment, das durch Antwort B aufgestellt wird, enthält dagegen die drei notwendigen Ansätze, die auch in der richtigen Antwort A enthalten sind. Zusätzlich wird bei diesem Experiment aber auch ein Ansatz eingeplant, in dem beide Faktoren gleichzeitig variiert, d.h. ausgelassen werden. Dieser Ansatz wird im Folgenden als negative Kontrolle bezeichnet, da ihm die Logik zugrunde liegt, dass aus der gleichzeitigen Abwesenheit der Testfaktoren Wissen gewonnen werden kann, das über die Untersuchung der einzelnen Faktoren hinausgeht. Diese Experimentplanung stellt also eine Kombination eines richtigen und eines konfundierten Experiments dar. Obwohl es natürlich möglich ist, aus dem nicht konfundierten Teil des Experiments eindeutige Schlussfolgerungen über die Wirksamkeit der Faktoren zu ziehen, ist diese Art der Experimentplanung aufgrund der Aufgabenstellung nur halb richtig, weil sie mit der negativen Kontrolle einen überflüssigen Ansatz enthält, in der Aufgabenstellung jedoch nach den notwendigen Ansätzen gefragt wird. Darüber hinaus entspricht solches Vorgehen nicht dem naturwissenschaftlichen Grundsatz der Sparsamkeit, der unnötige Ressourcenbindung untersagt (Rubba & Andersen, 1978).

Als falsch werden dagegen Antworten gewertet, die aus sogenannten change-all-Ansätzen bestehen (Antwort D). Dabei werden zwischen den beiden Ansätzen des Experiments alle Faktoren variiert – unabhängig davon, ob es sich bei ihnen um Testfaktoren oder nicht getestete Faktoren handelt. Dies ist bei dem Kontrollansatz Topf A und Topf 3 der Fall. Diese Art des Vorgehens unterscheidet sich von einem konfundierten Experiment in der Gleichbehandlung von Testfaktoren und nicht getesteten Faktoren, die Unwissen über die grundlegende Verschiedenheit von Testfaktoren und anderen Faktoren in naturwissenschaftlichen Experimenten offen legt (vgl. Kapitel 2.1.7.2).

Eine Variation des Aufgabenformats beim Planen von Experimenten besteht darin, dass in der Hälfte der eingesetzten Aufgaben der Kontrollansatz nicht in der Aufgabenstellung, sondern in der Ansatzauswahl angegeben ist. Die Antwortkategorien entsprechen den oben beschriebenen Kategorien.

In beiden Aufgabentypen des Testinstruments wird das gleiche Methodenwissen operationalisiert, nämlich Wissen über die Variablenkontrolle und über die Berücksichtigung eines Kontrollansatzes in naturwissenschaftlichen Experimenten. Die Schüler sind aufgefordert, dieses Wissen von zwei unterschiedlichen Perspektiven aus darzustellen, nämlich zum einen mit dem Blick von einer Experimentplanung auf die Hypothese und zum

anderen von der Hypothese auf die anschließende Planung des Experiments. Mit diesem Perspektivwechsel ändert sich auch die Komplexität der Wissensdarstellung: Bei den Hypothesen-Aufgaben ist den Schülern ein naturwissenschaftliches Experiment vorgegeben, das nach Grundsätzen der naturwissenschaftlichen Methode des Experimentierens geplant wurde. Dieses Experiment enthält im naturwissenschaftlichen Sinn also keine Fehler, sondern muss von den Schülern nachvollzogen und hinsichtlich der untersuchten Hypothese interpretiert werden. Die Leistung der Schüler besteht bei diesen Aufgaben darin, zwischen gegebenen richtigen und falschen Hypothesen mithilfe ihres Methodenwissens differenzieren zu können.

Bei den Planungsaufgaben sind den Schülern dagegen sowohl naturwissenschaftlich geplante als auch unwissenschaftliche Experimente zur Auswahl gestellt, aus denen die Schüler das geeignete Experiment auswählen sollen. Zur Unterscheidung der Experimente ist ein umfassenderes Methodenwissen notwendig. Darüber hinaus ist diese Art der Aufgabenstellung auch insofern anspruchsvoller, als sie in gewissem Maße auch eine Anwendung des Methodenwissens erfordert, wenn die Schüler nämlich das geforderte Experiment gedanklich selbst planen, um zur Aufgabenlösung zu gelangen. Im Unterschied zu den Planungsaufgaben im Verständnistest (s. Kapitel 3.4.4.3) ist hier das Wissen jedoch in den multiple choice-Antworten bereits enthalten, so dass eine Zuordnung dieses Aufgabentyps zum Wissenstest dennoch gerechtfertigt scheint. Eine echte Anwendung des Wissens ist durch noch stärkere Eigenständigkeit und Komplexität gekennzeichnet.

Im Nachtest der Vorstudie wies das weiter entwickelte Testinstrument eine durchschnittliche Lösungswahrscheinlichkeit von 64,8% bei einer guten Reliabilität (Cronbachs Alpha = .75) auf ($N = 72$)²⁷. Da den Schülern zu diesem Zeitpunkt durch die Interventionen das Wissen über die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes, das zur Lösung der Testaufgaben notwendig ist, gezielt vermittelt wurde, gleichzeitig aber keine Deckeneffekte der Lösungswahrscheinlichkeiten eintraten, ist das weiterentwickelte Testinstrument für den Einsatz in der Hauptstudie zur Messung der Wissensentwicklung der Schüler geeignet.

Da die Items der Unit Brotbacken im Nachtest geringe Trennschärfen von unter 0,20 aufwiesen, sollte diese Unit in der Hauptstudie nicht weiter eingesetzt werden. Stattdessen wurde die Unit Fischatmung aus Version 2 von Hammann et al. (2007) entsprechend der bereits beschriebenen Grundsätze für den Einsatz in der Hauptstudie weiterentwickelt. Die Auswahl der Unit wurde aufgrund der Reliabilität der Unit vorgenommen, die bereits bei einer Skalenlänge von nur acht Items eine Reliabilität von .54 aufwies. Aufgrund der Weiterentwicklung der Aufgaben konnte eine weitere Steigerung der Reliabilitäten in der Hauptstudie erwartet werden.

²⁷ Detailliertere Angaben zu den Grundsätzen der Itemanalyse werden bei der Vorstellung der Hauptstudie vorgenommen.

3.4.4.1.2 Itemanalyse der Hauptstudie

Um die Qualität des eingesetzten Testinstruments (s. Anhang A1) anhand der Stichprobe der Hauptstudie zu überprüfen bzw. zu optimieren, wurde eine Itemanalyse durchgeführt, um die Aufgaben, die nicht für die Analyse des Wissens der Schüler geeignet sind, zu eliminieren. Dadurch wurde das Testinstrument auf die aktuelle Stichprobe geeicht (Bortz, 1999; Killermann et al., 2005). Es wurden in einem ersten Schritt die Schülerantworten im beschriebenen partial credit-System kodiert. In der anschließenden Itemanalyse wurden die Lösungswahrscheinlichkeiten der Einzelitems als Maß der Itemschwierigkeit und die Trennschärfen als Maß der Differenzierungsfähigkeit der Items sowie die Reliabilität der Gesamtskala berechnet.

Kodierung

Die multiple choice-Antworten der Schüler wurden mithilfe des bereits beschriebenen partial credit-Systems bewertet, bei dem die vier Antwortmöglichkeiten in vollständig gelöste (2 Punkte), teilweise gelöste (1 Punkt) und nicht gelöste (0 Punkte) Antworten eingeteilt werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über das Kodierungssystem des Methodentests:

Tabelle 4: Kodierungssystem des Methodentests

	Hypothesen identifizieren	Experimente planen
vollständig gelöst (2 Punkte)	beide Variablen richtig identifiziert	richtige Ansatzkombination
teilweise gelöst (1 Punkt)	eine Variable richtig und eine falsch identifiziert	konfundierte Ansätze bzw. unkonfundierte und konfundierte Ansätze (negative Kontrolle)
nicht gelöst (0 Punkte)	Fokus auf Effekt statt Variablen	<i>change all</i> -Ansätze

Eine Faktorenanalyse mit vorgegebener zwei-Faktoren-Lösung bestätigte die theoretische Testkonstruktion: Die Items zur Identifizierung von Hypothesen und zur Planung von Experimenten laden jeweils auf distinkte Faktoren, die im Vortest 30,24 %, im Nachtest für 42,60 % und in beiden Tests zusammen 27,67% der Varianz aufklären. Daher können die inhaltlichen Analysen der Testergebnisse für beide Subskalen („Identifizieren von Hypothesen“ und „Experimente planen“) auch getrennt voneinander durchgeführt und interpretiert werden.

Auswahl der Aufgaben: Aufgabenschwierigkeit und Trennschärfe

Für alle Aufgaben des Methodenwissenstests wurden die Aufgabenschwierigkeiten und die Trennschärfen bestimmt, um zu schwierige und zu leichte Aufgaben bzw. Aufgaben, die wegen geringer Trennschärfe nicht ausreichend zwischen guten und schlechten Schülern differenzieren können, auszuschließen (Bortz, 1999). Durch die Selektion geeigneter

Aufgaben wird gewährleistet, dass das erhobene Methodenwissen der Schüler, im Anschluss inhaltlich analysiert werden kann.

Wie beschrieben wird die Auswahl der Aufgaben zunächst anhand der Nachtsterggebnisse vorgenommen und erst anschließend auf den Vortest übertragen. Ausschlusskriterien der Aufgaben sollen übliche Grenzwerte sein, d.h. Trennschärfen unter 0,20 und Lösungswahrscheinlichkeiten außerhalb des 20-80%-Intervalls (Lienert & Raatz, 1998). Reliabilitäten über .70 gelten außerdem als ausreichend gut für inhaltliche Auswertungen von Tests (Moosbrugger & Keleva, 2007).

Aufgrund der Analyse der Lösungswahrscheinlichkeiten und Trennschärfen fand je ein Item der Skalen „Hypothesen identifizieren“ und „Experimente planen“ bei den weiteren Auswertungen keine Berücksichtigung: Das Item Samenkeimung 1 wies im Nachttest mit 81,9 % eine etwas zu hohe Lösungswahrscheinlichkeit auf und wurde daher aus dem Test eliminiert (s. Anhang C1). Obwohl sich die übrigen Items für den Messzeitpunkt des Nachttests als geeignet darstellten, soll auch das Item Samenkeimung 2 für die inhaltlichen Analysen des Methodenwissens ausgeschlossen werden, da es im Vortest eine deutlich zu geringe Trennschärfe aufwies (s. Anhang C1).

In Tabelle 5 und 6 sind die Trennschärfen und Lösungswahrscheinlichkeiten der verbleibenden 14 Items dargestellt:

Die Reliabilitäten der Subskalen sind wie erwartet im Vortest geringer als im Nachttest. Im Nachttest werden dabei gute Reliabilitäten erreicht (Cronbachs Alpha = .803 bzw. .752). Bei Betrachtung beider Subskalen als einheitliches Konstrukt ergibt sich im Nachttest eine ebenfalls gute Gesamtreliabilität von .79. Im Vortest ist die Reliabilität dagegen schwächer (Cronbachs Alpha = .683 bzw. .602). Aufgrund des geringen Vorwissens der Schüler vor den Interventionen wurden im Vortest offensichtlich Antworten häufiger erraten, wodurch die Reliabilität vermindert wurde. Im Nachttest erlaubte das erworbene Methodenwissen den Schülern eine gezieltere Beantwortung der Aufgaben, so dass die Reliabilität stieg. Wie beschrieben wird die Vortest-Reliabilität für die weiteren Auswertungen akzeptiert, da sich die inhaltlichen Analysen weitgehend auf den Nachttest stützen. Die 14 verbleibenden Items des Methodenwissenstests sollen daher für die Analysen des Methodenwissens bzw. der Subskalen „Hypothesen identifizieren“ und „Experimente planen“ im Ergebnisteil dieser Studie herangezogen werden.

Tabelle 5: Itemanalyse des Methodentests: Subskala „Identifizieren von Hypothesen“ (S = Samenkeimung, K = Küken, F = Fischatmung, A = Apfelwein)

Items „Identifizieren von Hypothesen“	Nachttest			Vortest		
	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Cronbachs Alpha, wenn Item weglassen	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Cronbachs Alpha, wenn Item weglassen
S3	78,8	,571	.774	46,9	,442	.637
K1	79,9	,583	.769	66,7	,264	.691
K3	69,9	,590	.767	48,1	,544	.605
F1	77,8	,481	.787	54,9	,373	.656
F3	71,2	,705	.743	61,3	,472	.625
A1	73,9	,274	.818	65,3	,252	.685
A3	70,4	,558	.773	60,4	,435	.637
Cronbachs Alpha	.803			.683		

Tabelle 6: Itemanalyse des Methodentests: Subskala „Planen von Experimenten“ (S = Samenkeimung, K = Küken, F = Fischatmung, A = Apfelwein)

Items „Planen von Experimenten“	Nachttest			Vortest		
	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Cronbachs Alpha, wenn Item weglassen	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Cronbachs Alpha, wenn Item weglassen
S4	47,5	,405	.734	30,5	,286	.575
K2	28,1	,337	.751	10,8	,313	.567
K4	33,0	,593	.691	22,5	,364	.548
F2	24,3	,507	.714	20,8	,273	.580
F4	32,3	,557	.702	24,1	,372	.544
A2	34,7	,340	.749	20,3	,337	.557
A4	33,6	,549	.703	24,1	,282	.577
Cronbachs Alpha	.752			.602		

3.4.4.2 Test zum Epistemologiewissen

Der Test zum Epistemologiewissen erhebt auf einer metakognitiven Ebene das Wissen der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren. In der vorliegenden Studie soll also nicht das epistemologische Wissen über die Naturwissenschaften im Ganzen gemessen werden, sondern nur der Teil, der sich auf die experimentelle Erkenntnisgewinnung bezieht (vgl. Epistemologie Kapitel 2.1.3). Für eine solche Wissenserhebung wurden bislang keine geeigneten Testinstrumente entwickelt²⁸. Vorhandene Testinstrumente beinhalten entweder

²⁸ Einen umfassenden Überblick über Testinstrumente in diesem Bereich bietet Ledermann (1998).

andere Aspekte der Epistemologie oder des NOS-Wissens²⁹ oder sind aufgrund des Testformats nur für kleine Stichproben geeignet³⁰. Darüber hinaus sind Testinstrumente zum Epistemologiewissen im Allgemeinen auf ältere Schüler in der Mittel- oder Oberstufe ausgerichtet und für Schüler der 6. Klassenstufe ungeeignet³¹.

Aus diesen Gründen musste ein Testinstrument entwickelt werden, das die Erhebung des für die vorliegende Studie relevanten epistemologischen Wissens über das naturwissenschaftliche Experimentieren ermöglicht. Dabei war zu berücksichtigen, dass die Fähigkeit zum abstrakten Denken, die bei der Betrachtung epistemologischer Aspekte aufgrund dessen metakognitiven Charakters eine Rolle spielt, in der untersuchten Altersklasse (6. Klasse) eventuell noch wenig ausgeprägt ist (Häußler et al., 1998). Aus diesem Grund wurde bei der Testentwicklung der Abstraktionsgrad der Aufgabenstellungen möglichst gering gehalten und das Epistemologiewissen – soweit möglich – konkret an experimentellen Situationen thematisiert. Dadurch sollte verhindert werden, dass eventuell vorhandenes epistemologisches Wissen durch den Abstraktionsgrad der Aufgabenstellungen und damit aufgrund fehlender entwicklungspsychologischer Voraussetzungen der Schüler verborgen bleibt.

In den folgenden Kapiteln werden Itemanalysen für verschiedene Testversionen dargestellt. Bei der Vorstellung der Testentwicklung wird dabei eine verkürzte Vorstellung gewählt, z.B. ohne ausführliche Beschreibung des Scorings. Die vollständige Darstellung wird bei der Endversion der Hauptstudie angeführt und ist auf die Analysen der Vorstudie übertragbar.

3.4.4.2.1 Testentwicklung

Die Schwierigkeit bei der Entwicklung eines neuen Testinstruments besteht darin, eine Reliabilität zu erreichen, die inhaltliche Auswertungen der Schülerantworten erlaubt. Gerade beim Testen von epistemologischen Wissen und Einstellungen sind niedrige Reliabilitäten ein bekanntes Problem (Lederman et al., 1998), dem bislang noch nicht wirkungsvoll begegnet werden konnte. Im Kontext dieser Studie ergibt sich wie beschrieben eine zusätzliche Schwierigkeit dadurch, dass das Testinstrument für die Erhebung von zwei sehr unterschiedlichen Wissenszuständen geeignet sein soll. Da Epistemologiewissen im Biologieunterricht normalerweise keine oder eine sehr geringe Rolle spielt (Chinn & Malhotra, 2002b), ist damit zu rechnen, dass die Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten im Bereich des Epistemologiewissens besonders groß ausfallen und eine Eignung der Testinstrumente für beide Testzeitpunkte noch schwieriger ist.

²⁹ z.B. Modified Nature of Scientific Knowledge Scale (Meichtry, 1992), bei dem u.a. die Kreativität des Erkenntnisprozesses betont wird

³⁰ z.B. Interview-Leitfaden von Carey et al. (1989)

³¹ z.B. Nature of Science Survey für die Oberstufe (Lederman et al., 1998)

Für die Aufgaben des Tests des Epistemologiewissens der Schüler wurde ein complex multiple choice-Antwortformat gewählt, das eine differenziertere und variabelere Betrachtung des vermutlich sehr unterschiedlichen Wissens der Schüler erlaubt. Daher scheint es für die Erhebung des epistemologischen Wissens besser geeignet als andere Antwortformate.

Ergebnisse der Vorstudien

In der ersten Version des Epistemologiewissenstests wurden elf Aufgaben zur Erhebung des Epistemologiewissens der Schüler entwickelt. Dabei fanden epistemologische Inhalte Berücksichtigung, für die ein Zusammenhang zu methodischen Fähigkeiten beim Experimentieren bekannt ist. Dies ist im Besonderen Wissen über die Ziele naturwissenschaftlicher Experimente (z.B. Carey et al., 1989; z.B. Sandoval & Reiser, 2004), die Veränderlichkeit und Unsicherheit von naturwissenschaftlichem Wissen (Sandoval & Reiser, 2004) und die Bedeutung erwarteter bzw. unerwarteter experimenteller Ergebnisse (Chinn & Brewer, 1998).

In Abbildung 20 ist als Beispiel eine Aufgabe der ersten Version des Epistemologiewissenstest dargestellt, in der die Bedeutung experimenteller Daten thematisiert wird.

Jede Aufgabe des Tests besteht aus fünf Aussagen zu einer Frage über das naturwissenschaftliche Experimentieren, die als einzelne Items betrachtet werden können. Bei jedem Item soll die gegebene Aussage von den Schülern hinsichtlich ihrer Richtigkeit im Sinne der naturwissenschaftlichen Epistemologie beurteilt werden.

(6) Was wissen Biologen, wenn ein Experiment erwartete Ergebnisse bringt?

Aussage	Ja oder Nein?
Sie haben keine Fehler bei der Durchführung des Experiments gemacht.	Ja/Nein
Sie haben die Möglichkeit, aus dem Experiment neues Wissen zu gewinnen.	Ja/Nein
Sie haben die besten Ergebnisse aus dem Experiment ausgewählt.	Ja/Nein
Sie müssen ein weiteres Experiment machen, das neues Wissen bringt.	Ja/Nein
Sie brauchen das Experiment nicht zu verändern, weil es gut funktioniert.	Ja/Nein

Abbildung 20 Beispielaufgabe aus der ersten Version des Epistemologietests

Das entwickelte Testinstrument wurde in der Vorstudie (N = 72) im Vor- und Nachtest eingesetzt. In der anschließenden Itemanalyse wurden die Trennschärfen und die Lösungswahrscheinlichkeiten auf Aufgabenebene analysiert, um die Qualität des Epistemologiewissenstests zu beurteilen. Hierfür galten die gleichen Gütekriterien wie für den Methodentest (s. S. 94). Aufgaben, die diese Kriterien nicht erfüllten, wurden nur dann eingesetzt, wenn inhaltliche Gründe das Beibehalten der Items erforderten.

Die Itemanalyse ergab im Nachtest eine fast zufrieden stellende Reliabilität von .69, im Vortest konnte dagegen nur eine Reliabilität von .53 erreicht werden. Diese Ergebnisse bestätigen die Literatur zu Testinstrumenten zur Messung von NOS- und epistemologischem Wissen, in der generell das Problem geringer Reliabilitäten dargestellt wird (Lederman et al., 1998). Meichtry (1992) führt die geringe Reliabilität in ihrem renommierten Testinstrument (MNSKS-Test) auf das junge Alter der Probanden zurück (6. Klasse), das dem Alter der vorliegenden Stichprobe entspricht. Eine Reliabilität von .69 im Nachtest kann daher für das hier konstruierte Testinstrument akzeptiert werden. Die Steigerung der Reliabilität zwischen Vor- und Nachtest bestätigt die Erwartung, dass eine verlässliche Messung epistemologischen Wissens erst nach der Intervention möglich ist. Im Vortest mussten die Schüler aufgrund mangelnden Wissens Antworten offensichtlich häufiger erraten, wodurch die Reliabilität niedriger ausfällt. Dementsprechend liegt die mittlere Lösungswahrscheinlichkeit der Aufgaben im Vortest bei 59,38%, im Nachtest jedoch bei 68,68%. Aus diesem Grund ist auch beim Epistemologiewissenstest die Itemanalyse des Nachtests jeweils ausschlaggebend für die Beurteilung der Skalenqualität.

Aufgrund der Ergebnisse der Itemanalyse wurden drei Aufgaben der ersten Version des Epistemologietests in der Studie nicht weiter verwendet (e2, e9 und e10, s. Anhang C2.1). Sie wiesen Lösungswahrscheinlichkeiten von über 70% bereits im Vortest auf, so dass mit Deckeneffekten beim Einsatz dieser Aufgaben zu rechnen war. Zwei weitere Aufgaben mit hoher Lösungswahrscheinlichkeit (e3 und e4) wurde dagegen aufgrund inhaltlicher Notwendigkeit beibehalten, da es mit der Veränderlichkeit naturwissenschaftlichen Wissens einen zentralen Aspekt des Epistemologiewissens thematisierte.

Aufgrund geringer Trennschärfen mussten keine weiteren Aufgaben aus dem Test entfernt werden. Eine Aufgabe wies zwar auch im Nachtest eine Trennschärfe von unter 0,20 auf (e7), jedoch handelte es sich auch hierbei um eine inhaltlich wichtige Aufgabe über die Bedeutung experimenteller Daten, die daher ebenfalls im Test verbleiben sollte.

Zur Verbesserung der verbleibenden acht Aufgaben wurden Änderungen am Wortlaut der Fragen und multiple choice-Antworten vorgenommen. Außerdem wurden Antworten inhaltlich anders ausgerichtet. Ziel war es, die Aufgaben noch stärker konkreten experimentellen Situationen zuzuordnen, so dass sie auch für den Vortest eine akzeptable Reliabilität aufweisen könnten.

Damit eine ausreichende Skalenlänge gewährleistet blieb, wurden darüber hinaus zwei neue Items entwickelt. Diese betrafen die Zielstellung und die Eindeutigkeit naturwissenschaftlicher Experimente.

Aufgrund der vorgenommenen Änderungen wurde ein zweiter Vortest durchgeführt, um die Qualität des neuen Testinstruments und dessen Eignung für den Einsatz in der Hauptstudie beurteilen zu können. Dazu wurde das neue Testinstrument in drei weiteren Klassen –ohne die Durchführung von Interventionen – eingesetzt. Hierdurch konnte also der Einsatz des Testinstruments im Vortest erneut analysiert werden.

In der zweiten Vorstudie ($n = 86$) konnte keine Verbesserung Skalenqualität erreicht werden. Die Reliabilität der Gesamtskala blieb mit einem Cronbachs Alpha von .49 auf dem Niveau der ersten Vorstudie.

Aufgrund der Analyse der Aufgabenschwierigkeiten der zweiten Vorstudie musste eine Aufgabe (e9) eliminiert werden, da sie eine zu hohe Lösungswahrscheinlichkeit von 79,0 % aufwies. In der Hauptstudie ließe die Aufgabe keine Möglichkeit zur Abbildung einer Wissensentwicklung der Schüler zu und ist daher für den dortigen Einsatz nicht geeignet. Die Reliabilität der um ein Item verkürzten Skala änderte sich nicht.

Bei drei weiteren Aufgaben wurden Trennschärfen unter 0,20 ermittelt, die eine Differenzierung des Wissens von Schülern nicht zulassen (e7, e8, e10, s. Anhang C2.2). Da diese Aufgaben jedoch in der ersten Vorstudie vor allem im Nachtest gute bis sehr gute Trennschärfen aufwiesen, sollten sie im Test verbleiben und lediglich erneut im Wortlaut verändert werden. Eine endgültige Entscheidung über ihren Gebrauch für die Auswertung der Hauptstudie sollte erst anhand der Daten zur Hauptstichprobe getroffen werden. Der Wortlaut der Items wurde erneut modifiziert und eine Aufgabe zur Eindeutigkeit von naturwissenschaftlichen Experimenten ergänzt.

Damit wurden zehn Aufgaben für das Testinstrument der Hauptstudie berücksichtigt.

3.4.4.2 Itemanalyse der Hauptstudie

Es wurde eine Itemanalyse anhand der Daten der Hauptstudie durchgeführt, um die Qualität des Testinstruments für diese Stichprobe zu beurteilen. Zunächst wurden dazu erneut die complex multiple choice-Antworten kodiert und Aufgabenscores gebildet. Anschließend wurden auch hier die Reliabilität der Gesamtskala, die Trennschärfen der Aufgaben und deren Lösungswahrscheinlichkeiten ermittelt.

Wie bereits beschrieben muss der Epistemologiewissenstest vor allem zur Differenzierung des Wissens der Schüler nach den Interventionen geeignet sein. Die Passung auf den Zeitpunkt des Vortest wird als zweitrangig betrachtet. Aus diesem Grund wurde auch in der Hauptstudie die Itemanalyse zunächst anhand der Nachtestdaten durchgeführt. Anschließend wurde abgewogen, ob das Testinstrument auch für den Vortest akzeptabel erscheint.

3.4.4.3 Fragebogenkonstruktion

Die Endversion des Epistemologiewissenstest bestand aus zehn complex multiple choice-Aufgaben (s. Anhang A2). Die darin thematisierten epistemologischen Inhalte der Testaufgaben entsprachen den Kategorien der Vorstudie:

- Ziele naturwissenschaftlicher Experimente
- Veränderlichkeit und Unsicherheit von naturwissenschaftlichem Wissen
- Bedeutung erwarteter bzw. unerwarteter experimenteller Ergebnisse

Itemanalyse

Kodierung

Die Aufgaben wurden auf Itemebene mit einem dichotomen Antwortformat versehen, bei dem die Schüler durch Ankreuzen von ja oder nein jeweils Zustimmung oder Ablehnung der gegebenen Aussage ausdrücken sollten.

In einem ersten Kodierungsschritt wurden die Schülerantworten hinsichtlich ihrer Richtigkeit bewertet und Aufgabenscores für jede der zehn Aufgaben des Vor- und Nachtests gebildet. Dazu wurden die Itemscores der Aufgaben zusammengefasst. Diese können Werte von 0-5 annehmen, je nachdem ob die Schüler keine bis alle der gegebenen Aussagen im naturwissenschaftlichen Sinne richtig bewertet haben.

Auswahl der Aufgaben: Aufgabenschwierigkeit und Trennschärfe

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Itemanalyse des Epistemologietests:

Tabelle 7: Itemanalyse des Epistemologietests

Aufgabe	Nachtest		Vortest	
	mittlere Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	mittlere Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe
e1	0,79	,192	0,78	,051
e2	0,67	,487	0,64	,211
e3	0,71	,440	0,62	,161
e4	0,70	,475	0,61	,258
e5	0,73	,485	0,63	,245
e6	0,68	,381	0,61	,128
e7	0,81	,425	0,78	,234
e8	0,58	,434	0,50	,207
e9	0,68	,383	0,65	,272
e10	0,65	,466	0,55	,062
Cronbachs Alpha	.76		.45	

Die Itemanalyse ergab für den Testzeitpunkt des Nachtest eine akzeptable Reliabilität (Cronbachs Alpha = .76). Da bei heterogenen Wissenstests wie dem vorliegenden Epistemologiewissenstest der Cronbachs Alpha die tatsächliche Reliabilität eines Test unterschätzt (Bortz & Döhring, 2002), ist die Reliabilität des Nachtests sogar als gut zu bewerten. Im Vortest wurde dagegen – wie in den Vorstudien auch – eine niedrige Reliabilität von .45 erreicht. Der Vortest eignet sich daher nur eingeschränkt für inhaltliche Auswertungen. Er wird daher hauptsächlich als Kovariate des Nachtests zur Messung des Wissenszuwachses verwendet.

Im Nachtest wiesen alle Aufgaben außer Aufgabe e1 eine gute Trennschärfe auf. Aufgabe e1, die nur eine Trennschärfe von 0,192 besitzt, ist für die Differenzierung von Schülern

schlecht geeignet. Da diese Aufgabe sowohl im Nachtest als auch im Vortest die Kriteriengrenzen nicht erfüllen konnte, wurde sie für die weiteren Analysen nicht berücksichtigt.

Die generell geringen Trennschärfen der anderen Aufgaben im Vortest wurden aus genannten Gründen akzeptiert, insbesondere da die inhaltlichen Analysen auf den Nachtestzeitpunkt gestützt werden sollten. Aus diesem Grund wurde z.B. Aufgabe e10, die im Vortest eine sehr geringe Trennschärfe von 0,062 besitzt, weiterverwendet, da sie im Nachtest mit .466 ein besonders trennscharfes Item darstellt.

Die mittleren Lösungswahrscheinlichkeiten lagen im Nachtest bei neun Aufgaben zwischen 20% und 80%. Nur Aufgabe e7 erreichte mit 81% eine mittlere Lösungswahrscheinlichkeit geringfügig außerhalb dieser Kriteriengrenzen. Da diese Aufgabe zentrale Aspekte des Experimentierens thematisiert, nämlich die Notwendigkeit von Fragestellungen und Hypothesen für Experimente, soll sie dennoch im Test verbleiben.

Im Vortest lagen alle Lösungswahrscheinlichkeiten innerhalb der Kriteriengrenzen.

Daher verblieben nach der Itemanalyse neun Items für die Auswertungen des epistemologischen Wissens der Schüler. Die Reliabilität änderte sich durch die Verkürzung der Skala im Nachtest nicht (Cronbachs Alpha = .76) und im Vortest nur geringfügig (Cronbachs Alpha = .47).

3.4.4.3 Test zum Verständnis des Experimentierens

Mit dem Testinstrument soll die Verständnisenwicklung der Schüler durch die Interventionen erhoben werden. Dabei stehen auch in diesem Testteil die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes im Mittelpunkt. Während im Methodenwissenstest ausschließlich die Kenntnisse der Schüler über beide Prinzipien erhoben werden, soll im Verständnistest ermittelt werden, welche Bedeutung die Schüler beiden Prinzipien beim Experimentieren zuschreiben (vgl. Kapitel 3.3).

Da das Verständnis strukturell ein komplexes Netz verschiedener Wissensaspekte darstellt (vgl. Kapitel 3.3), soll es durch ein Aufgabenformat erhoben werden, das diese Strukturen in den individuellen Ausprägungen der Schüler abbilden kann. Hierfür sind offene und halb offene Aufgaben gut geeignet, da sie keine Strukturvorgaben für die Antworten der Schüler enthalten. Andere offene Erhebungsformate, die das Verständnis der Schüler auch abbilden könnten, wie mind-maps oder Interviews, stellen sich aufgrund des Stichprobenumfangs und der zur Verfügung stehenden Testzeit als ungeeignet dar. Aus diesem Grund wurden im Verständnistest ausschließlich offene und halb offene Aufgabenformate zur Erhebung des Verständnisses der Schüler eingesetzt.

Im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Wissenstest waren die Verständnistests im Vor- und Nachtest nicht identisch, sondern unterschieden sich hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades und der Komplexität der Aufgaben. Dies schien notwendig, weil die Verständnisunterschiede der Schüler zwischen Vor- und Nachtest in einem größeren Umfang erwartet wurden, als die Wissensunterschiede. Im Vortest musste von einem sehr geringen Verständnis der Schüler ausgegangen werden, weil bereits ein geringes Wissen, das die Grundlage des Verständnisses bildet, zu erwarten war. Nach den Interventionen war dagegen mit einem deutlich komplexeren Verständnis der Schüler zu rechnen, da sich ihre Wissensbasis stark verändern würde. Aus diesem Grund war davon auszugehen, dass sich identische Aufgaben nicht für die Erhebung des Verständnisses an beiden Messzeitpunkten eignen: Einfache Fragen, die für die Erhebung des Verständnisses im Vortest geeignet wären, könnten das Verständnis des Schüler im Nachtest vermutlich nicht mehr abbilden. Deckeneffekte, die eine Differenzierung des Verständnisses der Schüler nicht zuließen, wären im Nachtest zu erwarten. Andererseits wären Schüler von Aufgaben, die für das bessere Verständnis im Nachtest angemessen wären, im Vortest überfordert. Es wäre mit Bodeneffekten im Vortest zu rechnen, durch die eine Differenzierung der Fähigkeiten der Schüler auch hier nicht möglich wäre. Aus diesem Grund wurden im Nachtest Aufgaben von höherem Schwierigkeitsgrad und größerer Komplexität eingesetzt als im Vortest.

In den Testaufgaben wurde das Verständnis der Schüler durch die Anwendung des Wissens über Variablenkontrolle und Kontrollansatzes operationalisiert. Dabei mussten die Schüler z.B. die Variablenkontrolle bei der Planung eines Experiments selbstständig durchführen oder ein gegebenes Experiment kritisch hinsichtlich der Einhaltung der Variablenkontrolle betrachten.

In den folgenden Kapiteln wird zunächst die Entwicklung des Verständnistests beschrieben. Dazu wird ein kurzer Überblick über den Aufgabenpool gegeben, aus dem das Testinstrument der Hauptstudie selektiert wurde. Anschließend werden die ausgewählten Aufgaben im Detail vorgestellt.

3.4.4.3.1 Testentwicklung

Als erster Schritt der Testentwicklung wurde ein Pool von Aufgaben gebildet, in denen die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes in verschiedenen Kontexten angewendet werden mussten. Diese wurden in der Vorstudie ($N = 71$) hinsichtlich ihrer Eignung für die Erhebung des Verständnisses im Vor- oder Nachtest geprüft. Dazu wurden die Aufgaben auf zwei Testhefte verteilt, die von jeweils der halben Stichprobe der Vorstudie bearbeitet wurden ($N_1 = 35$, $N_2 = 36$). Im Anschluss wurde eine Auswahl von Aufgaben für den Einsatz in der Hauptstudie getroffen. Dazu wurden zwei Kriterien aufeinander

abgestimmt: Einerseits wurden die Aufgaben anhand der Lösungswahrscheinlichkeiten der Vorstudie selektiert, die zur Abbildung des Verständnisses der Schüler geeignet erschienen. Andererseits wurden geeignete Aufgaben so zu einem Testinstrument zusammengestellt, dass sie ein möglichst breites Spektrum des Experimentierens abbilden und die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes aus verschiedenen Perspektiven aufgreifen.

Im **Vortest** der Vorstudie wurden sechs verschiedene Aufgaben hinsichtlich ihrer Eignung für die Verständniserhebung in der Hauptstudie getestet. In den Aufgaben wurde das Verständnis der Schüler hinsichtlich der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes in drei Bereichen geprüft, und zwar beim

- selbstständigen Planen von Experimenten
- Umgang mit konfundierten Experimenten
- Umgang mit anomalen Daten, die einer ursprünglichen Überzeugung widersprechen

Die sechs Aufgaben werden im Folgenden skizziert. Eine detaillierte Darstellung der Aufgaben, die für den Einsatz in der Hauptstudie ausgewählt wurden, erfolgt im anschließenden Kapitel.

Selbstständiges Planen von Experimenten

Zum selbstständigen Planen von Experimenten wurden zwei alternative Aufgaben getestet, in denen Experimente zur Untersuchung von einem Testfaktor (Anhang B1.1) bzw. zwei Testfaktoren (Anhang B1.2) entworfen werden sollten. Das biologische Thema der Experimente war in beiden Fällen der menschliche Herzschlag.

Die Auswertung des Vortest der Vorstudie ($N_1 = 35$, $N_2 = 36$) zeigte, dass die Planung eines Experiments mit nur einem Testfaktor für Schüler der 6. Klasse zu einfach ist: Bereits 71,4% der Schüler ($n = 25$) planten vor den Interventionen ein Experiment, das für eine eindeutige Untersuchung des gegebenen Testfaktors geeignet ist. Bei zwei Testfaktoren waren dazu lediglich 29,7% der Schüler ($n = 11$) in der Lage. Aus diesem Grund sollte im Vortest der Hauptstudie eine Experimentplanung mit zwei Testfaktoren eingesetzt werden.

Erkennen von Konfundierungen

Hinsichtlich des Umgangs mit konfundierten Experimenten wurden drei Aufgaben getestet. Das biologische Thema der darin dargestellten Experimente war in allen Fällen ebenfalls der menschliche Herzschlag. Ziel der Aufgaben war es zu überprüfen, ob die Schüler die eingeschränkte Aussagekraft konfundierter Experimente verstanden haben.

Die Aufgaben unterschieden sich hinsichtlich der Offensichtlichkeit der Darstellung der Konfundierung: In einer Aufgabe wurde ausschließlich ein konfundiertes Experiment dargestellt (Anhang B2.1). Die Schüler wurden aufgefordert, mögliche Probleme des

Experimentes aufzuzeigen. In einer zweiten Aufgabe wurden ein konfundiertes und ein nicht konfundiertes Experiment, die zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen über einen gemeinsamen Faktor gelangten, vergleichend nebeneinander gestellt (Anhang B2.2). Die Schüler wurden aufgefordert, die Ursache der unterschiedlichen Schlussfolgerungen, die in der Konfundierung begründet lag, zu erklären. Während in diesen beiden Aufgaben die entscheidenden Variablen in der Aufgabenstellung tabellarisch hervorgehoben wurden, wurde die Konfundierung in einer dritten Aufgabe stärker in der Aufgabenstellung versteckt, so dass die Konfundierung weniger offensichtlich hervortrat (Anhang B2.3).

Durch die unterschiedliche Offenheit in der Darstellung der Konfundierungen wurde die Aufgabenschwierigkeit moduliert, um einen angemessenen Schwierigkeitsgrad für Schüler der 6. Klasse zu ermitteln.

In der Aufgabe, in der ausschließlich ein konfundiertes Experiment gegeben war, konnten 34,3 % der Schüler ($n = 12$) die Konfundierung als problematisch erkennen. Bei Gegenüberstellung mit einem nicht konfundierten Experiment konnten dies vergleichbar viele Schüler 36,1% ($n = 13$). Beide Aufgaben waren also grundsätzlich für einen Einsatz im Vortest gleich gut geeignet. Da die Testinstrumente sich jedoch insgesamt als zu lang erwiesen (vgl. Kapitel 3.4.4.4), wurde zugunsten der Reduzierung des Testumfangs auf den Einsatz der Aufgabe, in der ausschließlich ein konfundiertes Experiment gegeben war verzichtet. Stattdessen wurde nur die Aufgabe, in der ein konfundiertes Experiment einem nicht konfundierten Experiment gegenübergestellt wurde, weiter verwendet. Die versteckte Konfundierung der dritten Aufgabe konnten nur 14,3% ($n = 5$) der Schüler als Problem der Variablenkombination der Experimentansätze benennen. Diese Aufgabe war daher für den Testzeitpunkt des Vortests zu schwierig. Es wurde entschieden, sie stattdessen im Nachtest einzusetzen.

Umgang mit anomalen Daten

Der Umgang mit anomalen Daten wurde durch eine Aufgabe überprüft, in der ein Experiment zum menschlichen Herzschlag dargestellt war (Anhang B3). In dem Experiment wurden drei Testfaktoren als mögliche Einflussfaktoren auf den Herzschlag kontrolliert untersucht. Die Ergebnisse des Experiments widersprachen dabei der ursprünglichen Überzeugung des fiktiven Experimentators, da sich der Faktor Hunger entgegen der Überzeugung als irrelevant für den menschlichen Herzschlag darstellte. Aufgabe der Schüler war es, zur Notwendigkeit der Änderung der ursprünglichen Überzeugung im Angesicht der widersprechenden Daten Stellung zu nehmen.

Da nur 16,2% der Schüler ($n = 6$) einen Zusammenhang zwischen den Überzeugungen und experimentellen Daten herstellen konnten, sollte diese Aufgabe im Testinstrument der Hauptstudie nicht eingesetzt werden.

In Tabelle 8 sind die Aufgaben und Lösungswahrscheinlichkeiten des Vortestaufgaben sowie deren Verteilung auf die Teilstichproben der Vorstudie zusammengefasst.

Tabelle 8: Aufgaben des Vortests der Vorstudie (fett gedruckte Lösungswahrscheinlichkeiten = Auswahl für die Hauptstudie; * = Einsatz im Nachtest der Hauptstudie)

	Teilstichprobe 1 Erfolgreiche Lösung [Prozent]; N ₁ = 35	Teilstichprobe 2 Erfolgreiche Lösung [Prozent]; N ₂ = 36
Selbstständiges Planen von Experimenten 1 Testfaktor	71,4	
Selbstständiges Planen von Experimenten 2 Testfaktoren		29,7
Erkennen von Konfundierungen 2 Testfaktoren	34,3	
Erkennen von Konfundierungen 2 Testfaktoren Gegenüberstellung mit nicht konfundiertem Experiment		36,1
Erkennen von Konfundierungen 2 Testfaktoren versteckte Konfundierung	54,3*	
Umgang mit anomalen Daten 3 Testfaktoren		16,2

Im **Nachtest** der Vorstudie wurden sechs Aufgaben hinsichtlich ihrer Eignung für die Erhebung des Verständnisses der Schüler in der Hauptstudie getestet. In den Aufgaben wurde das Verständnis der Schüler hinsichtlich der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes in diesen vier Bereichen geprüft:

- selbstständiges Planen von Experimenten
- Umgang mit konfundierten Experimenten
- Auswertung experimenteller Daten
- Bewertung eines Experiments ohne Kontrollansatz

Die sechs Aufgaben werden im Folgenden skizziert. Eine detaillierte Darstellung der Aufgaben, die für den Einsatz in der Hauptstudie ausgewählt wurden, erfolgt im anschließenden Kapitel.

Selbstständiges Planen von Experimenten

Für die Entwicklung des Nachtests der Hauptstudie wurden zwei alternative Aufgaben zum selbstständigen Planen von Experimenten getestet, in denen ein Experiment mit zwei bzw. drei Testfaktoren entworfen werden sollte (Anhang B4.1 und B4.2). Als biologisches Thema diente die Samenkeimung von Bohnensamen.

62,9 % der Schüler ($n = 22$) waren in der Lage, zwei Testfaktoren adäquat in ihren Planungen zu kontrollieren, bei drei Testfaktoren waren dazu nur 47,2% ($n = 17$) fähig.

Grundsätzlich eigneten sich beide Aufgaben für einen Einsatz in der Hauptstudie. Es wurde entschieden, die schwierigere Planungsaufgabe mit drei Testfaktoren einzusetzen, da diese fast die angestrebte Lösungswahrscheinlichkeit von 50% erreichte. Darüber hinaus stellte die Kontrolle von drei Testfaktoren eine besondere Transferleistung für die Schüler dar, die in den Interventionen nur die Variablenkontrolle für zwei Testfaktoren kennenlernten. Sie mussten das erworbene Wissen also auf einen komplexeren Untersuchungskontext übertragen. Dadurch bot diese Aufgabe eine bessere Möglichkeit, das Verständnis der Schüler zu untersuchen, als eine Planungsaufgabe mit zwei Testfaktoren.

Erkennen von Konfundierungen

Zum Umgang mit konfundierten Experimenten wurde für den Einsatz im Nachtest eine Aufgabe getestet, in der die Konfundierung erneut nicht hervorgehoben wurde, sondern in der Aufgabenstellung versteckt wurde (Anhang B5). Die Aufgabe war in sofern schwieriger als die für den Vortest getestete Aufgabe, da das dargestellte Experiment in den Kontext einer Alltagssituation eingebunden wurde. In der dargestellten Situation wollte eine fiktive Schülerin die Wirkung von chemischen Teststäbchen für den Nachweis von Vitamin C hinsichtlich ihrer Wirkung überprüfen. Bei der Testung der Stäbchen verwendete sie jedoch neben Wasser ein Multivitamintrank, wodurch eine Konfundierung des Testfaktors Vitamin C mit anderen Vitaminen erzeugt wurde. Aufgabe der Schüler der Vorstudie war es, dieses Vorgehen kritisch zu betrachten.

Da nur 5,4% der Schüler ($n = 2$) die Konfundierung entdeckten, war diese Aufgabe für den Einsatz in der Hauptstudie nicht geeignet.

Auswertung experimenteller Daten

Darüber hinaus wurde zwei Aufgabe zur Auswertung experimenteller Daten erprobt.

In einer Aufgabe wurde der Umgang der Schüler hinsichtlich der in Kapitel 2.1.7.1 vorgestellten Mit-Strategie getestet. Dazu wurde das dort vorgestellte Experiment zur Samenkeimung (Abbildung 6, S. 23) mit drei Versuchsansätzen abgebildet und die Schlussfolgerung eines fiktiven Schülers dargestellt, die der Mit-Strategie folgt (Anhang B6.1). Diese Argumentation ist aus naturwissenschaftlicher Perspektive als unlogisch zu bewerten³². Die Argumentationsweise des Schülers führt dazu, dass die gegebene Schlussfolgerung einen Fehlschluss über die Notwendigkeit des Faktors Licht für die Samenkeimung aufweist. Aufgabe der Schüler war es, zu der Schlussfolgerung und damit zur Argumentation nach der Mit-Strategie Stellung zu nehmen.

³² In Kapitel 2.1.7.1 wurde ausführlich diskutiert, dass es sich aus Sicht der Schülervorstellungsforschung um eine alternative und keine unlogische Argumentationsweise handelt. Dieser Zusammenhang soll an dieser Stelle nicht erneut aufgegriffen werden.

54,5% der Schüler der Vorstudie widersprachen der gegebenen Schlussfolgerung und deckten den Fehlerschluss über den Faktor Licht auf. Weitere 30,3% der Schüler ($n = 10$) bezogen ihre Stellungnahmen nicht auf die Auswertung der Daten und damit auch nicht auf die Mit-Strategie, sondern schlugen z.B. sinnvolle Verbesserungen der Experimentplanung vor, durch die eindeutigere Evidenzen erreicht werden könnten. Diese Antworten konnten nicht im Sinne der Aufgabenstellung ausgewertet werden, da sie einerseits naturwissenschaftlich adäquate Beurteilungen des gegebenen Experiments darstellten, aber andererseits nicht die unwissenschaftliche Argumentationsweise entdeckten. Darüber hinaus stimmten nur 5,7% ($n = 2$) der Argumentation nach der Mit-Strategie explizit zu.

Aus diesen Gründen sollte diese Aufgabe im Test der Hauptstudie nicht berücksichtigt werden.

Eine weitere Aufgabe zur experimentellen Datenauswertung enthielt ein weiteres Experiment zur Samenkeimung (Anhang B6.2). In der gegebenen Fragestellung wurden als Testfaktoren die Faktoren Licht und Wärme benannt. In dem abgebildeten Experiment wurde dagegen tatsächlich nur die Wirksamkeit des Faktors Licht für die Samenkeimung untersucht. Nichtsdestotrotz bezog sich die angegebene Schlussfolgerung aus dem Experiment sowohl auf den kontrolliert variierten Faktor Licht, als auch auf die nicht untersuchten Faktoren Wärme, Wasser und Erde. Die Schüler waren aufgefordert, zu der Angemessenheit der gegebenen Schlussfolgerung Stellung zu nehmen.

47,2% der Schüler ($n = 17$) konnten die ungültigen Schlussfolgerungen, in denen unbewiesene Kausalitäten aufgestellt wurden, für mindestens einen Faktor benennen. Allerdings konnten nur 5,6 % ($n = 2$) dabei die ungültigen Schlussfolgerungen der Faktoren Erde und Wasser benennen, die in der Aufgabenstellung nicht als Testfaktoren hervorgehoben waren. Die anderen Schüler bezogen sich ausschließlich auf Faktoren Licht und Wärme, die durch die Aufgabenstellung in den Fokus gerückt wurden. Damit eignet sich die Aufgabe gut für einen Einsatz im Nachtest der Hauptstudie, insbesondere da sie einen sehr differenzierten Blick auf das Verständnis des Schüler zulässt.

Bewertung eines Experiments ohne Kontrollansatz

Die in der Vorstudie getestete Aufgabe zur Bewertung eines Experiments ohne Kontrollansatz wurde als sehr anspruchsvoll eingestuft, da das gegebene Experiment nicht ausdrücklich ein Experiment darstellte, sondern als Werbung für ein Medikament Ergebnisse aus dessen Wirkungsstudie vorstellte (Anhang B7). Die dargestellten Ergebnisse waren jedoch nicht aussagekräftig, weil nur Angaben zur Überlebensrate von Probanden, die das Medikament eingenommen haben, gemacht wurden, jedoch Angaben zu Probanden, die das Medikament nicht eingenommen haben, fehlten. Die Ergebnisse der Kontrollgruppe wurden also nicht vorgestellt. Dadurch ist kein Vergleich der Überlebensraten von Probanden mit und

ohne Einnahme des Medikaments möglich, so dass die Wirksamkeit des Medikaments nicht aussagekräftig beurteilt werden kann.

Aufgabe der Schüler war es, zur Aussagekraft der Angaben Stellung zu nehmen und ungeklärte Fragen der Ergebnisdarstellung zu benennen.

Die Hälfte der Schüler ($n = 18$) kritisierten in ihren Antworten generell, dass Todesfälle aufgetreten sind und lehnten das Medikament und die Ergebnisse der dargestellten Studie aus diesem Grund ab. Sie bezogen sich also auf ethische und nicht auf methodische Aspekte des Experiments. Ihre Antworten konnten daher nicht im Sinne der Aufgabenstellung ausgewertet werden. Nur 5,6% der Schüler ($n = 2$) identifizierten dagegen den fehlenden Kontrollansatz und die damit verbundene mangelnde Aussagekraft der Ergebnisse. Aus diesen Gründen konnte auch diese Aufgabe keine weitere Verwendung im Verständnistest der Hauptstudie finden.

In Tabelle 9 sind die Aufgaben und Lösungswahrscheinlichkeiten des Nachtestaufgaben sowie deren Verteilung auf die Teilstichproben der Vorstudie zusammengefasst.

Tabelle 9: Aufgaben des Nachtests der Vorstudie (fett gedruckte Lösungswahrscheinlichkeiten: Auswahl für die Hauptstudie; Angaben in Klammern beziehen sich auf Sonderfälle, die im vorangehenden Text erklärt wurden)

	Teilstichprobe 1 Erfolgreiche Lösung [Prozent]; $N_1 = 35$	Teilstichprobe 2 Erfolgreiche Lösung [Prozent]; $N_2 = 36$
Selbstständiges Planen von Experimenten 2 Testfaktor	62,9	
Selbstständiges Planen von Experimenten 3 Testfaktoren		47,2
Erkennen von Konfundierungen 2 Testfaktoren versteckte Konfundierung		5,4
Bewerten eines Experiments ohne Kontrollansatz 1 Testfaktor	5,6	
Auswertung experimenteller Daten 1 Testfaktor, 3 andere Faktoren ungültige Schlussfolgerung		42,7 (5,6)
Auswertung experimenteller Daten: 2 Testfaktoren unlogische Schlussfolgerung	54,5 (30,3)	

Für die Testinstrumente der Hauptstudie wurden somit zwei Aufgaben für den Einsatz im Vortest und drei Aufgaben für den Einsatz im Nachtest ausgewählt. Diese werden im folgenden Kapitel ausführlich erläutert.

3.4.4.3.2 Testinstrument der Hauptstudie: Beschreibung und Kodierung

In den Folgenden Abschnitten wird das Testinstrument der Hauptstudie, mit dem das Verständnis zum naturwissenschaftlichen Experimentieren erhoben wurde, im Detail vorgestellt (s. auch Anhang A3 und A4). Dazu werden die Aufgaben ausführlich dargestellt und ihre Kodierung erläutert. Eine weitere Itemanalyse erfolgt aufgrund der Kürze der Skalen nicht.

Die ausgewählten Aufgaben überprüfen das Verständnis der Schüler über die Variablenkontrolle und den Kontrollansatz beim naturwissenschaftlichen Experimentieren in drei Bereichen:

Im Testinstrument der Hauptstudie wurde das Verständnis der Schüler hinsichtlich der Bedeutung von Kontrollansätzen und der Variablenkontrolle in naturwissenschaftlichen Experimenten thematisiert, und zwar in jeder Aufgabe mit Bezug zu unterschiedlichen Aspekten des Experimentierens:

1. Beim selbstständigen Planen von Experimenten müssen die Schüler beide Prinzipien eigenständig anwenden, d.h. sowohl die Variablenkontrolle durchführen als auch geeignete Kontrollansätze in ihren Planungen berücksichtigen.
2. Beim Umgang mit konfundierten Experimenten müssen sie dagegen kritisch zu Experimenten Stellung nehmen, in denen die Variablenkontrolle nicht eingehalten wurde.
3. Bei der Aufgabe zur Datenanalyse müssen die Schüler ein Experiment kritisch hinsichtlich beider Prinzipien betrachten und dadurch bewiesene und unbewiesene Kausalitäten von einander unterscheiden.

Die Anforderungen der Aufgaben wurden in Vor- und Nachtest dadurch variiert, dass im Vortest bei der Experimentplanung nur zwei Faktoren, im Nachtest jedoch drei Faktoren kontrolliert und berücksichtigt werden mussten. Außerdem wurden die Konfundierungen im Vortest deutlich hervorgehoben, während sie im Nachtest in der Aufgabenstellung versteckt wurde. Eine Aufgabe zu Datenanalyse wurde nur im Nachtest gestellt.

Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Aufgaben und Anforderungen im Vor- und Nachtest:

Tabelle 10: Aufgaben und Anforderungen des Verständnistests

	Vortest	Nachtest
selbstständiges Planen von Experimenten	2 Testfaktoren	3 Testfaktoren
Umgang mit konfundierten Experimenten	Vergleich eines konfundierten und eines unkonfundierten Experiments	Bewertung einer experimentellen Situation mit versteckter Konfundierung
Auswertung experimenteller Daten	./.	Stellungnahme zu Schlussfolgerung mit bewiesener und unbewiesener Kausalität

Selbstständige Planung von Experimenten

In den Planungsaufgaben wurden die Schüler mit unterschiedlichen experimentellen Kontexten konfrontiert: Im Vortest sollte ein Experiment zum menschlichen Herzschlag mit zwei Testfaktoren geplant werden, im Nachtest ein Experiment zur Samenkeimung von Bohnensamen mit drei Testfaktoren. Außer der Fragestellung, den Testfaktoren und vorhandenen Materialien wurden keine weiteren Hinweise für die Planung des Experiments angegeben. Im Vortest wurden nur Materialien aufgeführt, die sinnvoller Weise im Experiment verwendet werden konnten (Abbildung 21). Im Nachtest wurden jedoch auch überflüssige Materialien angegeben (Abbildung 22), so dass die Schüler hier eine geeignete Auswahl treffen mussten. Durch diese Unterschiede wies die Nachtest-Aufgabe einen höheren Schwierigkeitsgrad und größere Komplexität auf als die Aufgabe des Vortests.

In beiden Aufgaben wurden die Schüler aufgefordert, ein entsprechendes Experiment zu planen und ihre Planung und zu begründen.

Wie planst Du ein Experiment?

(1) Sina möchte an sich selbst überprüfen, ob **körperliche Bewegung** und die **Tageszeit** den Herzschlag verändern.

Sie hat zur Verfügung: einen Stuhl
 ein Springseil
 ein Pulsmessgerät

Beschreibe ein Experiment, mit dem Sina überprüfen kann, ob körperliche Bewegung und die Tageszeit den Herzschlag verändern.

Beschreibung: _____

Abbildung 21 Verständnistest: Experiment planen (Vortest)

Wie planst Du ein Experiment?

(1) Sina möchte überprüfen, ob die Faktoren **Wasser, Wärme und Licht** für die Samenkeimung notwendig sind.

Sie hat zur Verfügung:

- Bohnsamen
- Blumentöpfe
- Pappschachteln
- Erde
- Watte
- Wasser mit Kohlensäure
- Wasser ohne Kohlensäure
- helle Gewächshäuser, bei denen man die Temperatur frei einstellen kann
- dunkle Gewächshäuser, bei denen man die Temperatur frei einstellen kann
- Pflanzendünger
- Windmaschine

Beschreibe ein Experiment, mit dem Sina überprüfen kann, ob die Faktoren Wasser, Wärme und Licht für die Samenkeimung notwendig sind. Du kannst, aber musst nicht alles, was zur Verfügung steht, gebrauchen.

Abbildung 22: Verständnistest: Experiment planen (Nachtest)

Kodierung

Die Antworten der Schüler wurden hinsichtlich dreier Aspekte naturwissenschaftlicher Experimentplanungen analysiert, und zwar hinsichtlich der Einhaltung der Variablenkontrolle, der Berücksichtigung eines Kontrollansatzes und des generellen Vorhandenseins eines Vergleichsgedanken. Während Variablenkontrolle und Kontrollansatz allgemeine Grundsätze der Experimentplanung und Auswertung darstellen (vgl. Kapitel 2.1.4), bezieht sich der Vergleichsgedanke direkt auf den Prozess der experimentellen Erkenntnisgewinnung, der nur durch den Vergleich von mindestens zwei Ansätzen geschehen kann.

Zum Vergleich der Schülerfähigkeiten beim selbstständigen Planen von Experimenten wurden Stufen beschrieben, die darstellen, inwieweit die Schüler diese drei Aspekte in ihren Planungen und Begründungen berücksichtigt haben. Es wurden vier mögliche Stufen definiert: Auf Stufe 0 wird keiner der drei Aspekte in der Experimentplanung angemessen einbezogen, auf Stufe 1 ein Aspekt, auf Stufe 2 zwei Aspekte und auf Stufe 3 alle drei Aspekte. Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht über die Merkmale der Stufen:

Tabelle 11: Stufe beim selbständigen Planen von Experimenten (x = Aspekte nicht adäquat berücksichtigt, ✓ = Aspekte adäquat berücksichtigt (Hammann et al., 2008))

	Vergleichsgedanke	Variablenkontrolle	Kontrollansatz
Stufe 0	x	x	x
Stufe 1	✓	x	x
	x	✓	x
	x	x	✓
Stufe 2	✓	✓	x
	✓	x	✓
	x	✓	✓
Stufe 3	✓	✓	✓

Zur Verdeutlichung wird im Folgenden für jede Stufe eine beispielhafte Schülerantwort³³ aus dem Vortest vorgestellt:

Stufe 0 (kein Aspekt adäquat berücksichtigt)

Morgens kann sie mit dem Springseil eine bestimmte Zeit springen, dann setzt sie sich auf den Stuhl und misst den Puls. Dann macht sie das mittags und abends auch noch mal. (Versuchsperson (VPN) 118)

Das Experiment ist für eine eindeutige Untersuchung der Faktoren Bewegung und Tageszeit nicht geeignet: Da der Faktor Bewegung in dem Experiment nicht variiert wurde, lässt sich in dieser Hinsicht weder eine adäquate Variablenkontrolle, noch ein Kontrollansatz beobachten. Insbesondere wird zu keiner Zeit eine Messung des Ruhepulses vorgenommen. Einen Vergleichsgedanken kann man in der Experimentplanung ebenfalls nicht erkennen.

Stufe 1 (ein Aspekt adäquat berücksichtigt)

Sie macht morgens 30 Sit-ups, mittags 30 Sit-ups und abends 30 Sit-ups. Danach vergleicht sie die Ergebnisse, damit man die Ergebnisse von allen Tageszeiten mit der gleichen Belastung vergleichen kann. (VPN 231)

In dieser Planung wurde der Vergleichsgedanke explizit angesprochen. Allerdings ist die Experimentplanung wie im vorigen Beispiel für eine eindeutige Untersuchung beider Testfaktoren nicht geeignet, weil Variablenkontrolle und Kontrollansatz nur für einen Faktor berücksichtigt wurden.

Stufe 2 (zwei Aspekte adäquat berücksichtigt)

Als erstes springt Sina Seil und misst ihren Puls. Dann um eine andere Tageszeit, z.B. abends um 7, misst sie ihren Puls wieder, während sie auf dem Stuhl ruhig sitzt. Weil man so gucken kann, was einen höheren und tieferen Puls aufweist. (VPN 470)

³³ Orthographische und interpunktuellen Fehler wurden korrigiert, inhaltliche Veränderungen wurden nicht vorgenommen; dies gilt für alle Zitate von Schülerantworten im weiteren Verlauf der Arbeit.

In dem Experiment lässt sich ein impliziter Vergleichsgedanke erkennen, da für die Feststellung eines höheren oder tieferen Pulses der Vergleich von zwei Messdaten notwendig ist. Außerdem wurden zwei Ansätze berücksichtigt, die man in gewisser Weise als experimentelle Kontrollen verstehen kann, da in beiden Ansätzen die Testfaktoren jeweils in entgegengesetzter Ausprägung (morgens/abends, in Bewegung/in Ruhe) berücksichtigt wurden. Allerdings wurden die Ansätze konfundiert geplant, d.h. die Variablenkontrolle wurde nicht adäquat durchgeführt.

Stufe 3 (alle Aspekte adäquat berücksichtigt)

Sina misst morgens ihren Puls, dann springt sie ein paar Minuten mit dem Springseil und misst dann wieder ihren Puls. Dasselbe wiederholt sie mittags und abends. Jetzt vergleicht sie die Ergebnisse miteinander. (VPN 371)

Diese Experimentplanung eignet sich vollständig für eine naturwissenschaftliche Untersuchung der Testfaktoren Bewegung und Tageszeit, da zunächst Ruhe- und Bewegungspuls zur selben Tageszeit gemessen werden, woraus eindeutige Schlussfolgerungen über die Wirkung des Faktors Bewegung gezogen werden können. Ein Vergleich dieser Ansätze mit wiederholten Messungen zu anderen Tageszeiten erlaubt darüber hinaus eindeutige Aussagen über die Wirkung des Faktors Tageszeit. Ein Vergleichsgedanke wird außerdem explizit ausgedrückt.

Die Stufen können auf das Experiment zur Samenkeimung, das die Schüler im Nachtest planen sollten, übertragen werden. Dort mussten die Faktoren Wasser, Wärme und Licht kontrolliert variiert werden.

Darüber hinaus wurden die drei Aspekte der Planung von Experimenten einzeln differenziert betrachtet. D.h. es wurde im Gegensatz zu den beschriebenen Stufen nicht nur zwischen der vollständig korrekten oder nicht vollständig korrekten Durchführung der Variablenkontrolle unterschieden. Stattdessen wurden die Fähigkeiten der Schüler abgestuft betrachtet.

Umgang mit konfundierten Experimenten

In den Aufgaben zur Bewertung konfundierter Experimente wurden im Vortest und im Nachtest Experimente zum menschlichen Herzschlag dargestellt.

Im Vortest wurden ein konfundiertes Experiment und ein nicht konfundiertes Experiment kontrastierend nebeneinander gestellt (Abbildung 23). Die Experimente enthielten entgegengesetzte Schlussfolgerungen über die Wirkung des Faktors Hunger auf den Herzschlag. Diese kamen dadurch zustande, dass aufgrund der Konfundierung ein steigender Pulsschlag auch dem Faktor Hunger zugeschrieben wurde, die Pulserhöhung jedoch tatsächlich durch eine gleichzeitig durchgeführte Bewegung zustande kam. Das Experiment

enthielt hier also einen unlogischen Schluss. In dem nicht konfundierten Experiment wurde dagegen nur der Faktor Hunger einzeln untersucht und dessen Irrelevanz für den Herzschlag belegt. Die konfundierten Faktoren wurden in der Aufgabenstellung explizit genannt und tabellarisch gut erkennbar aufgeführt, so dass die Konfundierung offen erkennbar war.

Aufgabe der Schüler war es, zur Ursache der unterschiedlichen Schlussfolgerungen Stellung zu nehmen.

(2) Max und Anna haben beide Experimente zum Herzschlag gemacht, in denen sie sich selbst untersucht haben.

Max	Ansatz 1	Ansatz 2
körperliche Aktivität	in Ruhe	nach 20 Kniebeugen
Hunger	satt	hungrig
Alter	13	13

↓ ↓

Puls	84	95
------	----	----

⇒ **Max Schlussfolgerung:** Hunger und körperliche Bewegung beschleunigen den Herzschlag

Anna	Ansatz 1	Ansatz 2
körperliche Aktivität	in Ruhe	in Ruhe
Hunger	satt	hungrig
Alter	13	13

↓ ↓

Puls	84	84
------	----	----

⇒ **Annas Schlussfolgerung:** Hunger hat keinen Einfluss auf den Herzschlag

Warum kommen Max und Anna zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen? Kreuze die richtige Antwort an und vervollständige den Satz.

Max hat etwas falsch gemacht, und zwar...

Anna hat etwas falsch gemacht, und zwar...

Beide haben etwas falsch gemacht, und zwar...

Niemand hat etwas falsch gemacht, aber...

Abbildung 23: Vortestaufgabe zum Erkennen von konfundierten Experimenten

Bei der entsprechenden Aufgabe des Nachtest wurde die Konfundierung dagegen weniger offen dargestellt. Hier wurde ein Experiment zum menschlichen Herzschlag vorgestellt, in dem als einziger Testfaktor der Einfluss des Geschlechts auf den Herzschlag untersucht werden sollte (Abbildung 24):

(3) Frau Dr. Harts von der Uni-Klinik in Kiel will ihren Studenten mit einem naturwissenschaftlichen Experiment zeigen, dass **das Herz bei Männern und Frauen unterschiedlich schnell schlägt**. Dazu hat sie den Pulsschlag ihrer männlichen Kollegen, Dr. Heiser und Dr. Stark, und ihrer zwei Töchter, Ina und Lisa, gemessen und in folgender Tabelle festgehalten:

Testpersonen	Herzschläge/Minute
Ina	85
Lisa	84
Herr Dr. Heiser	73
Herr Dr. Stark	75

Wie findest Du das Experiment? Zeigt es, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben? Kreuze die richtige Antwort an und vervollständige den Satz.

Das Experiment zeigt, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben, weil ...

Das Experiment zeigt nicht, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben, weil ...

Abbildung 24: Nachtestaufgabe zum Umgang mit konfundierten Experimenten

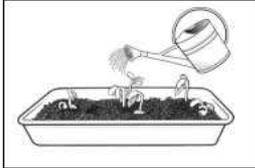
In der Aufgabenstellung wird nur das Geschlecht der Probanden direkt angesprochen. Aus der Aufgabenstellung ging dagegen auch hervor, dass das Alter der Versuchspersonen sehr unterschiedlich war und damit einen zweiten potenziellen Einflussfaktor darstellen könnte. Die Schüler waren nun aufgefordert, zur Eindeutigkeit der Ergebnisse und damit zur versteckten Konfundierung von Alter und Geschlecht der Probanden Stellung zu nehmen.

Bei der Kodierung der Schülerantworten wurde unterschieden, ob bzw. wie die versteckte Konfundierung entdeckt und als Ursache der Unterschiede in den Schlussfolgerungen benannt wurde.

Auswertung experimenteller Daten

Als weiterer Aspekt des Verständnisses der Schüler wurde im Nachtest darüber hinaus eine Aufgabe zur Analyse experimenteller Daten eingesetzt, in der die Schüler zwischen bewiesener und unbewiesener Kausalität unterscheiden sollen. Dazu müssen sie in einem gegebenen Experiment zur Samenkeimung von Bohnensamen unterscheiden, welche Faktoren des Experiments Testfaktoren und welche andere Faktoren darstellen (Abbildung 25).

(2) Jannick ist davon überzeugt, dass die Faktoren **Licht** und **Wärme** für die Samenkeimung notwendig sind. Er fängt mit einem ersten Experiment an, um seine Überzeugung zu überprüfen:

Topf 1		Topf 2	
			
Licht	20°C	kein Licht	20°C
Erde	Wasser	Erde	Wasser

Jannick zieht folgende Schlussfolgerung aus dem Experiment:

„Der Vergleich von Topf 1 und 2 zeigt, dass Licht für die Samenkeimung nicht notwendig ist, denn die Samen keimen sowohl mit Licht (Topf 1) als auch ohne Licht (Topf 2). Daher muss ich meine Überzeugung ändern: Das Experiment zeigt, dass für die Samenkeimung nicht Licht, sondern nur Erde, Wasser und Wärme notwendig sind.“

Was denkst Du über Jannicks Schlussfolgerung? Kreuze die richtige Antwort an und vervollständige den Satz.

Jannicks Schlussfolgerung ist richtig, denn...

Jannicks Schlussfolgerung ist nicht richtig, denn...

Abbildung 25: Nachtestaufgabe zum Auswertung experimenteller Daten

In dem Experiment sind die Faktoren Erde, Licht, Wasser und Wärme aufgeführt. Diese erhalten durch die Aufgabenstellung unterschiedliche Funktionen für die Analyse des Verständnisses der Schüler. In der Aufgabenstellung wurden die Faktoren Licht und Wärme als Testfaktoren des Experiments hervorgehoben. Tatsächlich wird in dem Experiment jedoch nur die Wirkung des Faktors Licht untersucht, da es aus zwei Ansätzen besteht, die sich nur in diesem Faktor unterscheiden. Die Faktoren Erde und Wärme wurde dagegen weder in der Fragestellung angesprochen, noch in dem Experiment als Testfaktoren untersucht. Die gegebene Schlussfolgerung aus dem Experiment postuliert dagegen den Nachweis, dass zwar Licht nicht notwendig sei, jedoch die Relevanz der Faktoren Wärme, Wasser und Erde erwiesen sei. Hinsichtlich des Faktors Licht ist diese Schlussfolgerung gültig, hinsichtlich der anderen Faktoren jedoch ungültig, da hier unbewiesene Kausalitäten angeführt werden. Tabelle 12 bietet einen Überblick über die unterschiedlichen Funktionen der Faktoren im Experiment und der Aufgabenstellung.

Tabelle 12: Funktion der Faktoren in der Aufgabe zur Datenanalyse

Faktor	In der Fragestellung angesprochen?	Im Experiment untersucht?	In der Schlussfolgerung angesprochen?	Schlussfolgerung gültig?
Licht	Ja	Ja	Ja	Ja
Wärme	Ja	Nein	Ja	Nein
Wasser	Nein	Nein	Ja	Nein
Erde	Nein	Nein	Ja	Nein

Durch die verschiedenen Merkmale der Faktoren stellen ihre Bewertungen unterschiedliche Anforderungsniveaus an die Schüler dar. Am einfachsten stellt sich die Bewertung des Faktors Licht dar, da dieser als Testfaktor in der Fragestellung genannt und im Experiment untersucht wurde sowie korrekt in der Schlussfolgerung berücksichtigt wurde.

Der Faktor Wärme wurde dagegen zwar in der Aufgabenstellung als intendierter Testfaktor benannt, jedoch in der Experimentplanung nicht berücksichtigt. Die Entdeckung der ungültigen Schlussfolgerung für diesen Faktor wird durch den Fokus der Aufgabenstellung vermutlich erschwert. Die Faktoren Erde und Wasser sind wiederum nur in den Versuchsansätzen, nicht aber in der Fragestellung genannt, wodurch der Fokus der Schüler nicht auf diese Faktoren gelenkt wird. Dadurch entspricht die Entdeckung der ungültigen Schlussfolgerung für diese Faktoren vermutlich einem noch höheren Schwierigkeitsgrad.

Die Aufgabenkonstruktion wird durch die von den Schülern erreichten Lösungswahrscheinlichkeiten in der Hauptstudie bestätigt: 77,4% (N=248) können entsprechend des gegebenen Experiments die dargestellte Irrelevanz des Faktors Licht für die Samenkeimung methodisch richtig interpretieren. Dagegen können nur noch 40,3% der Schüler erkennen, dass der in der Fragestellung angegebene Faktor Wärme, nicht untersucht wurde und daher in der Schlussfolgerung nicht berücksichtigt werden dürfte. Die beiden Faktoren, die nicht in der Fragestellung angesprochen wurden, die jedoch ebenso wie der Faktor Wärme nicht untersucht, aber in der Schlussfolgerung berücksichtigt wurden, konnten jedoch nur noch 22,2% bzw. 21,8% der Schüler derart identifizieren. Das bedeutet, dass die Schüler die Faktoren entsprechend derer Zentrierung in der Aufgabenstellung richtig einordnen konnten: zentrierte Faktoren besser als nicht zentrierte Faktoren. Die Abnahme der Lösungswahrscheinlichkeiten geht jeweils darauf zurück, dass die Schüler die Faktoren gar nicht ansprechen, d.h. die ungültige Schlussfolgerung nicht korrigieren.

Darüber hinaus zeigt sich, dass 21,0% der Schüler die ungültige Schlussfolgerung auf nicht untersuchte Faktoren als solche identifizieren können.

3.4.4.4 Testdurchführung

Der Gesamtumfang der drei Testinstrumente stellte für die Schüler der sechsten Klassenstufe eine große Herausforderung dar, die ihnen ein konzentriertes Bearbeiten anspruchsvoller Aufgaben über einen Zeitraum von 45 Minuten abverlangte. Obwohl in dieser Klassenstufe laut Aussage der Fachlehrer normalerweise nur 20-minütige Konzentrationsphasen durchgeführt werden, waren die Schüler in der Lage, die gesteigerten Anforderungen der vorliegenden Studie zu erfüllen. Allerdings erwiesen sich die Testinstrumente in ihrer Gesamtheit als zu lang. Vor allem die offenen Aufgaben des Verständnistests erforderten vor allem im Vortest, in dem die Schüler noch wenig Wissen über das Experimentieren besaßen, einen größeren Zeitaufwand als erwartet. Aus diesem Grund wurde dieser Testteil für die Hauptstudie um eine Aufgabe reduziert.

Da im Methodenwissenstest durchgängig Experimente enthalten waren, in denen eine naturwissenschaftlich adäquate Experimentplanung dargestellt wird, wurden die Verständnistests, in denen die Schüler gerade solche Planungen selbstständig vornehmen sollten, jeweils als erstes bearbeitet und nach der Bearbeitung eingesammelt. Erst im Anschluss wurde die Tests zum methodischen und epistemologischen Wissen von den Schülern beantwortet.

3.4.5 Auswertungsmethoden

Für die Beantwortung der Fragestellungen dieser Studie wurden statistische Tests der klassischen Testtheorie angewendet. Die konkrete Auswahl der statistischen Testverfahren hing neben der Fragestellung von den Anwendungsvoraussetzungen der Tests, insbesondere dem Skalenniveau der Daten, der Verteilungsannahme, der Stichprobengröße und dem Untersuchungsdesign ab (Lücken, 2007). Da es sich bei den eingesetzten Tests insgesamt um gängige Auswertungsmethoden handelt, sollen diese nur kurz mit der Begründung der Auswahl dargestellt werden. Für eine detaillierte Darstellung der statistischen Verfahren sei auf die einschlägige Literatur z.B. der Sozialwissenschaften verwiesen (z.B. Bortz, 1999).

Mittelwertsunterschiede

Für die Analyse von Mittelwertsunterschieden stehen grundsätzlich zwei unterschiedliche Testverfahren zur Verfügung, nämlich parametrische Tests für mindestens intervallskalierte Daten und nicht parametrische Tests für ordinale Daten (Bortz, 1999; Lücken, 2007). Nichtparametrische Tests werden darüber hinaus durchgeführt, wenn die Daten die Anwendungsvoraussetzungen für parametrische Tests nicht erfüllen. Dies sind im Besonderen die Voraussetzung der Normalverteilung, gleicher Stichprobengrößen und der Varianzhomogenität (Bortz, 1999; Lücken, 2007).

Im Folgenden wird dargestellt, welche Testverfahren für die unterschiedlichen Daten dieser Studie gewählt wurden.

Es wurden zwei Arten von Mittelwertsunterschieden untersucht, nämlich die Unterschiede im Mittelwert einer Stichprobe zu zwei verschiedenen Messzeitpunkten und die zwischen zwei unabhängigen Stichproben zum selben Messzeitpunkt.

Das gängigste Testverfahren beider Arten von Mittelwertsunterschiede ist der **t-Test**. Die Durchführung von t-Tests setzen das Vorliegen metrischer bzw. mindestens intervallskalierter Daten, die Normalverteilung und Varianzhomogenität der Daten voraus (Bortz, 1999; Bühl & Zöfel, 2005; Lücken, 2007). Bei Stichprobengrößen von mehr als 50 Versuchspersonen verhalten sich t-Tests jedoch gegenüber einer Verletzung der Normalverteilungsvoraussetzung robust, so dass die t-Tests auch bei nicht normalverteilten Daten angewendet werden können (Bortz, 1999; Lücken, 2007). Gleiches gilt für

Voraussetzung der Varianzhomogenität, die darüber hinaus bei gepaarten t-Tests, d.h. bei Messwiederholungen derselben Stichprobe a priori angenommen wird (Bortz, 1999; Lücken, 2007).

Die Voraussetzungen zur Anwendung von t-Test wurden in dieser Studie von den Scores des Methodenwissenstests und des Epistemologiewissenstests erfüllt, so dass die Wissensentwicklungen der jeweiligen Zellen bzw. Gruppen von Zellen durch t-Tests analysiert wurden. Die Entwicklung des Gesamtttestescores, der sich gleichgewichtet aus dem Methodenwissenstest, Epistemologiewissenstest und Verständnistest zusammensetzt, konnte ebenfalls mithilfe von t-Tests untersucht werden. Durch die Aggregation der Daten kann der Gesamtttestscore als mindestens intervallskaliert aufgefasst werden (Bortz, 1999), so dass auch hier die Voraussetzungen für die Anwendung von t-Tests gegeben waren, obwohl dieser Score auch die ordinalen Daten des Verständnistests enthielt.

Bei einzelnen Scores wurde die Voraussetzung gleicher Größen der verglichenen Teilstichproben, die zur Anwendung von t-Tests gegeben sein muss, nicht erfüllt. Dies trat z.B. im Nachtest beim Vergleich von Schülern, denen methodisches Wissen vermittelt wurde, und Schülern, denen zusätzlich epistemologisches Wissen vermittelt wurde, auf. In diesen Fällen wurden zur Absicherung auch entsprechende nichtparametrische Tests, die bei der Verletzung der Voraussetzungen anzuwenden sind, durchgeführt. Da diese jedoch ausnahmslos die Signifikanzen der parametrischen Tests bestätigt haben, wird bei der Darstellung der Ergebnisse dieser Studie der Übersichtlichkeit halber auf die Angabe der nichtparametrischen Tests verzichtet.

Für die Analyse von Mittelwertsunterschieden von ordinalen Daten sind dagegen nicht parametrische Testverfahren anzuwenden. Wenn die Daten in zwei unabhängigen Stichproben vorliegen, ist hierfür der U-Test nach Wilcoxon, Mann und Whitney geeignet (Bortz, 1999; Bühl & Zöfel, 2005; Lücken, 2007). Wird jedoch eine Wiederholungsmessung derselben Stichprobe untersucht, wird üblicherweise der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen durchgeführt.

Nicht parametrische Testverfahren wurden in dieser Studie zur Auswertung der ordinalen Daten des Verständnistests durchgeführt. Zur Analyse der Verständniseentwicklung derselben Stichprobe wurden U-Tests eingesetzt, zum Vergleich des Verständnisses verschiedener Teilstichproben dagegen Wilcoxon-Tests.

Die statistischen Auswertungen in dieser Arbeit wurden mithilfe des Statistikprogramms SPSS Version 15.0 für Windows durchgeführt.

3.5 Ergebnisse

3.5.1 Beschreibung der Ausgangslage

Das Ziel dieses Kapitels ist die qualitative Beschreibung der kognitiven Fähigkeiten, die Schüler der sechsten Klasse am Gymnasium im Bereich des naturwissenschaftlichen Experimentierens durchschnittlich besitzen, und zwar hinsichtlich des Methodenwissens, des Epistemologiewissens und des Verständnisses des Experimentierens. Da es bei diesen Auswertungen nicht um Unterschiede zwischen Individuen oder Lerngruppen, sondern um eine Darstellung durchschnittlicher Fähigkeiten der Schüler der 6. Klassen geht, werden alle Schüler, die an der Studie teilgenommen haben, als einheitliche Stichprobe behandelt. Eine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Gruppen der anschließenden Wissensvermittlungen, die erst für die Auswertungen der Hypothesen der Studie entscheidend ist, wird nicht vorgenommen.

Methodenwissen

Vor Durchführung der Interventionen besaßen die an dieser Studie teilnehmenden Schüler relativ geringes Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren. Das äußerte sich darin, dass sie im Methodenwissenstest von 28 möglichen Punkten im Durchschnitt nur rund die Hälfte ($N = 315$, $M = 14,67$, $SD = 5,07$) erreichten. Die Identifikation von Hypothesen aus gegebenen Experimenten fiel ihnen dabei leichter, als die geeignete Kombination experimenteller Ansätze zur Überprüfung einer gegebenen Fragestellung aus vorgegebenen multiple choice-Antworten auszuwählen. Dementsprechend war die mittlere Lösungswahrscheinlichkeit der Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen mit 57,66% mehr als doppelt so hoch wie die mittlere Lösungswahrscheinlichkeit der Aufgaben zum Planen von Experimenten mit 21,87%. Im Folgenden sollen die von den Schülern gewählten multiple choice-Antworten hinsichtlich der dahinter verborgenen Schülervorstellungen über die Methode des Experimentierens genauer analysiert werden³⁴:

Ca. ein Drittel der Schüler ($n = 111$) wählten bei mindestens einer Aufgabe eine Hypothese, die auf das Erreichen eines Effektes im Gegensatz zur Untersuchung einer Ursache-Wirkungsbeziehung ausgerichtet ist. 74,3% der Schüler ($n = 240$) wählten außerdem mindestens einmal eine Hypothese, die nicht die im gegebenen Experiment untersuchten Testfaktoren, sondern andere nicht getestete Faktoren enthält. Im Durchschnitt selektierten die Schüler eine solche falsche Variablenkombination in der Hypothese in zwei von sieben Aufgaben. 11,5% der Schüler ($n = 37$) waren dagegen in der Lage, in allen sieben Aufgaben

³⁴ Diese Analyse kann nur innerhalb der in den Antworten vorgegebenen Schülervorstellungen erfolgen, bildet also die tatsächlichen Schülervorstellungen der Teilnehmer nicht exakt ab. Für die Grundsätze der Testkonstruktion s. Kapitel 3.4.4.1.

die korrekte Hypothese, d.h. die untersuchten Testfaktoren zu benennen. 8,4% der Schüler ($n = 27$) waren dazu in keiner der sieben Aufgaben fähig.

Beim Planen von Experimenten waren dagegen nur 1,2% ($n = 4$) der Schüler in der Lage, alle sieben Aufgaben korrekt zu lösen, d.h. aus den multiple choice-Antworten die Ansatzkombination auszuwählen, mit der die gegebene Fragestellung eindeutig überprüft werden kann. 129 Schüler (39,9%) waren dazu bei keiner der Aufgaben fähig. Fast zwei Drittel der Schüler ($n = 205$) wählten mindestens einmal ein Experiment aus, bei dem zwischen den beiden Ansätzen alle Variablen, d.h. Testvariablen und Nicht-Testvariablen variiert wurden („*change all*-Experiment“). Durchschnittlich entschieden sich die Schüler bei ein bis zwei Aufgaben für dieses Experimentdesign. Darüber hinaus entschieden sich 201 Schüler (62,2%) bei mindestens einer Aufgabe für ein konfundiertes Experiment, bei dem beide Testfaktoren zwischen den Ansätzen gleichzeitig verändert wurden, so dass das Experiment keine eindeutigen Aussagen über die Wirkung der einzelnen Faktoren zulässt. Auch diese Art der Experimentplanung wurde von den Schülern durchschnittlich bei ein bis zwei Aufgaben ausgewählt.

Epistemologiewissen

Mit dem eingesetzten Testinstrument wird das epistemologische Wissen der Schüler nicht in allen Facetten der naturwissenschaftlichen Epistemologie erhoben. Vielmehr wird – dem Alter der Schüler und dem Ziel der Studie entsprechend – ein Ausschnitt der Epistemologie untersucht, nämlich epistemologisches Wissen, das in engem Bezug zum Erkenntnisprozess des Experimentierens steht (s. Kapitel 3.4.4.2). In diesem Bereich besaßen die an der Studie teilnehmenden Schüler vor den Interventionen noch relativ wenig systematisches Epistemologiewissen. Außerdem ließen sie teilweise alternative, d.h. nicht-naturwissenschaftliche Vorstellungen von der Erkenntnisgewinnung und der Bedeutung von Experimenten erkennen:

Von der Höchstpunktzahl (45 Punkte) erreichten die Schüler vor den Interventionen durchschnittlich 26,87 Punkte ($N = 323$, $SD = 5,30$). In einigen Aspekten der Erkenntnisgewinnung durch naturwissenschaftliche Experimente zeigten sie dabei bereits vergleichsweise adäquate Vorstellungen: Z.B. wussten 281 Schüler (89,8%), dass ein Experiment der Überprüfung einer Vermutung dient, darin Wissen widerlegt werden kann ($n = 227$, 74,2%) und man bei widersprechenden Ergebnissen seine bisherigen Überzeugungen ändern muss ($n = 199$; 65,2%). Dazu hielten es viele Schüler für wichtig, vor Durchführung eines Experiments eine zu untersuchende Fragestellung festzulegen ($n = 269$, 89,7%). Außerdem erachteten es zwei Drittel der Schüler als relevant, vor der Durchführung des Experiments die erwarteten Ergebnisse festzuhalten ($n = 199$, 66,3%).

Andererseits verbanden viele Schüler mit dem Experimentieren auch Ziele und Vorgehensweisen, die nicht mit dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess in Einklang

gebracht werden können: z.B. schrieben 247 Schüler (79,4%) dem Experimentieren die Funktion der Wissensdarstellung statt Wissensgewinnung zu, 218 Schüler (71,2%) sahen unerwartete Ergebnisse als Folge von Fehlern in der Durchführung von Experimenten an und 43,8% (n = 131) hielten es für einen Fehler, Messungen vor der konkreten Durchführung im Experiment zu planen. Ein gutes Experiment zeichnete sich für sie dadurch aus, dass bekanntes Wissen möglichst deutlich vorgeführt wird (n = 193, 65,9%) und es erwartete Ergebnisse hervorbringt (n = 214, 73,3%). Dementsprechend hielten sie es mehrheitlich für ratsam, nur solche Messwerte zu verwenden, die die gewünschten Ergebnisse deutlich zeigen (n = 190, 66,2%). Mehr als die Hälfte der Schüler (n = 195, 63,1%) wollte darüber hinaus erst die Ergebnisse eines Experiments abwarten, bevor sie das Ziel des durchgeführten Experiments festlegen. Diese nicht naturwissenschaftlichen Vorstellungen über die Epistemologie des Experimentierens entsprechen dem in Kapitel 2.1.7.1 vorgestellten Ingenieursmodus des Experimentierens, bei dem das Erreichen eines gewünschten Effekts das Hauptziel des Experimentierens darstellt, während die gezielte Untersuchung von Ursache-Wirkungsbeziehungen von Faktoren vernachlässigt wird (Schauble et al., 1991).

Verständnis

In diesem Testteil wird das Verständnis der Schüler anhand einer offenen und einer halb offenen Aufgabe zum naturwissenschaftlichen Experimentieren erhoben. Das Aufgabenformat enthält dabei – im Gegensatz zum multiple choice-Test des Methodenwissens – nur sehr geringe Vorgaben, so dass die Schüler ihr Wissen und Verständnis weitgehend selbstständig darstellen müssen. Diese Art der Aufgabenstellung erlaubt es, die kognitiven Fähigkeiten der Schüler beim Experimentieren umfassender zu untersuchen als geschlossene Aufgabenformate (Hammann et al., 2008; White, 1988). Es kann damit besser zwischen naturwissenschaftlich adäquaten kognitiven Fähigkeiten und von der naturwissenschaftlichen Sichtweise abweichenden Schülervorstellungen über die Methode des Experimentierens unterschieden und ein realistischeres Bild der kognitiven Fähigkeiten der Schüler im Bereich des Experimentierens erstellt werden.

Selbstständiges Planen von Experimenten

In der Aufgabe zum selbstständigen Planen von Experimenten wurden die Schüler aufgefordert, ein Experiment zu entwerfen, durch das die Wirksamkeit von zwei Testfaktoren untersucht werden kann, und ihre Planung kurz zu begründen. Konkret sollten die Schüler ein Experiment theoretisch entwickeln, mit dem man die Wirkung von körperlicher Bewegung und der Tageszeit auf den menschlichen Herzschlag untersuchen kann (s. Kapitel 3.4.4.3). Dazu mussten sie die methodischen Regeln naturwissenschaftlicher Experimente selbstständig anwenden, indem sie für die zwei Testfaktoren die Variablenkontrolle und das

Prinzip des Kontrollansatzes berücksichtigen. Die Analyse der Experimentplanungen der Schüler ergab folgendes Bild:

Ein naturwissenschaftlich adäquates Vorgehen zeigten in den untersuchten Kategorien des Planens von Experimenten jeweils weniger als die Hälfte der Schüler (N = 308):

Vor der Intervention ließen 43,8 %, der Schüler (n = 135) einen Vergleichsgedanken in ihren Experimentbeschreibungen erkennen. Damit war ihnen offensichtlich bewusst, dass man Wissen über kausale Zusammenhänge zwischen Variablen nur durch den Vergleich von mehreren Ansätzen gewinnen kann. Rund die Hälfte dieser Gruppe von Schülern (n = 69, 22,4%) sprach dabei den Vergleich explizit an, wie z.B. VPN 9:

„Ich würde morgens mich eine Minute auf einen Stuhl setzen und dann den Puls messen. Danach würde ich eine Minute „Seil springen“ und wieder den Puls messen. Das würde [ich] noch mal mittags und abends machen. *Jetzt würde ich alles vergleichen.*“

Die andere Hälfte der Gruppe von Schülern (n = 66, 21,4%) integrierten in die Experimentbeschreibungen implizite Vergleiche. Sie stellten z.B. Ansätze auf um zu sehen „ob sich ihr Herzschlag verändert“ (VPN 130).

Nur ca. ein Drittel der teilnehmenden Schüler konnten zu diesem Zeitpunkt die Regeln des Kontrollansatzes (35, 1%, n = 108) und der Variablenkontrolle (33,1%, n = 102) für beide Testfaktoren in diesem einfachen experimentellen Kontext vollständig anwenden. Ein gelungenes Beispiel dafür ist die bereits dargestellte Experimentplanung des Schülers VPN 9 (s.o.).

Dagegen wiesen die meisten Schüler Probleme bezüglich der Anwendung von Kontrollansatz und Variablenkontrolle auf:

11,0 % (n = 34) der Schüler planten ihr Experiment als Solitäransatz gänzlich ohne Kontrollansatz, d.h. sie untersuchten alle Testfaktoren anhand eines einzigen Ansatzes ohne Berücksichtigung einer experimentellen Kontrolle. Diese Vorgehensweise wird oft dem Ingenieursmodus des Experimentierens zugeschrieben (Schauble et al., 1991), bei dem Wissen nicht durch systematische Überprüfung, sondern durch Ausprobieren gewonnen wird (vgl. Kapitel 2.1.7.1). Es wurde dabei nicht klar, woraus die Schüler bei solchem Vorgehen das Wissen über die Faktoren genau ableiten würden, z.B. VPN 275, der nur eine Pulsmessung einplante:

„Um 7.00 Uhr abends stellt sie sich auf einen Stuhl und fängt an Seil zu springen. Dann eine Stunde später nimmt sie das Pulsmessgerät und misst ihren Puls. Ich bin der Meinung, dass man abends einen niedrigeren Puls hat.“

Hinsichtlich der Analyse der Schülerfähigkeiten zur Variablenkontrolle ist eine Vorbemerkung notwendig: Ein bemerkenswert großer Anteil von Schülern war nicht in der

Lage, in ihrer Experimentplanung die geforderten Testfaktoren vollständig zu berücksichtigen: Nur etwas mehr als die Hälfte der Schüler ($n = 167$, 51,7%) sprach in ihren Planungen beide in der Aufgabenstellung genannten Variablen an (Bewegung und Tageszeit). Dagegen bezogen 44,5 % ($n = 137$) der Schüler nur eine der geforderten Variablen in ihre Planungen ein. In den überwiegenden Fällen war dies der Faktor Bewegung. Das vereinfachte die Aufgabenstellung für die Schüler in methodischer Hinsicht stark, da z.B. eine Konfundierung von Testfaktoren bei der Untersuchung eines einzelnen Testfaktors gar nicht auftreten konnte. Dadurch war die Variablenkontrolle für sie deutlich einfacher zu bewerkstelligen. In Folge dessen ist es nur eingeschränkt möglich, Aussagen über die Schülerfähigkeiten in diesem Bereich zu treffen.

Von den Schülern, die beide Testfaktoren berücksichtigten, planten 12,3% ($n = 15$) konfundierte Experimente, bei denen die Experimentansätze sich in beiden untersuchten Testfaktoren gleichzeitig unterscheiden. Dies entspricht nicht der naturwissenschaftlichen Methode, weil so keine eindeutigen Schlussfolgerungen auf die Wirkung der einzelnen Faktoren möglich sind. Dieses Vorgehen zeigte beispielsweise VPN 470:

„Als erstes springt Sina Seil und misst ihren Puls. Dann um eine andere Tageszeit z.B. abends um sieben misst sie ihren Puls wieder, während sie auf dem Stuhl ruhig sitzt.“

Als Begründung führte dieser Schüler an, dass „man so gucken kann, was einen höheren und tieferen Puls aufweist“. Die Gegenüberstellung zweier konfundierter Experimentansätze erlaubte ihm seiner Meinung nach, Rückschlüsse auf die Wirkungsweise der Testfaktoren zu ziehen.

Die überwiegende Mehrheit dieser Gruppe ($n = 102$; 83,6%) konnte dagegen beide Variablen vollständig kontrollieren. Die restlichen Schüler planten einen Solitäransatz ohne Kontrollansatz ($n = 3$; 2,5%) oder ein gänzlich unsystematisches Experiment ($n = 2$; 1,6%).

Die Planung von konfundierten Experimenten stellt normalerweise ein häufig auftretendes Problem für Schüler dieses Alters dar (Schauble et al., 1991). Es ist zu vermuten, dass der Anteil konfundierter Experimentplanungen höher ausgefallen wäre, wenn mehr Schüler beide Testfaktoren in ihren Planungen berücksichtigt hätten.

Auf eine kleine Gruppe der Schüler (5,8%, $n = 18$) konnten die Anforderungen beim Planen von Experimenten keine Anwendung finden, weil sie sich mit ihrem Verständnis vom Experimentieren vollständig außerhalb des naturwissenschaftlichen Rahmens bewegten. Für sie besaßen Experimente nicht die Funktion der Wissensgewinnung sondern der Wissensdarstellung. Ihre Aufgabenlösungen enthielten daher keine experimentellen Ansätze zur Überprüfung von Wissen, sondern die ihrer Meinung nach zutreffenden biologischen Bezüge des Testgegenstands. Ein Beispiel hierfür ist der Schüler VPN 201:

„Wenn Sina mit einem Springseil springt und dann ihren Puls misst, wird er schneller sein. Setzt sie sich dann auf einen Stuhl und wartet, wird der Pulsschlag wieder weniger. Über die Tageszeit bin ich mir unsicher.“

Gegenüberstellung eines konfundierten Experiments mit zwei Testfaktoren und eines kontrollierten Experiments mit einem Testfaktor

In dieser Aufgabe wurde das Verständnis der Schüler in Hinblick auf die Variablenkontrolle in naturwissenschaftlichen Experimenten genauer analysiert. Dazu wurden in der Aufgabenstellung zwei Experimente zum Thema Pulsschlag gegeben, in denen der Einfluss von Bewegung und Hunger auf den Herzschlag untersucht wird. Die dargestellten Experimente enden mit widersprüchlichen Schlussfolgerungen: Während ein Experiment, in dem nur der Faktor Hunger untersucht wird, die Irrelevanz dieses Faktors beweist, führt das zweite Experiment, in dem Hunger und Bewegung konfundiert untersucht werden, zu dem Schluss, dass beide Faktoren den Herzschlag beeinflussen (s. Kapitel 3.4.4.3). Das liegt daran, dass im Falle des konfundierten Experiments der Effekt der Pulsbeschleunigung bei Vorhandensein von Hunger eintritt, allerdings tatsächlich durch die gleichzeitig durchgeführte körperliche Bewegung verursacht wird. Durch die konfundierte Experimentplanung wird ein kausaler Zusammenhang zwischen Hunger und der Pulsbeschleunigung nur vorgetäuscht.

Aufgabe der Schüler war es, zu den Experimenten und im Besonderen zur Ursache der unterschiedlichen Schlussfolgerungen Stellung zu nehmen. Dabei mussten sie ihr methodisches Wissen zum Experimentieren kritisch auf die gegebenen Experimente anwenden und zeigen, ob sie einen typischen methodischen Fehler, nämlich das gleichzeitige Verändern zweier Variablen zwischen zwei Ansätzen (Konfundierung), erkennen und in seiner Bedeutung korrekt bewerten können.

Für die teilnehmenden Schüler ($N = 298$) stellte sich diese Aufgabe als relativ schwierig dar: Nur 8,7% von ihnen ($n = 26$) konnten die Aufgabe vollständig lösen, d.h. sowohl die Logik des dargestellten Experimentes verstehen, die Konfundierung identifizieren als auch die betroffenen Variablen korrekt benennen. Als Beispiel sei die Antwort von VPN 471 angeführt: „Max hat etwas falsch gemacht, und zwar kann er nicht richtig sagen, was den Puls verändert. Es können z.B. nur die 20 Kniebeugen gewesen sein, die seinen Puls in Gang brachten.“. Dieser Schüler hat die eingeschränkte Aussagekraft des konfundierten Experiments erkannt und dessen Eindeutigkeit dementsprechend in Frage gestellt.

Im Gegensatz dazu identifizierten 56,4% der Schüler ($n = 168$) die Konfundierung gar nicht, z.B. weil sie individuelle Unterschiede zwischen den Probanden für die verschiedenen Pulsentwicklungen verantwortlich machten (VPN 256: „Niemand hat etwas falsch gemacht, aber der Pulsschlag ist bei jedem anders.“). Weitere 13,8% ($n = 41$) identifizierten die Konfundierung zwar, jedoch stellte diese für sie keinen Fehler, sondern nur ein Merkmal des

Experiments dar, wie bei VPN 126: „Niemand hat etwas falsch gemacht, aber Max hat 20 Kniebeugen gemacht und Anna war immer ruhig.“. Für diese Schüler scheint eine Schlussfolgerung über die Kausalität eines Faktors relativ zum jeweils durchgeführten Experiment gezogen zu werden. Für sie können unterschiedliche Experimente zu gegenteiligen Schlüssen führen, wenn sich die Variablenkonstellationen in den Ansätzen unterscheiden.

Einige Schüler lieferten in ihren Antworten Verbesserungsvorschläge für die gegebenen Experimente mit. Bemerkenswert ist, dass nur 11,1 % der Schüler ($n = 33$) eine Veränderung vorschlugen, die tatsächlich eine Verbesserung der methodischen Planung darstellen würde, indem z.B. nur ein Faktor im gesamten Experiment variiert wird oder aber beide Faktoren nacheinander (z.B. VPN 210: „Er hätte beides in Ruhe machen sollen oder beides satt. Er hätte natürlich auch in Ruhe satt und hungrig und nach 20 Kniebeugen auch satt und hungrig messen können.“).

Ein kleiner Teil der Schüler ($n = 15$, 5,0%) schlug dagegen vor, gerade das unkonfundierte Experiment nach dem Vorbild des konfundierten Experiments zu verändern, also die naturwissenschaftliche korrekte und eindeutige Experimentplanung in ein Experiment mit tatsächlich eingeschränkter Aussagekraft zu verwandeln. Ein Beispiel hierfür ist VPN 209: „Anna hat etwas falsch gemacht, und zwar, dass sie den Ansatz zwei auch in Ruhe gemacht hat. Sie müsste davor noch 20 Kniebeugen gemacht haben.“.

Das konfundierte Experiment könnte sich für diesen Schüler dadurch auszeichnen, dass es zwei statt nur eines Testfaktors untersucht und darüber hinaus zu einer Pulssteigerung führt. Gerade das Erreichen des untersuchten Effekts hat sich in zahlreichen Studie als wichtig für Schüler dieser Altersklasse erwiesen (z.B. Carey et al., 1989). Dieser Umstand wurde auch aus der Antwort des Schülers VPN 277 ersichtlich: „Anna hat etwas falsch gemacht, und zwar muss sie Sport machen um ihren 2. Puls zu verändern.“ Ziel des Experiments ist hier primär nicht die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Variablen, sondern das Erreichen des Effekts „Pulssteigerung“.

Wenige Schüler (6,4%, $n = 19$) waren gar nicht in der Lage, die Logik der dargestellten Experimente nachzuvollziehen. Infolgedessen bezogen sich die Schüler in ihren Antworten auf nicht dargestellte Zusammenhänge, so dass sie nicht nach Maßstäben der Variablenkontrolle oder des Kontrollansatzes bewertet werden konnten. Als Beispiel sei VPN 106 angeführt: „Niemand hat etwas falsch gemacht, aber Max hat ein bisschen mehr Ausdauer als Anna, weil Anna nach dem Ruhen hungrig ist und Max nach den Kniebeugen auch.“. Dieser Schüler konnte die dargestellten Experimentansätze nicht korrekt nachvollziehen. Er erkannte die in den Experimenten angegebenen Faktoren Bewegung und Hunger nicht als die untersuchten Testfaktoren, sondern verstand den Testfaktor Hunger als Folge des Faktors Bewegung. Dieser Zusammenhang ist in der Aufgabe jedoch nicht

dargestellt worden. Durch die unlogische Interpretation des Experimentdesigns war eine adäquate Betrachtung der dargestellten Experimente für ihn nicht möglich.

Diskussion

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung verfügten die Schüler über Erfahrungen beim Experimentieren aus ca. 1 ½ Schuljahren Biologieunterricht. Laut gültigem Lehrplan von Schleswig-Holstein sollten sie in dieser Zeit „Schülerexperimente“³⁵ kennen gelernt haben, unter anderem bei der Behandlung des Themas des menschlichen Blutkreislaufs (Ministerium für Bildung, 1997). Diesem Thema können die Verständnisaufgaben des eingesetzten Testinstruments zugeordnet werden. Die Fachlehrer der teilnehmenden Schüler bestätigten gegenüber der Testleiterin den gelegentlichen Einsatz von Schülerexperimenten in ihrem Unterricht. Es ist also davon auszugehen, dass die Fähigkeiten, die die Schüler zum Zeitpunkt des Vortests aufweisen, aus den Erfahrungen im jeweiligen Biologieunterricht entstanden sind bzw. von ihnen beeinflusst wurden. Sie geben damit vermutlich einen realistischen Überblick darüber, welche Fähigkeiten beim Experimentieren Schüler aus dem Biologieunterricht der Unterstufe durchschnittlich erwerben.

Die Auswertung des Methodenwissenstests offenbarte, dass es den Schülern Schwierigkeiten bereitet, gegebene Experimente hinsichtlich der zwei darin untersuchten Testfaktoren zu interpretieren. Das zeigte, dass die Schüler die Grundsätze der Experimentplanung, insbesondere die Variablenkontrolle nicht ausreichend verstanden bzw. kennengelernt haben. Folgerichtig fiel es ihnen noch schwerer, eine für die Untersuchung von zwei Testfaktoren geeignete Experimentplanung aus den gegebenen multiple choice-Antworten zu selektieren. Das führte dazu, dass durchschnittlich nur etwa jeder fünfte Schüler eine adäquate Experimentplanung auswählte, während zur Identifikation der Testfaktoren ca. jeder zweite Schüler in der Lage war.

Einen detaillierteren Blick auf die Fähigkeiten der Schüler im Umgang mit den Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes, die auch die Aufgaben des Methodenwissenstests bestimmen, bietet die Analyse des Verständnistests. Die offenen Aufgabenformate, die als Instrumente qualitativer Analysen den Nachteil großer Aufwendigkeit in der Auswertung mit sich bringen, konnten das Verständnis der Schüler exakter abbilden als die geschlossenen Aufgaben des Methodenwissenstests.

Es zeigte sich z.B. dass ca. jeder zehnte Schüler beim Experimentieren keinen Kontrollansatz berücksichtigt. Diese Information konnte aus den multiple choice-Aufgaben

³⁵ Unter Schülerexperiment wird im Schulkontext im Allgemeinen ein Experiment, das von den Schülern durchgeführt wird, verstanden (vgl. Kapitel 2.1.6). Der Begriff sagt nichts darüber aus, inwieweit diese Aktivität der naturwissenschaftlichen Methode entspricht; tatsächlich scheint der Grad der Übereinstimmung stark von der jeweiligen Lehrperson und z.B. dem Untersuchungsgegenstand abzuhängen.

des Methodenwissenstests nicht gewonnen werden, weil in den Antwortmöglichkeiten kein Solitäransatz vorhanden war.

Ein Aspekt, der ebenfalls nur in den offenen Aufgabenformaten sichtbar werden konnte, liegt in der Schwierigkeit für die Schüler, alle vorgegebenen Variablen in ihren Experimentplanungen zu berücksichtigen. Aus den Antworten der Schüler wurde nicht klar, ob die Schüler eine Variable zum Zweck der Vereinfachung der Aufgabenschwierigkeit ignorierten oder ob sie z.B. durch den Untersuchungsgegenstand dazu verleitet wurden. Letzteres wäre denkbar, da eine Messung des Bewegungspulses im Unterricht zum menschlichen Blutkreislauf, den alle Schüler im selben Schuljahr bereits erfahren hatten, regelmäßig durchgeführt wird. Dieser Teil des Experiments entsprach also eher dem Erfahrungshorizont der Schüler und könnte ihre Aufmerksamkeit auf diesen Teil der Fragestellung konzentriert haben. Unabhängig von der Ursache des Vorgehens zeigte sich hier deutlich, dass sowohl der Testgegenstand als auch der methodische Erfahrungshorizont der Schüler auf deren Fähigkeiten in konkreten Situationen Einfluss nehmen. Dieser Einfluss wurde auch bei der Beschreibung der Mit-Strategie (s. Kapitel 2.1.7.1) dargestellt. Auch dort wurde die Vorgehensweise der Schüler sowohl durch ihre methodischen als auch die inhaltlichen Schülervorstellungen beeinflusst (Ehmer & Hammann, 2008 (im Druck)). Die große Anzahl der Schüler, die in der vorliegenden Studie statt einer Experimentplanung zur Untersuchung der Testfaktoren Bewegung und Tageszeit hauptsächlich eine Messung des Bewegungspulses beschrieb, gibt einen Hinweis darauf, wie stark der Einfluss unterrichtlicher Erfahrungen auf die Schüler sein kann. Denn diese Messung ist fester Bestandteil des Unterrichts, wenn der menschliche Blutkreislauf in der 6. Klasse thematisiert wird.

Die Schwierigkeiten, die die Schüler bei der Abgrenzung von inhaltlichen Erklärungen und naturwissenschaftlichen Untersuchungen eines Naturvorgangs aufwiesen, können ebenfalls durch den Einfluss unterrichtlicher Erfahrungen erklärt werden. Zwar gaben nur sehr wenige Schüler statt einer Experimentplanung bei der offenen Aufgabe eine biologische Erklärung für die Pulssteigerung an, für die überwiegende Mehrheit war die Darstellung bekannten Wissens aber dennoch eine wichtige Funktion von Experimenten, wie sich durch den Epistemologietest gezeigt hat. Das weist darauf hin, dass in den Vorstellungen der Schüler Merkmale von Demonstrationen und naturwissenschaftlichen Experimenten vermischt wurden (vgl. Kapitel 2.1.6). Offensichtlich wurden die Unterschiede beider experimenteller Methoden im Unterricht für die Schüler nicht ausreichend deutlich. Darin könnte die Ursache dafür liegen, dass für die Schüler naturwissenschaftliche Experimente auch die Funktion der Wissensdarstellung erfüllten.

3.5.2 Vermittlung von Methodenwissen (Forschungsfrage 1)

In diesem Untersuchungsteil werden die Ergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeit eines gezielten Unterrichts über die Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens auf die kognitiven Fähigkeiten von Schülern vorgestellt und einem Unterricht ohne solche explizite Vermittlung gegenübergestellt. Dazu wurden die Ergebnisse der Zelle 1, in der methodisches Wissen als positives Wissen, also als klassisches Schulwissen vermittelt wird, mit der Kontrollgruppe verglichen, in der kein Unterricht zum Experimentieren durchgeführt wurde (s. Abbildung 26). Dabei wurden Unterschiede hinsichtlich des Methodenwissens, des Epistemologiewissens und des Verständnisses von der Methode des Experimentierens untersucht.

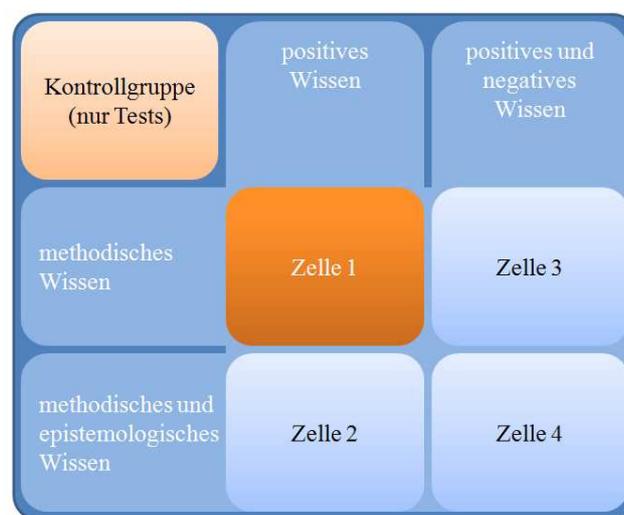


Abbildung 26: Forschungsdesign für Forschungsfrage 1
(Wirksamkeit der Vermittlung von Methodenwissen)

Einfluss der Vermittlung von Methodenwissen auf den Erwerb von Methodenwissen

Hier wird die Frage untersucht, welchen Einfluss die gezielte Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren auf das Methodenwissen der Schüler hat.

Hypothese H1.1

Durch eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen sind Schüler der 6. Klasse in der Lage, Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren zu entwickeln, und zwar hinsichtlich des

- a) *Identifizierens von Hypothesen und*
- b) *Planens von Experimenten.*

Im Vortest erreichte Zelle 1 von 28 möglichen Punkten einen Mittelwert von $M = 16,43$ ($n = 47$; $SD = 4,72$). Nach der Intervention, in der den Schülern der Zelle gezielt

methodisches Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vermittelt wurde, betrug der Mittelwert der Zelle $M = 20,21$ ($n = 47$; $SD = 4,15$). Zelle 1 konnte sich damit höchst signifikant im Methodenwissen steigern ($t(47) = -5.293$; $p \leq .001$). Die Signifikanz geht auf eine höchst signifikante Steigerung in beiden Subskalen, d.h. beim Identifizieren von Hypothesen ($t(47) = -3.635$; $p \leq .001$) und beim Planen von Experimenten ($t(47) = -5.321$; $p \leq .001$) zurück. Die Schüler haben also in beiden Bereichen Methodenwissen erworben. Die Hypothese H1.1 wird daher insgesamt bestätigt.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H1.1 werden im Anschluss an Hypothese H1.3 diskutiert.

Hypothese H1.2

Ohne eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen können Schüler kein Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erwerben, und zwar weder hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen, noch hinsichtlich des*
- b) Planens von Experimenten.*

Die Kontrollgruppe erreichte beim Methodenwissen im Vortest einen Mittelwert von $M = 13,97$ ($n = 58$; $SD = 5,19$) und im Nachtest einen Mittelwert von $M = 16,38$ ($n = 58$; $SD = 4,53$). Damit steigerte sich die Kontrollgruppe in ihrem Methodenwissen höchst signifikant ($t(58) = -3.855$; $p \leq .001$). Die Signifikanz geht nicht auf beide Subskalen, sondern nur auf eine höchst signifikante Steigerung beim Identifizieren von Hypothesen zurück ($t(58) = -4.800$; $p \leq .001$). Beim Planen von Experimenten steigerte sich die Kontrollgruppe dagegen nicht ($t(57) = -.884$; $p > .05$). Die Schüler konnten also kein Wissen zum Planen von Experimenten, aber zum Identifizieren von Hypothesen erwerben. Aus diesem Grund kann nur Hypothese H1.2b bestätigt werden, Hypothese H1.2a wird dagegen zurückgewiesen.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H1.2 werden im Anschluss an Hypothese H1.3 diskutiert.

Hypothese H1.3

Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen erfahren haben, sind Schülern, die eine solche Vermittlung nicht erfahren haben, in ihrem Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren überlegen, und zwar hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen und*
- b) Planens von Experimenten.*

Im Vortest waren die Schüler der Zelle 1 den Schülern der Kontrollgruppe hinsichtlich des Methodenwissens über das naturwissenschaftlichen Experimentieren überlegen ($t(110) = -2.717$; $p \leq .01$). Um dennoch eine Vergleichbarkeit der Wissensentwicklung zu gewährleisten, werden im Folgenden zur Analyse der Wirksamkeit der Vermittlung des methodischen Wissens nicht nur die Nachtestergebnisse der Gruppen miteinander verglichen, sondern die Wissenszuwächse als Differenz von Nach- und Vortest gegenübergestellt. Das Vorwissen fließt damit als Kovariate in die Berechnungen mit ein.

Die Analyse der Nachtestergebnisse zeigt, dass Zelle 1 der Kontrollgruppe im Gesamtscore des Methodenwissenstests höchst signifikant überlegen ist ($t(107) = -4.503$; $p \leq .001$). Auch in den darin enthaltenen Subskalen schneidet Zelle 1 besser ab, und zwar im Falle des Identifizierens von Hypothesen signifikant ($t(107) = -2.524$; $p \leq .05$) und des Planens von Experimenten höchst signifikant ($t(107) = -4.769$; $p \leq .001$).

Zelle 1 steigerte ihr Wissen durch die Intervention um 3,87 Punkte ($SD = 5,02$), die Kontrollgruppe steigerte sich ohne Intervention um 2,41 Punkte ($SD = 4,77$). Zwischen den Wissenszuwächsen der beiden Gruppen bestehen keine signifikanten Unterschiede ($t(105) = -1.523$; $p > .05$). Bei getrennter Betrachtung der im Gesamtscore enthaltenen Subskalen zeigte sich, dass die Kontrollgruppe sich zwar im gleichen Maße wie Zelle 1 beim Identifizieren von Hypothesen steigern konnte ($t(105) = .600$; $p > .05$), jedoch im Wissenszuwachs beim Planen von Experimenten höchst signifikant unterlegen war ($t(105) = -3.756$; $p \leq .001$). Die Schüler der Zelle 1 waren den Schüler der Kontrollgruppe also nur beim Planen von Experimenten überlegen, nicht aber beim Identifizieren von Hypothesen (s. Abbildung 27). Hypothese H1.3b kann also bestätigt werden, Hypothese H1.3a wird dagegen verworfen.

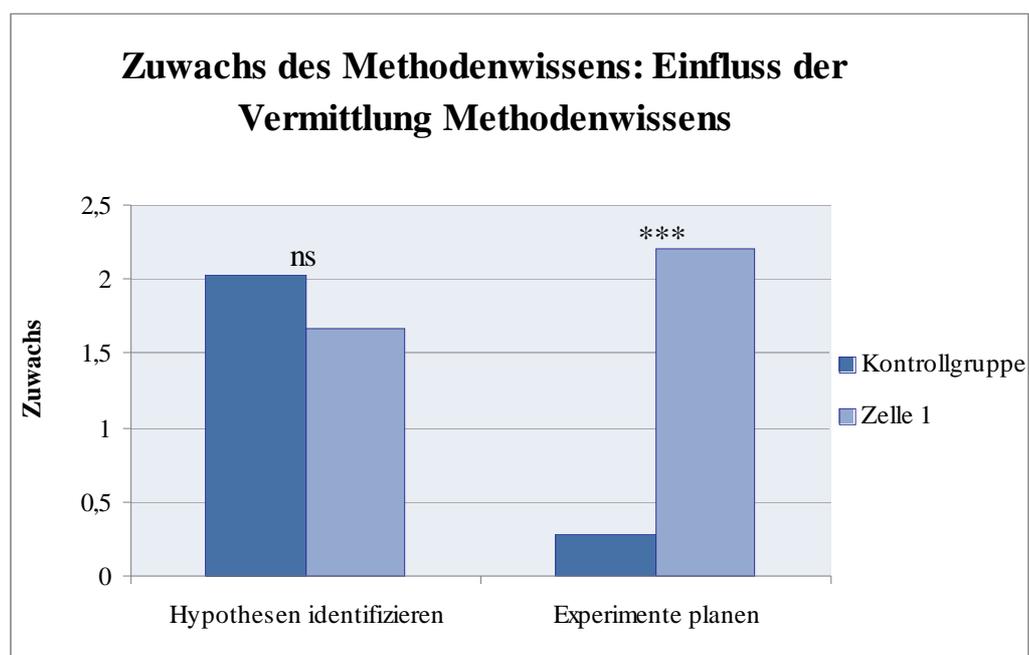


Abbildung 27: Einfluss der Vermittlung methodischen Wissens auf das Methodenwissen
(ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Diskussion der Hypothesen H3.1 – H3.3

Die Ergebnisse dieses Untersuchungsteils zeigen, dass Schüler der sechsten Klasse durch gezielte unterrichtliche Vermittlung Methodenwissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren erwerben können: Durch die Intervention konnten sich die Schüler der Zelle 1 in ihrem Methodenwissen bezüglich des Identifizierens von Hypothesen und des Planens von Experimenten deutlich steigern. Für beide Aspekte des Experimentierens ist Wissen über die Variablenkontrolle und den Kontrollansatz notwendig, die zentrale Inhalte der Intervention darstellten.

Durch den Vergleich mit der Kontrollgruppe, die keinen Unterricht über die Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens erhalten hat, wurde der besondere Wert des vermittelten Wissens deutlich: Nur die Schüler, denen Wissen über die Variablenkontrolle und den Kontrollansatz vermittelt wurde, konnten sich hinsichtlich des Planens von Experimenten steigern und waren denjenigen Schülern, denen solches Wissen nicht vermittelt wurde, überlegen. Für die Identifikation von Hypothesen ist dieses Wissen offensichtlich nicht bzw. in geringerem Maße notwendig, da sich auch die Kontrollgruppe in dieser Hinsicht deutlich steigern konnte. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass für die Identifikation von Hypothesen aus gegebenen Experimenten im Gegensatz zum Planen von Experimenten weniger spezifisches Wissen über die Variablenkontrolle und das Prinzip des Kontrollansatzes nötig ist. Bereits die wiederholte Beschäftigung mit Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen kann hier eine deutliche Steigerung bewirken, und zwar im gleichen Maße wie eine gezielte Vermittlung methodischen Wissens. Es sind also im Bereich des Identifizierens von Hypothesen Testeffekte aufgetreten (Sarris, 1992).

Eine Ursache für diese unterschiedlichen Ergebnisse beider Aufgabentypen könnte in der verschiedenartigen Aufgabenstruktur und der geforderten Wissensanwendung zu finden sein. Zwar wird sowohl beim Identifizieren von Hypothesen als auch beim Planen von Experimenten Wissen über die Variablenkontrolle und einen Kontrollansatz thematisiert, muss in den beiden Aufgabentypen aber auf unterschiedliche Weise eingesetzt werden: In den Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen müssen die Schüler aus gegebenen Experimenten die zugrunde liegende Hypothese und damit die beiden untersuchten Testvariablen bestimmen. Die Ansätze des dargestellten Experiments entsprechen dabei den methodischen Grundsätzen des naturwissenschaftlichen Experimentierens, d.h. sie erfüllen die Variablenkontrolle und das Prinzip des Kontrollansatzes. Die Schüler müssen die Methode hier hauptsächlich nachvollziehen und mit Hilfe ihres Wissens über die methodischen Grundsätze logisch interpretieren, um die richtige Hypothese und zwei untersuchte Testvariablen aus den vorgegebenen Antworten auszuwählen. Dazu sind wahrscheinlich auch im starken Maße allgemeine logische Denkfähigkeiten der Schüler notwendig, die nicht zwangsläufig mit spezifischem methodischem Wissen in Zusammenhang stehen. Offensichtlich wird der Einsatz dieser Denkfähigkeiten durch die wiederholte Konfrontation mit den Aufgaben z.B. durch Erkennen von logischen Mustern effektiver.

Ähnliche Ergebnisse wurden auch in einer Studie zur Förderung der Fähigkeit zur Variablenkontrolle von Goossens und Mitarbeitern erzielt, in deren Nachtest sich die Kontrollgruppe ebenfalls bei Aufgaben mit gegebenen Experimenten steigern konnten (Goossens et al., 1987). Die Autoren führten den Effekt allerdings auf träges Wissen über die Variablenkontrolle zurück, das durch die Testmaterialien aktiviert, d.h. flexibel anwendungsfähig gemacht worden sein sollte. Die bereits beschriebenen Ergebnisse zum Planen von Experimenten aus der vorliegenden Studie stellen diese Schlussfolgerung jedoch in Frage, da sich die Schüler der Kontrollgruppe hier nicht steigern konnten. Wäre methodisches Wissen aktiviert worden, hätten auch in diesem Bereich Effekte auftreten müssen. Dass dies nicht festzustellen ist, liegt eventuell daran, dass beim Planen von Experimenten in dem Testinstrument dieser Studie ein aktiverer Umgang mit dem methodischen Wissen erforderlich ist: Anhand einer gegebenen Fragestellung oder Hypothese sollten die Schüler aus einer Auswahl von geeigneten und ungeeigneten Ansätzen ein Experiment zusammenstellen, mit dem die Fragestellung und die beiden Testvariablen eindeutig überprüft werden können. Hierzu war es notwendig, die Variablenkontrolle und das Prinzip des Kontrollansatzes für zwei Testfaktoren kontrolliert ausführen zu können. Diese Art der Wissensüberprüfung stellte höhere Anforderungen an das methodische Wissen der Schüler und betrifft weniger die allgemeinen logischen Denkfähigkeiten als die Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen, in denen die Variablenkontrolle nur nachvollzogen werden musste. Dementsprechend waren häufiger die Schüler, die eine gezielte Intervention erhielten, in der Lage, die Aufgaben zum Planen von Experimenten zu lösen. Außerdem spiegelte sich die unterschiedliche Komplexität der Wissensüberprüfung auch in den Lösungswahrscheinlichkeiten der beiden Aufgabentypen wider: Die Lösungswahrscheinlichkeiten lagen sowohl im Vortest als auch im Nachtest in beiden Zellen beim Identifizieren von Hypothesen (Mittelwert im Vortest: 9,14 Punkte, $SD = 3,29$; Mittelwert im Nachtest: 11,44 Punkte, $SD = 2,95$) jeweils deutlich über den Lösungswahrscheinlichkeiten beim Planen von Experimenten (Mittelwert im Vortest: 5,59, $SD = 2,76$; Mittelwert im Nachtest: 7,95, $SD = 2,94$).

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse sind die Befunde der Studie von Hammann und Mitarbeitern (2007), in der unter anderem die dreidimensionale Struktur des SDDS-Modells von Klahr (2000) überprüft wurde, neu zu bewerten. In der Studie wurde der multiple choice-Test eingesetzt, der die Grundlage für das Testinstrument der vorliegenden Studie bildete (vgl. 3.4.4.1). Die Aufgabenstruktur beider Testinstrumente ist vergleichbar. In der Studie von Hammann und Mitarbeitern konnten nur zwei der drei Dimensionen des Experimentierens faktorenanalytisch nachgewiesen werden, da die Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen und zur Datenanalyse auf einen gemeinsamen Faktor luden, der sich von Aufgaben zum Planen von Experimenten unterschied (vgl. Kapitel 2.1.5.2). Die Befunde wurden auf die unterschiedliche Vorwissensabhängigkeit der Dimensionen zurückgeführt (Hammann et al., 2007). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen jedoch darauf hin,

dass die unterschiedlich starken Zusammenhänge zwischen den Dimensionen weniger auf die unterschiedliche Vorwissensabhängigkeit der Dimensionen als auf das jeweilig eingesetzte Aufgabenformat zurückzuführen sein könnte: Sowohl bei den Aufgaben zum Identifizieren von Hypothesen, als auch bei den Aufgaben zur Analyse experimenteller Daten mussten naturwissenschaftlich geplante Experimente interpretiert werden. Wie beschrieben musste dabei das dargestellte methodische Wissen hauptsächlich nachvollzogen werden. Bei den Aufgaben zum Planen von Experimenten mussten die Schüler wie in der vorliegenden Studie mit dem Methodenwissen dagegen selbständiger umgehen. Dadurch weisen die Aufgaben verschiedene Anforderungen der Wissensanwendung auf, welche die Ursache der unterschiedlich starken Zusammenhänge zwischen den Dimensionen sein könnten. Die Befunde zu den Zusammenhängen der Dimensionen sind daher hinsichtlich des Einflusses des Aufgabenformats weiter zu untersuchen.

Aus den Unterschieden zwischen den beiden Aspekten des Experimentierens in der vorliegenden Studie lässt sich schließen, dass die gezielte Vermittlung von Methodenwissen die Schüler vor allem dazu befähigt hat, das erlernte methodische Wissen über das Experimentieren aktiv einzusetzen, statt – wie die Schüler der Kontrollgruppe – die experimentelle Methode nur nachvollziehen und interpretieren zu können. Aus diesem Grund sind die Schüler, die methodisches Wissen erworben haben, den Schülern der Kontrollgruppe deutlich überlegen und weisen eine bessere Ausgangslage für die Anwendung des Wissens in experimentellen Kontexten auf (vgl. Ergebnisse zu den Hypothesen H1.7 – H1.9).

Einfluss auf das Epistemologiewissen

Gegenstand dieses Ergebnisteils ist die Untersuchung der Frage, welchen Einfluss die gezielte Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren auf das epistemologische Wissen der Schüler hat.

Hypothese H1.4

Durch die gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erwerben Schüler kein epistemologisches Wissen, weil dieses nicht implizit durch Beschäftigung mit Experimenten mitgelernt werden kann.

Im Epistemologiewissenstest steigerte sich Zelle 1, in der nur methodisches, nicht aber epistemologisches Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vermittelt wurde, von einem Mittelwert von $M = 27,73$ im Vortest ($n = 47$; $SD = 4,24$) auf $M = 31,57$ im Nachtest ($n = 47$; $SD = 6,88$). Dieser Zuwachs im Epistemologiewissen ist höchst signifikant ($t(47) = -3.741$; $p \leq .001$). Die Schüler konnten also auch ohne die explizite Vermittlung

epistemologisches Wissen erwerben (s. Abbildung 28). Hypothese H1.4 wird daher verworfen.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H1.4 werden im Anschluss an Hypothese H1.6 diskutiert.

Hypothese H1.5

Schüler, die keine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, erwerben kein epistemologisches Wissen, da hierfür eine gezielte Vermittlung notwendig ist.

Die Kontrollgruppe erreichte im Vortest im Epistemologiewissen einen Mittelwert von $M = 26,55$ ($n = 58$; $SD = 5,51$) und im Nachtest einen leicht niedrigeren Mittelwert von $M = 25,02$ ($n = 58$; $SD = 8,33$). Zwischen den Ergebnissen von Vor- und Nachtest besteht kein signifikanter Unterschied ($t(58) = 1,224$; $p > .05$), die Schüler haben also kein epistemologisches Wissen erworben (s. Abbildung 28). Hypothese H1.5 kann bestätigt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H1.5 werden im Anschluss an Hypothese H1.6 diskutiert.

Hypothese H1.6

Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, und Schüler, die eine solche Vermittlung nicht erfahren haben, unterscheiden sich nicht hinsichtlich ihres epistemologischen Wissens.

Im Vortest wiesen die Kontrollgruppe und Zelle 1 vergleichbare Ausgangsbedingungen hinsichtlich ihres Epistemologiewissens auf ($t(110) = -1,305$; $p > .05$). Im Nachtest war Zelle 1 der Kontrollgruppe jedoch höchst signifikant überlegen ($t(107) = -4,242$; $p \leq .001$) und erfuhr auch einen hoch signifikant höheren Wissenszuwachs als die Kontrollgruppe in ihrem Epistemologiewissen ($t(107) = -2,926$; $p \leq .01$). Nach der Intervention unterschieden sich die beiden Gruppen also höchst signifikant von einander (s. Abbildung 28). Hypothese H1.6 wird daher verworfen.

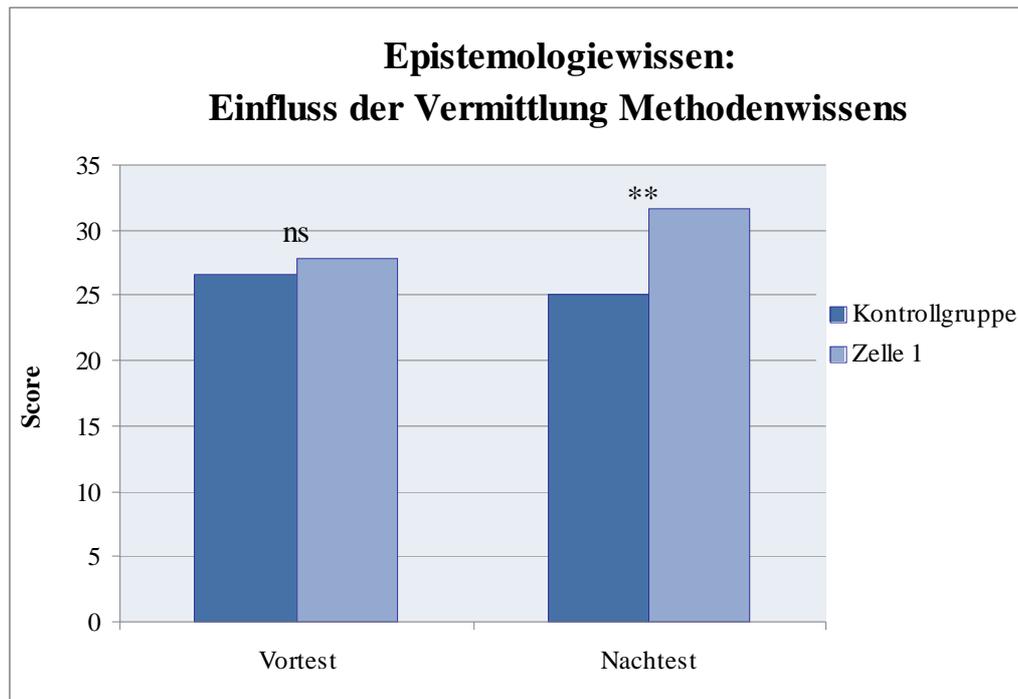


Abbildung 28: Einfluss der Vermittlung von Methodenwissen auf das Epistemologiewissen
(ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Diskussion der Hypothesen H1.4 – H1.6

Die Analyse zur Entwicklung des epistemologischen Wissens der Schüler erbrachte überraschende Ergebnisse: Zwar hat die Kontrollgruppe, in der keinerlei Wissensvermittlung stattgefunden hat, erwartungsgemäß keine Wissensveränderung hinsichtlich ihres epistemologischen Wissens gezeigt, die Schüler der Zelle 1, denen nur methodisches, aber kein epistemologisches Wissen vermittelt wurde, konnten sich dagegen sehr deutlich in ihrem Epistemologiewissen durch die Intervention steigern. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu Ergebnissen anderer Studien, in denen ein Lernen impliziter epistemologischer Inhalte nicht festgestellt werden konnte (Schwartz et al., 2004). Ein Grund für das abweichende Ergebnis in dieser Studie könnte in der Auswahl der epistemologischen Inhalte in den Interventionen und im Epistemologiewissenstest liegen (vgl. Kapitel 3.4.4.2): Aufgrund der Fragestellung dieser Studie und der Altersstufe der Stichprobe (6. Klasse) musste der Abstraktionsgrad der thematisierten Inhalte gering gehalten werden. Infolgedessen wurde die Betrachtung epistemologischer Aspekte mit möglichst engem Bezug zur Methode des Experimentierens durchgeführt und nur epistemologische Aspekte mit einem direkten Zusammenhang zu den methodischen Inhalten der Intervention ausgewählt. So wurde z.B. nach der Bedeutung von anomalen Daten gefragt, d.h. von experimentellen Daten, die der eigenen Überzeugung widersprechen. Verzichtet wurde dagegen auf allgemeine epistemologische Fragen wie der Bedeutung gesellschaftlicher Einflüsse auf Naturwissenschaftler oder der Verantwortung von Naturwissenschaftlern für die praktische Nutzung ihrer Erkenntnisse (z.B. im Bereich des Klonens). Der Epistemologietest bezieht sich

also nicht auf alle Facetten der Natur der Naturwissenschaften, sondern v.a. auf epistemologische Grundsätze und Hintergründe der Wissensgenese aus experimentellen Daten. Die epistemologischen Inhalte der Interventionen waren vergleichbar ausgerichtet (vgl. Kapitel 2.1.3) und thematisierten z.B. die Gegenüberstellung von direkten Beobachtungen und indirekten Untersuchungen mithilfe von naturwissenschaftlichen Experimenten. Beide Erkenntnisgewinnungsprozesse erfordern aufgrund des unterschiedlichen Grades der Gesicherheit ihrer Erkenntnisse verschiedene methodische Vorgehensweisen. Dieser Zusammenhang stellt im Falle des Experimentierens die Begründung für die methodischen Vorgaben der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes dar.

Für den Erwerb epistemologischen Wissens, der in der vorliegenden Studie allein durch die Vermittlung methodischen Wissens ohne eine explizite Vermittlung epistemologischen Wissens zustande kam, sind zwei verschiedene Erklärungen denkbar:

Einerseits könnte es sein, dass mit dem Epistemologiewissenstests aufgrund der Nähe der Inhalte zur Methode des Experimentierens kein epistemologisches Wissen, sondern vielmehr methodisches Wissen erhoben wurde. Das würde erklären, warum sich die Schüler allein durch die Vermittlung methodischen Wissens im Epistemologiewissenstest steigern konnten. Um sicherzugehen, dass durch den Epistemologiewissenstest nicht erneut das Methodenwissen der Schüler erhoben wurde, wurde der Zusammenhang zwischen beiden Testinstrumenten posthoc untersucht. Eine Faktorenanalyse trennte bei Vorgabe der drei Faktoren Hypothesen identifizieren, Experimente planen und Epistemologiewissen die drei Skalen vollständig von einander; die drei Faktoren klärten 41,5% der Varianz auf. Darüber hinaus zeigten Korrelationsanalysen, dass nur ein geringer Zusammenhang ($r = .344$; $p \leq .01$) zwischen dem Epistemologietest und dem Methodenwissenstest besteht. Es ist also zunächst davon auszugehen, dass durch den Epistemologiewissenstest nicht das Methodenwissen der Schüler, sondern ein anderes, vermutlich epistemologisches Wissen erhoben wurde.

Andererseits kann die Entwicklung des epistemologischen Wissens bedeuten, dass es den Schülern entgegen den Erkenntnissen aus anderen Studien (s.o.) doch möglich war, epistemologisches Wissen, das nur implizit z.B. in den betrachteten methodischen Aspekten der Intervention enthalten war, zu erwerben. Über Gründe hierfür können nur Vermutungen angestellt werden. Wahrscheinlich war es den Schülern möglich, aus den konkreten methodischen Hinweisen über Vorgehensweisen beim Experimentieren abstraktes epistemologisches Wissen abzuleiten. Dadurch könnte die Steigerung der Schüler im epistemologischen Wissen ebenfalls erklärt werden.

Eine Klärung beider Möglichkeiten ist auf Grundlage der Daten dieser Studie nicht möglich.

Einfluss auf das Verständnis

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Frage, welchen Einfluss die gezielte Vermittlung von Methodenwissen auf das Verständnis der Methode des Experimentierens ausübt.

Hypothese H1.7

Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, steigern sich im Verständnis des Experimentierens, und zwar hinsichtlich des selbstständigen Planens von Experimenten.

Für die Analyse des Verständnisses der Schüler im Bereich des selbstständigen Planens von Experimenten wurden vier Stufen (Stufe 0 – 3) formuliert (vgl. S. 111 ff.). Diese beinhalten, ob die Schüler einen Vergleichsgedanken in ihren Planungen erkennen lassen und sowohl die Variablenkontrolle als auch einen Kontrollansatz in ihren Planungen berücksichtigen.

Die Schüler der Zelle 1 konnten sich beim selbstständigen Planen von Experimenten deutlich steigern. Während im Vortest deutlich mehr Schüler nur Stufe 0 und 1 erreichten, entsprachen die Planungen im Nachtest weitgehend Stufe 2 und 3. So erreichten im Vortest z.B. nur 12,0% der Schüler ($n = 6$) aus Zelle 1 die höchste Stufe, während es im Nachtest 23,8% der Schüler ($n = 10$) waren. 38,0% der Schüler ($n = 19$) befanden sich im Vortest mit ihren Planungen dagegen auf Stufe 0, im Nachtest waren dies nur noch 16,7% der Schüler ($n = 7$) (s. Abbildung 29). Damit konnten sich die Schüler in Zelle 1 vom Vor- zum Nachtest hoch signifikant steigern ($Z(50; 42) = -3.036; p \leq .01$). Die Hypothese H1.7 kann bestätigt werden.

Eine detaillierte Betrachtung der in den Stufen enthaltenen Teilfähigkeiten wird bei den Ergebnissen zur Überprüfung der Hypothese H1.9 vorgenommen. Dort erfolgt auch die Diskussion der Ergebnisse.

Hypothese H1.8

Schüler, die keine unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, steigern sich nicht im Verständnis des Experimentierens hinsichtlich des selbstständigen Planens von Experimenten.

Die Schüler der Kontrollgruppe erreichten im Vortest höhere Stufen beim selbstständigen Planen von Experimenten als im Nachtest (s. Abbildung 29): Während z.B. im Vortest noch 12,5% der Schüler ($n = 7$) die höchste Stufe (Stufe 3) erreichten, konnte im Nachtest kein

Schüler mit seiner Planung dieser Stufe zugerechnet werden. Die niedrigste Stufe (Stufe 0) erreichten im Vortest 37,5% der Schüler ($n = 21$), im Nachtest waren es sogar 45,5% ($n = 33$). Die Kontrollgruppe steigerte sich also vom Vor- zum Nachtest nicht, sondern zeigte im Nachtest eine geringere Fähigkeit beim Planen von Experimenten ($Z(56; 33) = -1.682$; $p = .093$) als im Vortest. Der Unterschied ist allerdings knapp unter dem untersten Signifikanzniveau von fünf Prozent. Die Hypothese H1.8 kann demnach bestätigt werden.

Eine detaillierte Betrachtung der in den Stufen enthaltenen Teilfähigkeiten wird bei den Ergebnissen zur Überprüfung der Hypothese H1.9 vorgenommen. Dort erfolgt auch die Diskussion der Ergebnisse.

Hypothese H1.9

Schüler, die eine gezielte Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, die eine solche Vermittlung nicht erfahren haben, bezüglich des Verständnisses beim Experimentieren überlegen, und zwar hinsichtlich

- a) des selbstständigen Planens von Experimenten,*
- b) des Umgangs mit experimentellen Daten und*
- c) des Erkennens von Konfundierungen.*

a) Selbstständiges Planen von Experimenten

Im Vortest wiesen die Kontrollgruppe und Zelle 1 vergleichbare Fähigkeiten beim selbstständigen Planen von Experimenten auf ($Z(56, 50) = -.209$; $p > .05$). Nach der Intervention waren die Schüler der Zelle 1 den Schülern der Kontrollgruppe dagegen höchst signifikant überlegen ($Z(33, 42) = -4.355$; $p \leq .001$) und konnten sich im Vergleich mit dem Vortest auch höchst signifikant stärker steigern als die Schüler der Kontrollgruppe ($Z(32, 41) = -3.322$; $p \leq .001$) (s. Abbildung 29 und Ergebnisse zu den Hypothesen H1.7 und H1.8).

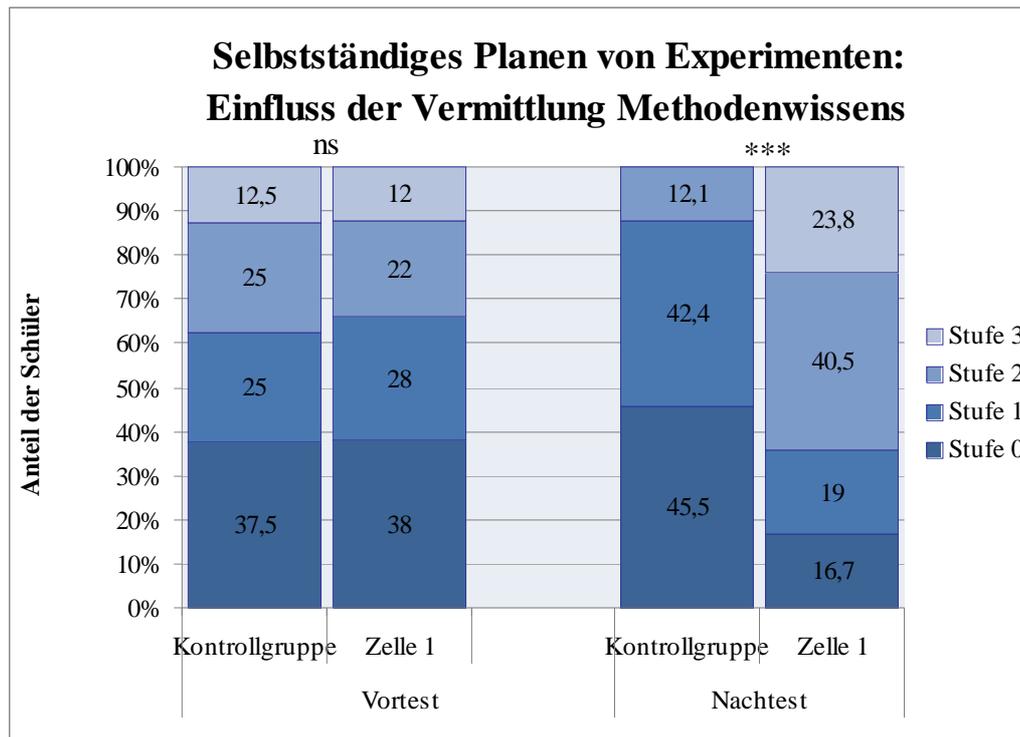


Abbildung 29: Einfluss der Vermittlung von Methodenwissen auf das selbstständige Planen von Experimenten (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Betrachtet man, welche Fähigkeiten die Schüler speziell hinsichtlich der Berücksichtigung eines Kontrollansatzes aufwiesen, dann zeigt sich, dass die Kontrollgruppe im Vortest ($n = 56$; $M = 0,60$; $SD = 0,35$) wie auch im Nachttest ($n = 33$; $M = 0,55$; $SD = 0,46$) darin ein ähnlich niedriges Niveau erreichte ($Z(56, 33) = -1,119$; $p > .05$), während sich Zelle 1 hier fast signifikant steigern konnte (Vortest: $M = 0,62$; $SD = 0,36$; Nachttest: $M = 0,79$; $SD = 0,40$; $Z(50, 42) = -1,740$; $p = .082$). Damit war Zelle 1 der Kontrollgruppe im Nachttest bezüglich der Integration eines Kontrollansatzes überlegen ($Z(33, 42) = -2,504$; $p \leq .05$).

Im Bezug auf die Einhaltung der Variablenkontrolle blieb Zelle 1 (Vortest: $n = 50$; $M = 0,71$; $SD = 0,26$; Nachttest: $n = 42$; $M = 0,77$; $SD = 0,77$) auf einem gleich bleibenden Niveau ($Z(50, 42) = -0,882$; $p > .05$), während die Kontrollgruppe mit $M = 0,36$ ($n = 33$; $SD = 0,37$) im Nachttest ein höchst signifikant niedrigeres Niveau als im Vortest ($n = 56$; $M = 0,71$; $SD = 0,29$; $Z(56, 33) = -3,763$; $p \leq .001$) erreichte. Dementsprechend war Zelle 1 nach der Intervention der Kontrollgruppe in ihrem Verständniszuwachs auch hinsichtlich der Berücksichtigung der Variablenkontrolle ($Z(33, 42) = -4,316$; $p \leq .001$) und des diesbezüglichen Wissenszuwachses ($Z(32, 41) = -4,072$; $p \leq .001$) höchst signifikant überlegen.

Die Hypothese H1.9a wurde ebenfalls bestätigt.

b) Umgang mit experimentellen Daten

In Bezug auf die Analyse von experimentellen Daten erreichte die Kontrollgruppe von zehn möglichen Punkten einen Testscore von $M = 4,90$ ($n = 52$; $SD = 1,8$) und Zelle 1 von $M = 6,58$ ($n = 48$; $SD = 2,58$). Damit war Zelle 1 der Kontrollgruppe höchst signifikant überlegen ($Z(52, 48) = -3.682$; $p \leq .001$).

Dies gilt auch für die darin enthaltenen Aspekte, dass die ungültige Schlussfolgerung in der Aufgabe entdeckt wird ($Z(52, 48) = -4.034$; $p \leq .001$) und der richtigen Interpretation des Testfaktors Licht ($Z(52, 48) = -4.851$; $p \leq .001$). Außerdem war Zelle 1 signifikant besser fähig, den Nichttestfaktor Wärme adäquat zu interpretieren ($Z(52, 48) = -2.197$; $p \leq .05$) (s. Abbildung 30). Die Hypothese H1.9b kann daher bestätigt werden.

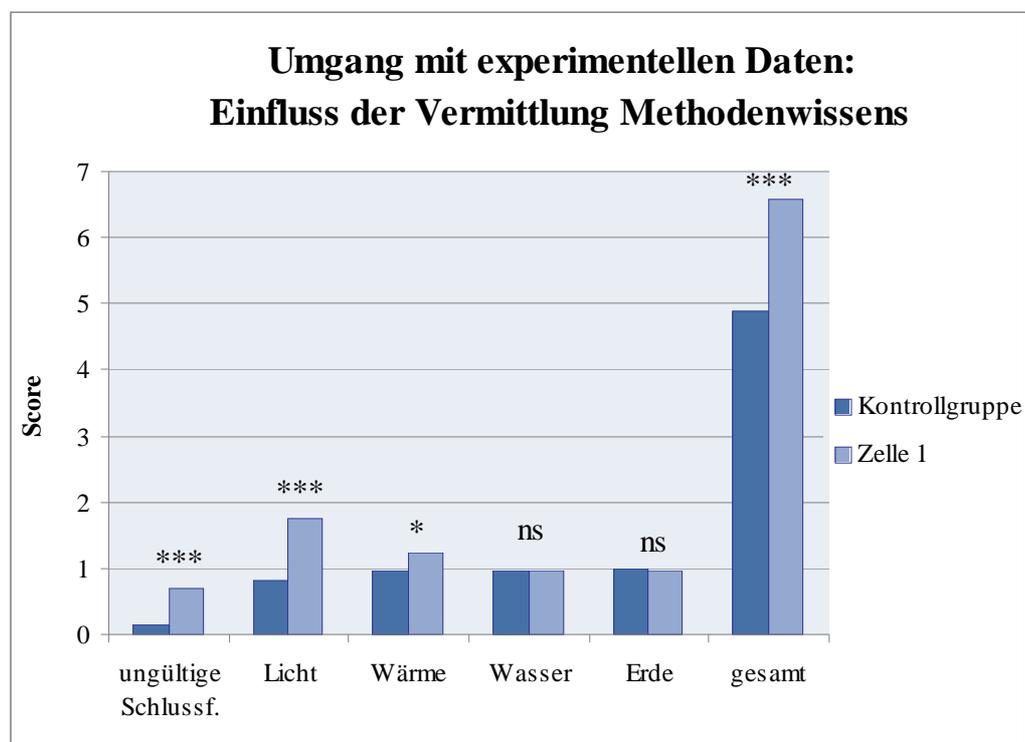


Abbildung 30: Einfluss der Vermittlung von methodischem Wissen auf die Analyse experimenteller Daten (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

c) Identifizieren von Konfundierungen

Hinsichtlich des Identifizierens von Konfundierungen in gegebenen Experimenten lassen sich die Aufgaben in Vor- und Nachtest nicht direkt miteinander vergleichen, weil hierbei nicht nur die Komplexität bzw. der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe im Nachtest gesteigert wurde, sondern auch das Aufgabenformat geändert wurde. Dieses Vorgehen war notwendig, weil das geringe zu erwartende Vorwissen der Schüler bezüglich der Variablenkontrolle im Vortest Aufgaben erforderte, die formale Unterstützung bei der Wissensanwendung boten. Daher wurde im Vortest einem konfundierten Experiment ein nicht konfundiertes Experiment gegenübergestellt, um die eingeschränkte Aussagekraft konfundierter Experimente

hervorzuheben. Im Nachtest waren die Schüler dagegen aufgefordert, zu einem Experiment Stellung zu nehmen, das eine in der Aufgabenstellung versteckte Konfundierung enthielt. Diese Art der Operationalisierung sollte dem höheren Wissen der Schüler bezüglich der Variablenkontrolle entsprechen (vgl. Kapitel 3.4.4.3). Aufgrund der großen Unterschiede zwischen beiden Aufgaben sollen in diesem Auswertungsteil nicht die Wissenszuwächse der Zellen vom Vor- zum Nachtest miteinander verglichen werden sollen, sondern nur die Nachtestergebnisse der Kontrollgruppe und der Zelle 1 gegenübergestellt werden.

Im Nachtest erreichte die Kontrollgruppe beim Identifizieren von konfundierten Experimenten einen Mittelwert von $M = 0,65$ ($n = 48$; $SD = 0,48$), d.h. zwei von drei Schülern waren in der Lage, eine Konfundierung in einem gegebenen Experiment zu erkennen. In Zelle 1 war dazu jeder zweite Schüler fähig ($M = 0,55$; $n = 47$; $SD = 0,50$). Beide Gruppen unterschieden sich statistisch nicht voneinander ($Z(48, 47) = -0,917$; $p > .05$). Die Hypothese H1.9c kann nicht bestätigt werden.

Diskussion der Hypothesen H1.7 – H1.9

Zuerst soll die Frage diskutiert werden, warum die Schüler der Kontrollgruppe im Nachtest beim Planen von Experimenten schwächere Leistungen aufwiesen als im Vortest. Eine mögliche Erklärung ist in der unterschiedlichen Komplexität und Schwierigkeit der Aufgabenstellung zu suchen: Zwar entsprechen sich die Aufgaben hinsichtlich ihrer Struktur, d.h. in beiden Fällen müssen die Schüler die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes in einem experimentellen Kontext selbstständig anwenden. Im Vortest müssen dazu allerdings nur zwei, im Nachtest dagegen drei Testfaktoren kontrolliert werden. Aufgrund dieser höheren Anforderungen erreichte die Kontrollgruppe, die in Vor- und Nachtest vergleichbare Fähigkeiten besitzen sollte, im Nachtest mehrheitlich eine niedrigere Stufe als im Vortest und verschlechterte sich hinsichtlich der Fähigkeit zur Variablenkontrolle deutlich. Im Bereich der Integration des Kontrollansatzes bleibt sie dagegen auf demselben niedrigen Niveau. Das könnte daran liegen, dass sich die Schwierigkeit der Integration eines Kontrollansatzes nicht wesentlich mit steigender Anzahl der Testfaktoren verändert. Wenn man das Prinzip des Kontrollansatzes nicht kennt, ist man weder bei zwei noch bei drei Testfaktoren in der Lage, einen entsprechenden Ansatz mit einzuplanen.

Im Folgenden werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Verständniseentwicklung zwischen Zelle 1 und der Kontrollgruppe erörtert.

Im Gegensatz zur Kontrollgruppe können sich die Schüler der Zelle 1 beim Planen naturwissenschaftlicher Experimente steigern. Während sie vor Beginn der Intervention noch wie die Kontrollgruppe geringe Fähigkeiten bei der Integration eines Kontrollansatzes und auch der Anwendung der Variablenkontrolle aufwiesen, sind sie der Kontrollgruppe hierin im Nachtest und/oder im Verständniszuwachs überlegen. Das in der Intervention erworbene Wissen über die Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens hat die Schüler dazu

befähigt, auch in komplexeren Kontexten die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes adäquat anzuwenden.

Diese Überlegenheit zeigt sich auch im Bereich der Datenanalyse, in der Zelle 1 sowohl bei der Interpretation des Test- und eines Nichttestfaktors überlegen ist als auch in der Fähigkeit eine gegebene Schlussfolgerung als ungültig zu identifizieren. Das erworbene methodische Wissen befähigt die Schüler der Zelle 1 besser dazu zu erkennen, dass die Schlussfolgerung sich auch auf nicht untersuchte Faktoren, über die nach naturwissenschaftlichen Regeln keine Aussage getroffen werden kann, bezieht. Die Schüler der Kontrollgruppe können dies höchst signifikant schlechter, da ihnen das entsprechende methodische Wissen fehlt. Das gilt allerdings nur für die Faktoren, die durch die Aufgabenstellung in den Fokus gerückt wurden; das sind die Faktoren Licht und Wärme. Hinsichtlich der Interpretation solcher nicht getesteten Faktoren, die in der Aufgabenstellung nicht angesprochen wurden (Wasser und Erde), befinden sich Zelle 1 und die Kontrollgruppe auf einem vergleichbaren Niveau. Das in den Interventionen vermittelte Methodenwissen hat die Schüler der Zelle 1 also prinzipiell zur adäquaten Datenanalyse befähigt. Sie sind allerdings noch nicht in der Lage, alle Variablen eines Experiments angemessen zu berücksichtigen.

Im Bereich des Identifizierens von Konfundierungen in Experimenten unterscheiden sich Zelle 1 und Kontrollgruppe im Nachtest nicht voneinander, d.h. beide Gruppen weisen im Nachtest ein vergleichbares Verständnis über Konfundierungen auf. Das methodische Wissen über Variablenkontrolle und Kontrollansatz scheint also ebenfalls nicht ausgereicht zu haben, um Zelle 1 auch hinsichtlich des Entdeckens von Konfundierungen in gegebenen Experimenten zu befähigen. Hier bleibt Zelle 1 auf dem Niveau der Kontrollgruppe, die kein Methodenwissen erworben hat.

Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren insgesamt

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Frage, welchen Einfluss die gezielte Vermittlung von methodischem Wissen auf die kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren insgesamt ausübt. Dazu wurde ein Gesamtscore gebildet, der sich zu gleichen Teilen aus den Scores der Tests zum Methodenwissen, Epistemologiewissen und Verständnis der Schüler zusammensetzt. Dadurch erhalten die einzelnen Testteile trotz unterschiedlicher Aufgabenzahl eine vergleichbare Bedeutung.

Hypothese H1.10

Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, steigern sich insgesamt hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren.

Im Vortest erreichte Zelle 1 von 30 möglichen Punkten im Gesamttest einen Mittelwert von $M = 17,14$ ($n = 47$; $SD = 3,84$). Im Nachtest konnte sie sich auf einen Mittelwert von $M = 19,61$ ($n = 47$; $SD = 4,26$) steigern (s. Abbildung 31). Dieser Anstieg stellt eine höchst signifikante Verbesserung dar ($t(47) = -4.451$; $p \leq .001$). Die Hypothese H3.10 kann also bestätigt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H1.10 werden im Anschluss an Hypothese H1.12 diskutiert.

Hypothese H1.11

Schüler, die keine gezielte Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, steigern sich insgesamt nicht hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren.

Die Kontrollgruppe erreichte nach einem Mittelwert von $M = 15,46$ ($n = 58$; $SD = 3,79$) im Vortest im Nachtest nur noch $M = 13,29$ ($n = 58$; $SD = 3,31$) und verschlechterte sich damit höchst signifikant ($t(58) = 3.511$; $p \leq .001$) (s. Abbildung 31). Die Hypothese H1.11 wird daher bestätigt.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H1.11 werden im Anschluss an Hypothese H1.12 diskutiert.

Hypothese H1.12

Schüler, die eine gezielte Vermittlung von Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, die eine solche Vermittlung nicht erfahren haben, insgesamt hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren überlegen.

Im Vortest war Zelle 1 der Kontrollgruppe in der zusammengefassten Betrachtung der kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren signifikant überlegen ($t(107) = -2.220$; $p \leq .05$). Der Vergleich der Nachtestergebnisse ergibt eine höchst signifikante Überlegenheit der Zelle 1 über die Kontrollgruppe ($t(107) = -8.301$; $p \leq .001$), die sich auch beim Vergleich der Wissenszuwächse zwischen Vor- und Nachtest widerspiegelt ($t(107) = -5.089$; $p \leq .001$) (s. Abbildung 31). Die Hypothese H1.12 wird damit bestätigt.

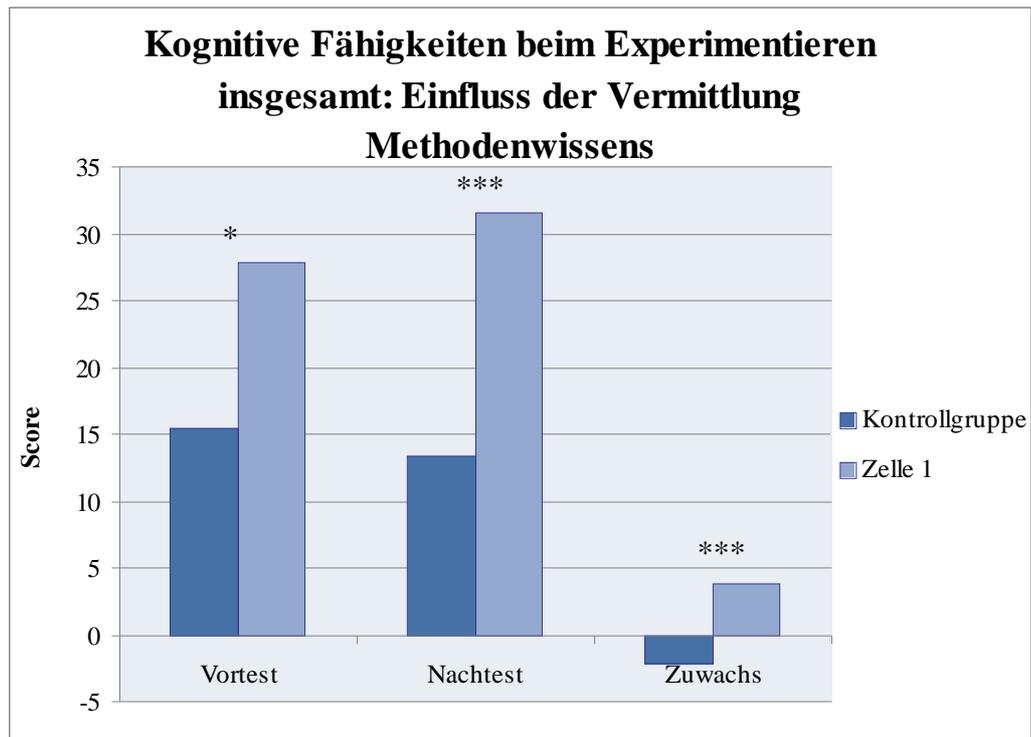


Abbildung 31: Einfluss der Vermittlung von methodischem Wissen auf die kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren insgesamt (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Diskussion

Die Analyse des Gesamttestscores stellt die unterschiedlichen Wissens- und Verständniseentwicklungen der Schüler der Zelle 1 und der Kontrollgruppe deutlich gegenüber: In Zelle 1 konnten sich die Schüler durch den Erwerb methodischen Wissens, z.B. über die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes im Gesamttestscore deutlich steigern. Die Schüler der Kontrollgruppe, die kein methodisches Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren erwarben, konnten sich dagegen nicht nur nicht steigern, sondern haben sich zum Nachtest hin im Gesamttestscore deutlich verschlechtert.

Für die Verschlechterung der Kontrollgruppe kommen zwei mögliche Ursachen in Betracht: Einerseits weisen die Verständnisaufgaben des Nachtests einen höheren Schwierigkeitsgrad und eine größere Komplexität auf als die Vortestaufgaben. Da den Schülern der Kontrollgruppe zwischen Vor- und Nachtest kein methodisches Wissen vermittelt wurde, das ihnen bei der Lösung der Verständnisaufgaben nützen könnte, können sie die Aufgaben des Nachtests weniger erfolgreich lösen als die Aufgaben des Vortests.

Andererseits könnte das erneute Beantworten der Testinstrumente zum Zeitpunkt des Nachtests bei den Schülern der Kontrollgruppe zu einem starken Frustrationserleben geführt haben, gerade weil ihnen das zur erfolgreichen Beantwortung der Aufgaben notwendige Wissen größtenteils nicht zur Verfügung stand. Die Überforderung der Schüler könnte in der wiederholten Testsituation des Nachtests zu einer geringen Motivation bei der Beantwortung der Aufgaben geführt haben. Dies könnte die Ergebnisse zusätzlich negativ beeinflusst haben.

Die Schüler der Zelle 1 konnten dagegen die Aufgaben des Nachtest erfolgreicher lösen, da sie das hierfür erforderliche Wissen in der Intervention erwarben. Die Beantwortung der Nachtestaufgaben kann daher für sie mit einer Motivationssteigerung einhergegangen sein, die das Testergebnis positiv beeinflusst hat.

3.5.3 Vermittlung von Epistemologiewissen (Fragestellung 2)

In diesem Auswertungsteil werden die Ergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeit der Vermittlung von epistemologischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren auf die kognitiven Fähigkeiten von Schülern dargestellt. Dazu wird untersucht, wie sich Schüler unterscheiden, je nachdem ob ihnen im Unterricht ausschließlich methodisches oder sowohl methodisches als auch epistemologisches Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vermittelt wurde. Auch hier werden Unterschiede hinsichtlich des Epistemologiewissens, des Methodenwissens und des Verständnisses von der Methode des Experimentierens analysiert. Dazu werden die Schüler, denen methodisches Wissen vermittelt wurde, denen gegenübergestellt, in deren Unterricht zusätzlich epistemologisches Wissen thematisiert wurde (s. Abbildung 32). Dabei werden Unterschiede hinsichtlich des Methodenwissens, des Epistemologiewissens und des Verständnisses von der Methode des Experimentierens untersucht.



Abbildung 32: Forschungsdesign für Forschungsfrage 2 (Wirksamkeit der Vermittlung von Epistemologiewissen):

Einfluss der Vermittlung von Epistemologiewissen auf den Erwerb von Epistemologiewissen

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Frage, welchen Einfluss die gezielte Vermittlung von epistemologischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren auf die Entwicklung von Epistemologiewissen ausübt.

Hypothese H2.1

Durch die gezielte unterrichtliche Vermittlung von epistemologischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren können Schüler der 6. Klasse entsprechendes Epistemologiewissen erwerben.

Die Schüler, die in der Intervention einen Unterricht mit expliziter Thematisierung epistemologischer Inhalte zum naturwissenschaftlichen Experimentieren erhalten haben, erreichten im Vortest beim Epistemologiewissen von 45 möglichen Punkten einen Mittelwert von $M = 26,84$ ($n = 98$; $SD = 5,93$). Nach der Intervention ist der Mittelwert auf $M = 30,04$ ($SD = 6,32$) höchst signifikant angestiegen ($t(98) = -6.238$; $p \leq .001$) (s. Abbildung 33). Die Schüler konnten sich also durch die Intervention erheblich in ihrem Epistemologiewissen steigern. Hypothese H2.1 kann demnach bestätigt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H2.1 werden im Anschluss an Hypothese H2.6 diskutiert.

Hypothese H2.2

Schüler, die eine unterrichtliche Vermittlung von ausschließlich methodischem Wissen, ohne eine gezielte Vermittlung von Epistemologiewissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, erwerben kein entsprechendes Epistemologiewissen, weil epistemologisches Wissen nicht implizit aus experimentellen Unterrichten abgeleitet werden kann, sondern explizit vermittelt werden muss.

Im Vortest erreichten die Schüler, denen anschließend nur methodisches Wissen vermittelt wurde, einen Mittelwert von $M = 27,38$ ($n = 103$; $SD = 4,87$). Sie konnten sich zum Nachtest hin auf einen Mittelwert von $M = 31,66$ ($n = 97$, $SD = 7,16$) steigern (s. Abbildung 33). Diese Entwicklung stellt einen höchst signifikanten Zuwachs dar ($t(98) = -5.847$; $p \leq .001$), d.h. durch die alleinige Vermittlung methodischen Wissens – ohne die explizite Vermittlung von Epistemologiewissen – war es den Schülern möglich, epistemologisches Wissen zu erwerben. Die Hypothese H2.2 muss daher abgelehnt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H2.2 werden im Anschluss an Hypothese H2.6 diskutiert.

Hypothese H2.3

Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von epistemologischem Wissen neben methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, in ihrem Epistemologiewissen überlegen.

Im Vortest unterschieden sich die Schüler der Interventionsgruppe, in der anschließend nur methodisches Wissen vermittelt wurde ($n = 103$; $M = 27,38$; $SD = 4,87$), und der Gruppe, in der zusätzlich epistemologisches Wissen vermittelt wurde ($n = 153$; $M = 26,67$; $SD = 5,51$) nicht signifikant von einander ($t(256) = 1.052$; $p > .05$). Der Vergleich beider Gruppen hinsichtlich des epistemologischen Wissens im Nachtest ergab zwischen Schülern, denen nur methodisches Wissen vermittelt wurde ($n = 97$, $M = 31,66$, $SD = 7,16$) und Schülern, denen zusätzlich epistemologisches Wissen vermittelt wurde ($n = 100$, $M = 29,69$, $SD = 6,89$), keine signifikanten Unterschiede ($t(197) = 1.721$; $p > .05$). Das heißt, dass die Schüler beider Wissensvermittlungen zum Zeitpunkt des Nachtests vergleichbares Epistemologiewissen aufwiesen (s. Abbildung 33). Die Hypothese H2.3 muss daher abgelehnt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H2.3 werden im Anschluss an Hypothese H2.6 diskutiert.

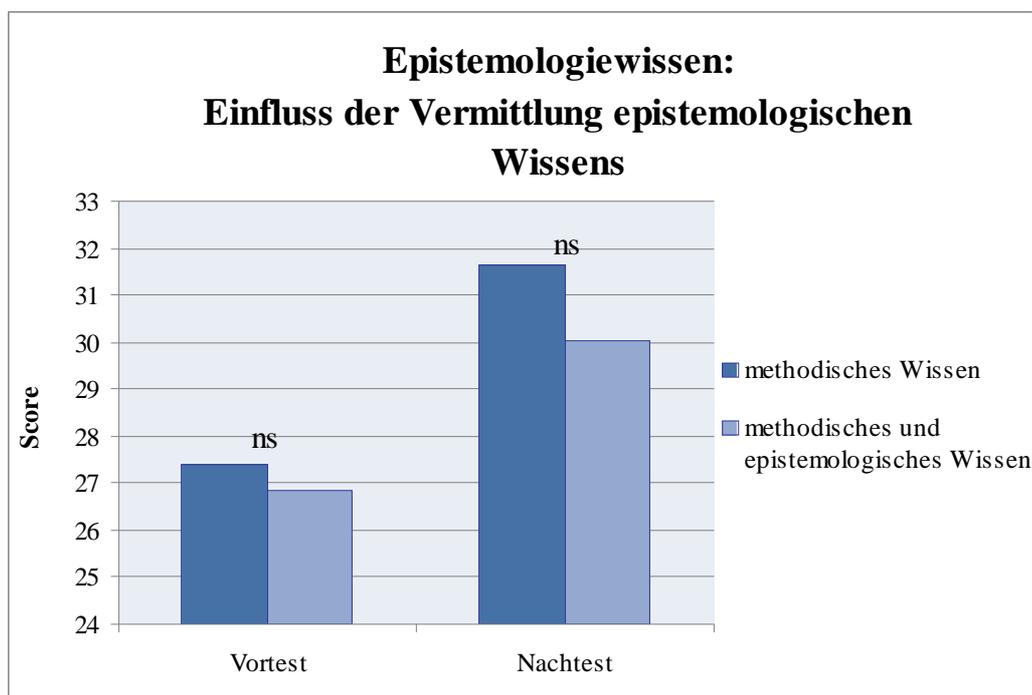


Abbildung 33: Einfluss der Vermittlung von epistemologischem Wissen auf das Epistemologiewissen (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Einfluss auf das Methodenwissen

Im Folgenden wird dargestellt, inwiefern die Vermittlung epistemologischen Wissen zusätzlich zur Vermittlung von methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren einen Einfluss auf die Entwicklung des Methodenwissens ausübt.

Hypothese H2.4

Schüler, die eine gezielte Vermittlung von epistemologischem Wissen zusätzlich zu methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, unterscheiden sich in ihrem Methodenwissen nicht von Schülern, in deren Unterricht ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, und zwar weder hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen, noch hinsichtlich des*
- b) Planens von Experimenten.*

Im Vortest wiesen beide Gruppen vergleichbares Methodenwissen auf ($t(256) = 1.017$; $p > .05$). Dabei erreichte die Gruppe, der anschließend sowohl methodisches als auch epistemologisches Wissen vermittelt wurde, bei 28 möglichen Punkten einen Mittelwert von $M = 14,70$ ($n = 98$; $SD = 4,79$), und die Gruppe, der im Folgenden ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, einen Mittelwert von $M = 15,17$ ($n = 94$; $SD = 5,44$). Durch die Intervention konnte sich die erste Gruppe höchst signifikant auf $M = 20,44$ ($SD = 4,75$) steigern ($t(98) = -11.816$; $p \leq .001$), und die letzte Gruppe auf $M = 20,30$ ($SD = 4,45$). Es handelt sich hierbei ebenfalls um einen höchst signifikanten Anstieg im Methodenwissen ($t(94) = -8.464$; $p \leq .001$).

Auch im Nachtest ($t(197) = .703$; $p > .05$) und im Wissenszuwachs ($t(192) = -.782$; $p > .05$) wichen die Ergebnisse der Gruppen nicht signifikant von einander ab. Dies gilt auch für die Subskalen Hypothesen identifizieren (Nachtest: $t(197) = -.140$; $p > .05$; Zuwachs $t(192) = .320$; $p > .05$) und Experimente planen (Nachtest: $t(197) = -.039$; $p > .05$; Zuwachs: $t(192) = .1.594$; $p > .05$). Sowohl die Vermittlung ausschließlich methodischen Wissens als auch die kombinierte Vermittlung methodischen und epistemologischen Wissens hat demnach zu einem vergleichbaren Wissenserwerb des Methodenwissens geführt. Die Hypothese H2.4 kann also bestätigt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H2.4 werden im Anschluss an Hypothese H2.6 diskutiert.

Einfluss auf das Verständnis

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse zur Wirksamkeit der Vermittlung epistemologischen Wissens zum naturwissenschaftlichen Experimentieren für die

Entwicklung eines adäquaten Verständnisses über das naturwissenschaftliche Experimentieren vorgestellt.

Hypothese H2.5

Schüler, die eine gezielte Vermittlung von epistemologischem Wissen neben methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, im Verständnis des Experimentierens überlegen, und zwar hinsichtlich

- a) des selbstständigen Planens von Experimenten,
- b) des Umgangs mit experimentellen Daten und
- c) des Erkennens von Konfundierungen.

a) Selbstständiges Planen von Experimenten

Die Schüler, in deren Unterricht ausschließlich methodische Aspekte des naturwissenschaftlichen Experimentierens thematisiert wurden, steigerten sich vom Vor- zum Nachtest nicht signifikant ($Z(102, 88) = -1.501$; $p > .05$). Dabei nahm die Anzahl von Schülern auf der untersten Stufe des Planens von Experimenten von 32,4% ($n = 33$) auf 17,0% ($n = 15$) ab. Gleichzeitig verringerte sich jedoch auch der Anteil der Schüler auf der höchsten Stufe von 21,6% ($n = 22$) im Vortest auf 13,6% ($n = 12$) im Nachtest (s. Abbildung 34).

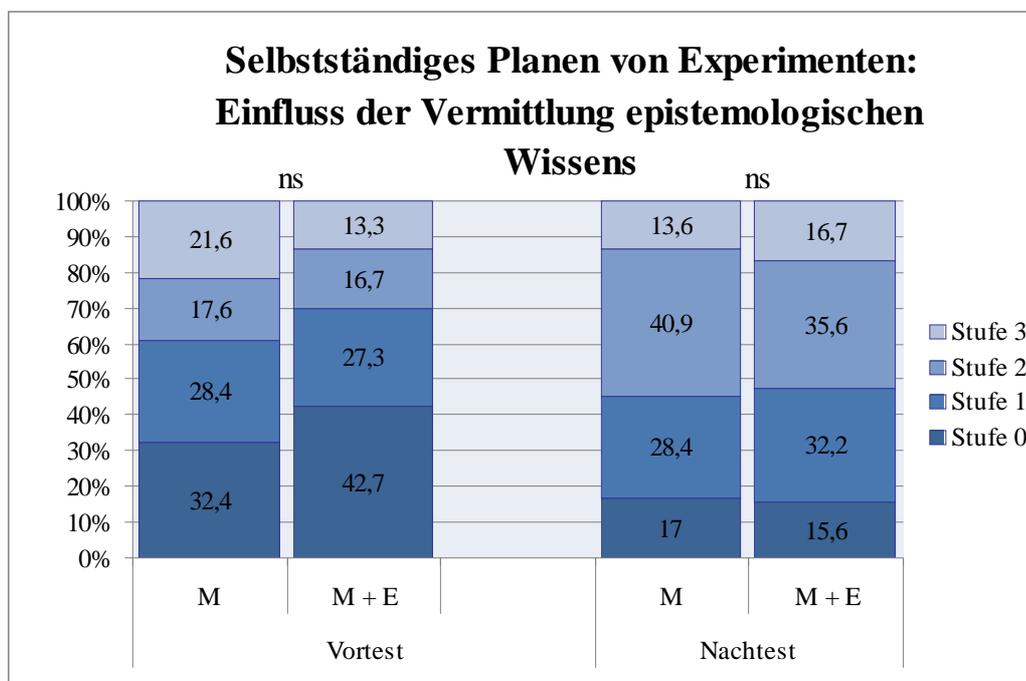


Abbildung 34: Einfluss der Vermittlung von epistemologischem Wissen auf das selbstständige Planen von Experimenten (M = methodisches Wissen; M+E = methodisches und epistemologisches Wissen; ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Die Schüler, die in der Intervention sowohl methodisches als auch epistemologisches Wissen kennengelernt haben, steigerten sich dagegen hoch signifikant $Z(150, 90) = -2.651$; $p \leq .01$). Im Vortest erreichten noch 42,7% der Schüler ($n = 64$) nur die unterste Stufe, im Nachtest waren es hier nur noch 15,6% ($n = 14$). Die Anzahl der Schüler auf der höchsten Stufe des Planens von Experimenten veränderte sich dagegen kaum (13,3% ($n = 20$) im Vortest, 16,7% ($n = 15$) im Nachtest).

Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren im Vortest gerade nicht signifikant ($Z(102, 150) = -1.939$; $p = .053$). Auch im Nachtest ($Z(88, 90) = -.087$; $p > .05$) und im Wissenszuwachs ($Z(85, 89) = -1.549$; $p > .05$) unterschieden sich die Gruppen nicht statistisch signifikant. Dies gilt auch für die detaillierte Betrachtung der Darstellung eines Vergleichsgedankens ($Z(88, 90) = -.310$; $p > .05$), der Fähigkeit zur Variablenkontrolle ($Z(88, 90) = -.250$; $p > .05$) und der Integration eines Kontrollansatzes ($Z(88, 90) = -.851$; $p > .05$). Das heißt, beide Gruppen haben ein vergleichbares Verständnis über das Planen von naturwissenschaftlichen Experimenten erworben. Die Hypothese H2.5a muss also abgelehnt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H2.5a werden im Anschluss an Hypothese H2.6 diskutiert.

b) Umgang mit experimentellen Daten

Hinsichtlich der Fähigkeiten zur Datenanalyse unterschieden sich Schüler, die einen Unterricht zum methodischen Wissen beim Experimentieren erfahren haben ($n = 97$, $M = 11$, $SD = 2,93$), und Schüler, in deren Unterricht auch epistemologisches Wissen vermittelt wurde ($n = 99$, $SD = 2,83$), nicht signifikant ($Z(97, 99) = -.451$; $p > .05$).

Dies gilt auch für die getrennte Betrachtung der Fähigkeiten, den Testfaktor Licht ($Z(97, 99) = -.159$; $p > .05$) und die nicht getesteten Faktoren Wärme ($Z(97, 99) = -.461$; $p > .05$), Wasser ($Z(97, 99) = -.249$; $p > .05$) und Erde ($Z(97, 99) = -.014$; $p > .05$) adäquat zu interpretieren (s. Abbildung 35). Beide Gruppen haben also ein vergleichbares Verständnis hinsichtlich der Datenanalyse beim naturwissenschaftlichen Experimentieren entwickelt. Die Hypothese H2.5b muss also abgelehnt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H2.5b werden im Anschluss an Hypothese H2.6 diskutiert.

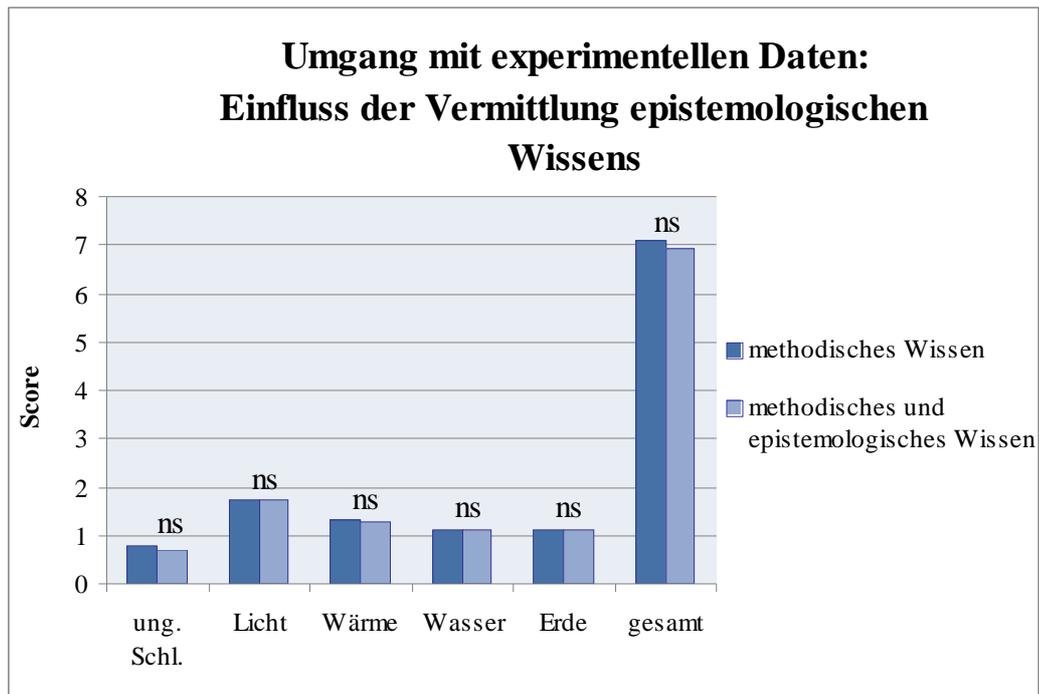


Abbildung 35: Einfluss der Vermittlung von epistemologischem Wissen auf den Umgang mit experimentellen Daten (ung. Schl. = ungültige Schlussfolgerung entdeckt; ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

c) Erkennen von Konfundierungen

Im Bezug auf die Fähigkeit zur Identifikation von Konfundierungen in gegebenen Experimenten unterschieden sich Schüler, deren Unterricht nur methodisches Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren enthielt ($n = 97$, $M = 0,61$, $SD = 0,49$), im Nachtest nicht von Schülern, in deren Unterricht zusätzlich epistemologisches Wissen vermittelt wurde ($n = 95$, $M = 0,75$, $SD = 0,44$; $Z(96, 97) = -.103$; $p > .05$). Auch in diesem Bereich war das Verständnis beider Gruppe gleichwertig. Die Hypothese H2.5c muss also abgelehnt werden.

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothese H2.5c werden im Anschluss an Hypothese H2.6 diskutiert.

Hypothese H2.6

Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von epistemologischem Wissen neben methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich methodisches Wissen vermittelt wurde, insgesamt hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren überlegen.

Im Vortest unterschieden sich die Schüler, denen anschließend methodisches und epistemologisches Wissen ($n = 153$, $M = 16,26$, $SD = 3,70$) bzw. ausschließlich methodisches

Wissen ($n = 103$, $M = 16,97$, $SD = 3,86$) vermittelt wurde, nicht voneinander ($t(103, 153) = 1.477$; $p > .05$). Nach der Intervention, durch die beide Gruppen sich höchst signifikant steigern konnten (methodisches Wissen: $n = 97$, $M = 20,04$, $SD = 4,15$; methodisches und epistemologisches Wissen: $n = 100$, $M = 19,46$, $SD = 4,41$), wiesen sie ebenfalls ein vergleichbares Niveau auf ($t(97, 100) = .948$; $p > .05$), und zwar auch im Wissenszuwachs ($t(98, 100) = .550$; $p > .05$) (s. Abbildung 36). Die Vermittlung epistemologischen Wissens hat also keine Überlegenheit der kognitiven Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren bewirkt. Die Hypothese H2.6 muss daher zurückgewiesen werden.

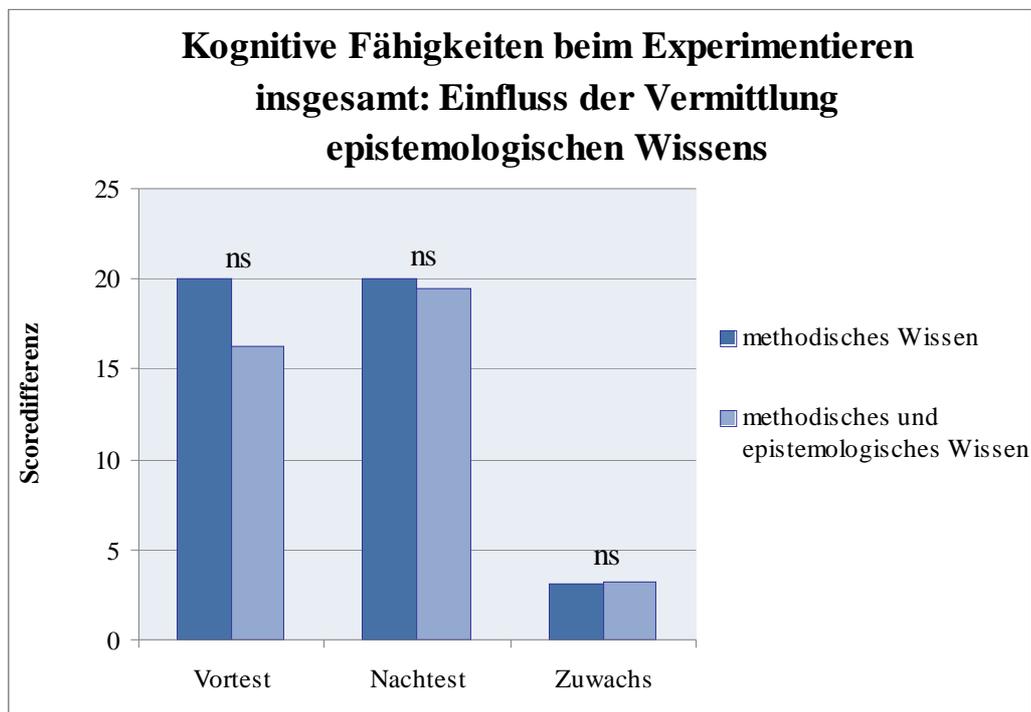


Abbildung 36: Einfluss der Vermittlung von epistemologischem Wissen auf die kognitiven Fähigkeiten insgesamt (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Diskussion H2.1 – H2.6

Die Entwicklung des Epistemologiewissens der Schüler dieser Studie zeigt, dass es bereits Schülern der Unterstufe möglich ist, epistemologisches Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren mit einem geringen Abstraktionsgrad zu erwerben. Die Schüler waren in der Lage, sich durch die Intervention in ihrem Epistemologiewissen erheblich zu steigern. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für die Förderung kognitiver Fähigkeiten von Schülern der Unterstufe geklärt, so dass Instruktionsmaßnahmen auch auf den Bereich der Epistemologie ausgeweitet werden können.

Die Ableitung darüber hinausgehender Aussagen über die Wirksamkeit der Vermittlung epistemologischen Wissens für das Methodenwissen und Verständnis der Schüler stellt sich dagegen problematisch dar. Das liegt daran, dass nicht nur die Schüler, die eine explizite

Vermittlung epistemologischen Wissens erhielten, entsprechendes Wissen erworben haben, sondern auch die Schüler, in deren Intervention epistemologisches Wissen nicht thematisiert wurde. Bei letzteren hat allein eine Vermittlung methodischen Wissens zu einem vergleichbaren epistemologischen Wissenserwerb geführt wie die explizite Vermittlung von epistemologischem Wissen. Mögliche Ursachen der Wissenssteigerung der Schüler im Epistemologiewissenstest wurden bereits bei den Auswertungen zu Fragestellung 1 (Wirkung der Vermittlung methodischen Wissens) diskutiert (vgl. Diskussion der Hypothesen H1.4 – H1.6). Es wurde dort gefolgert, dass es den Schülern offensichtlichmöglich war, aus den konkreten Hinweisen über Vorgehensweisen beim Experimentieren, die in den Interventionen als methodisches Wissen vermittelt wurden, abstraktes epistemologisches Wissen abzuleiten.

Die vergleichbare Entwicklung des epistemologischen Wissens der Schüler beider Gruppen stellt für die weitere Interpretation der Ergebnisse zum Methodenwissen und Verständnis der Schüler ein Problem dar: Da sich beide Gruppen de facto nicht in dem zu untersuchenden Testfaktor „epistemologisches Wissen“ unterscheiden, ist es nicht möglich, die Wirkung der Vermittlung epistemologischen Wissens eindeutig zu beurteilen. Dies soll im Folgenden weiter erläutert werden:

Die vergleichbaren Ergebnisse der Schüler beider Gruppen im Epistemologiewissenstest des Nachttests können auf zwei Arten interpretiert werden, die verschiedene Implikationen für die vorstehenden Ergebnisse nach sich ziehen:

(1) Das Epistemologiewissen der Schüler beider Gruppen unterscheidet sich tatsächlich nicht.

Unter der Voraussetzung, dass der Epistemologietest geeignet ist, das tatsächlich vorhandene Epistemologiewissen der Schüler abzubilden, wäre davon auszugehen, dass beide Gruppen vergleichbares epistemologisches Wissen erworben haben. In der Folge wäre es nicht möglich, aus den Ergebnissen dieser Studie eindeutige Aussagen über die Wirkung von epistemologischem Wissen auf den Erwerb von Methodenwissen und die Verständnissentwicklung der Schüler abzuleiten, da sich die zu vergleichenden Gruppen nicht im Testfaktor „epistemologisches Wissen“ unterscheiden.

In diesem Fall könnten nicht eindeutig über die Bedeutung der Vermittlung epistemologischen Wissens für die vergleichbaren Ergebnisse beider Gruppen im Methodenwissenstest und im Verständnistest entschieden werden:

Einerseits könnte es sein, dass die vergleichbaren Ergebnisse entstanden, weil der Erwerb epistemologischen Wissens keine förderliche Wirkung auf den Erwerb von Methodenwissen und das Verständnis des naturwissenschaftlichen Experimentierens ausübt. Andererseits könnte es sein, dass eine solche förderliche Wirkung besteht,

jedoch alle Schüler gleichermaßen von ihr profitieren, da sie zum Zeitpunkt des Nachtest vergleichbares Epistemologiewissen besaßen.

Die Ergebnisse zum Methodenwissen und Verständnis der Schüler könnten daher nicht eindeutig gedeutet werden.

(2) Das Epistemologiewissen der Schüler unterscheidet sich tatsächlich.

Voraussetzung für diese Annahme ist, dass das eingesetzte Testinstrument nicht geeignet ist, bestehende Unterschiede im Epistemologiewissen der Schüler offen zu legen. Das Testinstrument würde dann gerade nur die Inhalte abbilden, die beide Gruppen gleichermaßen erworben haben, jedoch nicht solche Inhalte, die durch die explizite Thematisierung epistemologischen Wissens von den Schülern eventuell zusätzlich erworben wurden. Hierzu könnte z.B. das Wissen über die Indirektheit der experimentellen Erkenntnisgewinnung zählen, die sich von der Erkenntnis aus direkten Beobachtungen hinsichtlich der Abgesichertheit der Erkenntnisse unterscheidet (vgl. Kapitel 2.1.3). Die prinzipielle Fehlbarkeit indirekter Erkenntnisprozesse stellt die Grundlage für das methodische Vorgehen beim Experimentieren dar. Die Berücksichtigung von Kontrollansätzen und der Variablenkontrolle dient der größtmöglichen Absicherung des Erkenntnisprozesses. Diese Zusammenhänge wurden in den Interventionen unter anderem vermittelt, fanden jedoch im Epistemologietest keine Berücksichtigung (vgl. Kapitel 3.4.4.2). Stattdessen wurde epistemologisches Wissen auf der Ebene der konkreten Bedeutung für das Experimentieren thematisiert, z.B. dass ein Versuchsplan das geplante Vorgehen sicherstellt und so der eindeutigen Erkenntnis dient. Es könnten also tatsächlich Wissensunterschiede über die Epistemologie des Experimentierens bestehen. Diese wurden jedoch durch das gewählte Testinstrument nicht erfasst.

In diesem Fall könnten die vergleichbaren Ergebnisse beider Gruppen im Methodenwissen und Verständnis bedeuten, dass die Vermittlung epistemologischen Wissens keine Förderung für diese Fähigkeiten der Schüler mit sich bringt. Um diesen Zusammenhang z.B. in einer weiteren Studie untersuchen zu können, müsste ein geeignetes Testinstrument entwickelt werden, das Unterschiede im epistemologischen Wissen der Schüler ermitteln kann.

Es lässt sich aus der vorliegenden Studie nicht ableiten, welche der genannten Implikationen als wahrscheinlicher anzusehen ist.

Daher können Aussagen über die Wirksamkeit der Vermittlung epistemologischen Wissens für das Methodenwissen und Verständnis der Schüler nicht abgeleitet werden. Die Hypothesen H2.4 – H2.6 können daher weder abschließend bestätigt noch widerlegt werden. Die Zusammenhänge der Vermittlung epistemologischen Wissens und der Entwicklung des

Methodenwissens und Verständnisses der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren müssen in weiteren Studien untersucht werden.

3.5.4 Vermittlung von negativem Wissen (Fragestellung 3)

Wirksamkeit der Vermittlung von negativem Wissen

In diesem Auswertungsteil werden die Ergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeit der Vermittlung von negativem Wissen dargestellt. Dazu wird verglichen, wie sich Schüler, in deren Unterricht Aspekte des naturwissenschaftlichen Experimentierens ausschließlich als positives Wissen vermittelt wurden, von solchen Schülern unterscheiden, bei denen gleichzeitig auch negatives Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren vermittelt wurde (s. Abbildung 37). Dabei wurden Unterschiede hinsichtlich des Methodenwissens, des Epistemologiewissens und des Verständnisses von der Methode des Experimentierens untersucht.



Abbildung 37: Forschungsdesign für Forschungsfrage 3 (Wirksamkeit der Vermittlung von negativem Wissen):

Einfluss auf das Methodenwissen

In diesem Auswertungsteil werden die Ergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens auf den Erwerb von Methodenwissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren dargestellt.

Hypothese H3.1

Schüler, die eine unterrichtliche Vermittlung von positivem und negativem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, unterscheiden sich in ihrem Methodenwissen nicht von Schülern, in deren Unterricht ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, und zwar weder hinsichtlich des

- a) Identifizierens von Hypothesen, noch hinsichtlich des*
- b) Planens von Experimenten.*

Vor den Interventionen unterschieden sich die Schüler der beiden Gruppen signifikant hinsichtlich ihres Vorwissens über die Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens ($t(129, 127) = 2.531$; $p \leq .05$). Dabei erreichten die Schüler, in deren Unterricht anschließend nur positives Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vermittelt wurde, von 28 möglichen Punkten einen Mittelwert von $M = 15,64$ ($n = 129$, $SD = 4,89$), während die Schüler, in deren Unterricht zusätzlich negatives Wissen vermittelt wurde, einen etwas geringeren Mittelwert von $M = 14,07$ ($n = 127$, $SD = 5,05$) erlangten. Die Schüler der ersten Gruppe waren den Schülern der anderen Gruppe zu diesem Zeitpunkt also überlegen. Aufgrund dieser Vorwissensunterschiede kann zur Beurteilung der Wirksamkeit der Interventionen nicht das Wissen im Nachtest, sondern nur der Wissenszuwachs als Maß der Wirksamkeit der Wissensvermittlung betrachtet werden, d.h. das Vorwissen muss als Kovariate in die Analysen mit einbezogen werden. Bei solcher Betrachtung der Wissensentwicklung zeigt sich, dass die kombinierte Vermittlung negativen und positiven Wissens zu einer signifikant größeren Steigerung im Methodenwissen führte ($t(192) = -2.096$; $p \leq .05$; $M = 20,56$, $n = 98$, $SD = 4,81$) als die Vermittlung ausschließlich positiven Wissens ($n = 99$, $M = 20,07$, $SD = 4,34$). Die Unterschiede der Wissenssteigerungen beider Gruppen sind im Bereich der Subskalen Hypothesen identifizieren ($t(192) = -1.706$; $p = .090$) und Experimente planen ($t(192) = -1.749$; $p = .082$) noch knapp unterhalb des untersten Signifikanzniveaus von 5%, bei der Betrachtung der Gesamtskala zeigt sich jedoch die Überlegenheit der Schüler, denen negatives Wissen vermittelt wurde (s. Abbildung 38). Dadurch unterschieden sich beide Gruppen im Nachtest nicht mehr, sondern erreichten ein vergleichbares Niveau ($t(197) = .752$; $p > .05$).

Die Analyse der Subskalen des Methodenwissenstests zeigt, dass die Vermittlung negativen Wissens sowohl zu höherem Wissenserwerb im Bereich des Identifizierens von Hypothesen ($t(192) = -1.706$; $p = .090$) als auch des Planens von Experimenten ($t(191) = -1.747$; $p = 0.082$) geführt hat. Diese Ergebnisse sind allerdings nur tendenziell signifikant. Bezüglich des Gesamtscores stellen sie dagegen wie beschrieben signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen dar. Die Hypothese H3.1 muss also zugunsten der Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens abgelehnt werden.

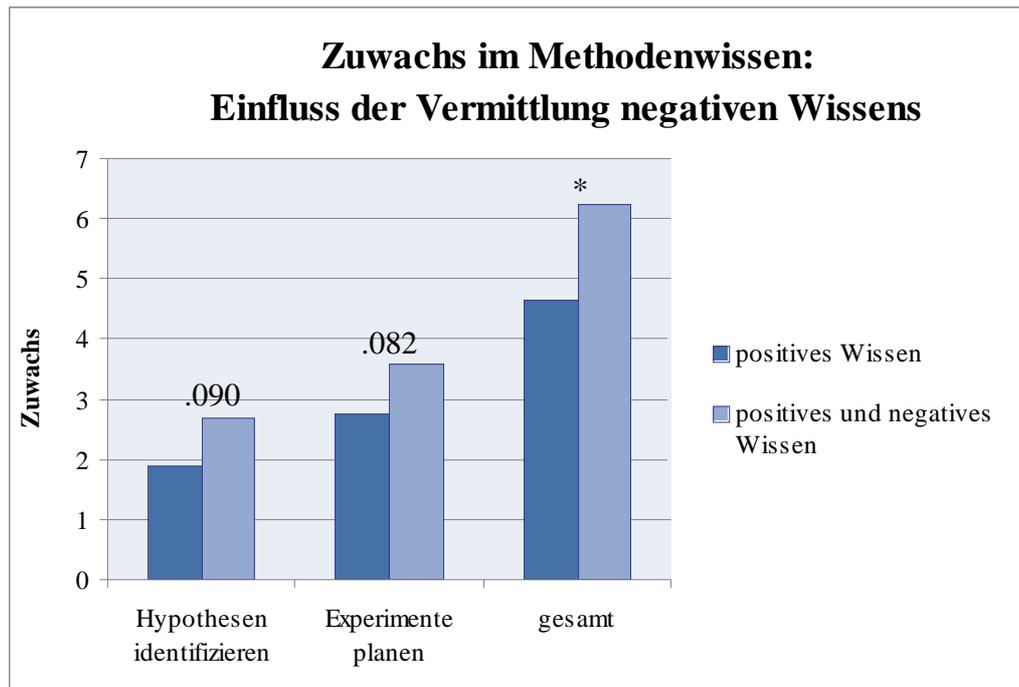


Abbildung 38: Einfluss der Vermittlung von negativem Wissen auf das Methodenwissen
(ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Diskussion

Die Vermittlung negativen Wissens hat die Schüler zu einem größeren Wissenserwerb befähigt als die Schüler, in deren Unterricht das Methodenwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren ausschließlich als positives Wissen thematisiert wurde. Dadurch konnten die Schüler ihr geringeres Vorwissen aus dem Vortest ausgleichen und im Nachtest das gleiche Wissensniveau wie die Schüler der anderen Gruppe erreichen. Eine Erklärung hierfür kann in der Theorie des negativen Wissens, d.h. in den typischen Merkmalen des negativen Wissens zu finden sein: Negatives Wissen wirkt als Schutzwissen, das durch das Wissen z.B. über Fehler beim naturwissenschaftlichen Experimentieren vor dem Begehen dieser Fehler bewahrt. In diesem Sinne kann der Erwerb negativen Wissens die Schüler bei der Auswahl geeigneter multiple choice-Antworten des Methodenwissenstest unterstützt haben (OserHascher & Sychinger, 1999). Das Wissen um die Grenzen der betrachteten Wissensaspekte und der gezielte Blick auf zugehörige und nicht zugehörige Inhalte haben die Schüler eventuell besser dazu befähigt, zwischen richtigen und falschen Antworten zu unterscheiden.

Im Gegensatz zum Vortest wiesen beide Gruppen zum Zeitpunkt des Nachtests vergleichbares Wissen über die Methode des Experimentierens auf. Das bedeutet, dass sie die gleichen Wissensvoraussetzungen für die Lösung der Verständnisfragen des Nachtests mit sich bringen (s. S. 160ff.).

Einfluss auf das Epistemologiewissen

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens auf das epistemologische Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vorgestellt.

Hypothese H3.2

Schüler, die eine unterrichtliche Vermittlung von positivem und negativem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, unterscheiden sich in ihrem Epistemologiewissen nicht von Schülern, in deren Unterricht ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde.

Vor den Interventionen wiesen beide Gruppen das gleiche Vorwissensniveau hinsichtlich der Epistemologie des naturwissenschaftlichen Experimentierens auf ($t(129, 127) = -.035$; $p > .05$). Dabei erreichten die Schüler, deren Unterricht anschließend nur positives Wissen thematisierte, von 45 möglichen Punkten einen Mittelwert von $M = 26,95$ ($n = 129$, $SD = 5,13$), und die Schüler, denen anschließend positives und negatives Wissen vermittelt wurde, einen Mittelwert von $M = 26,97$ ($n = 127$, $SD = 5,42$). Nach den Interventionen zeigte sich ein ähnlich einheitliches Bild: Beide Gruppen unterschieden sich in ihrem Wissen ($t(197) = .288$; $p > .05$) und in ihrem Wissenserwerb ($t(197) = -.641$; $p > .05$) nicht signifikant voneinander. Die Gruppen konnten sich dabei jeweils höchst signifikant in ihrem Epistemologiewissen steigern, und zwar auf $M = 30,81$ ($n = 98$, $SD = 6,960$; $t(96) = -5.993$; $p \leq .001$) bei Vermittlung ausschließlich positiven Wissens, und auf $M = 30,52$ ($n = 99$, $SD = 7,22$; $t(96) = -5.845$; $p \leq .001$) bei der zusätzlichen Vermittlung von negativem Wissen. Die Hypothese H3.2 kann daher bestätigt werden.

Diskussion

Wie bereits bei der Wirksamkeit der Vermittlung epistemologischen Wissens diskutiert, konnte in den Interventionen epistemologisches Wissen auch ohne dessen explizite Vermittlung erworben werden. Die Ergebnisse des aktuellen Auswertungsteils bestätigen dieses Ergebnis. Darüber hinaus lässt sich – wie erwartet – kein zusätzlicher Effekt durch die Vermittlung positiven und/oder negativen Wissens erkennen (vgl. Kapitel 3.3). Der Erwerb von Abgrenzungs- oder Schutzwissen über die Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens scheint keinen weiteren Einfluss auf den Erwerb epistemologischen Wissens auszuüben. Allerdings sind auch diese Aussagen unter der Einschränkung zu betrachten, dass der Epistemologiewissenstest eventuell nicht vollständig das epistemologische Wissen der Schüler erfasst. Die Hypothese H3.2 ist also nur unter Vorbehalt zu bestätigen. Die Ergebnisse müssen in einer weiteren Studie mit einem anderen Testinstrument zum Epistemologiewissen bestätigt werden.

Einfluss auf das Verständnis

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens für das Verständnis des naturwissenschaftlichen Experimentierens dargestellt.

Hypothese H3.3

Schüler, die eine gezielte unterrichtliche Vermittlung von positivem und negativem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, im Verständnis des Experimentierens überlegen, und zwar hinsichtlich

- a) des selbstständigen Planens von Experimenten,*
- b) des Umgangs mit experimentellen Daten und*
- c) des Erkennens von Konfundierungen.*

a) Selbstständiges Planen von Experimenten

Die Schüler, denen ausschließlich positives Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren vermittelt wurde, konnten sich in ihrer Fähigkeit, selbstständig ein naturwissenschaftliches Experiment zu planen, durch die Intervention höchst signifikant steigern ($Z(127, 88) = -3.846; p \leq .001$). Im Vortest erreichten z.B. 44,9% der Schüler ($n = 57$) nur die unterste von vier Stufen beim Planen von Experimenten (s. Abbildung 39)³⁶. Im Nachtest waren es nur noch 17,0% der Schüler dieser Gruppe ($n = 15$). Die Schüler, denen zusätzlich zu positivem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren auch negatives Wissen vermittelt wurde, konnten sich zwar auch steigern, jedoch blieb die Steigerung in einem statistisch nicht relevanten Ausmaß ($Z(125, 90) = -.430; p > .05$). Auch hier nahm die Zahl der Schüler, die mit ihren Experimentplanungen nur die unterste Stufe 0 erreichten, ab, und zwar von 32,0% ($n = 40$) im Vortest auf 15,6% ($n = 14$) im Nachtest. Gleichzeitig nahm in dieser Gruppe auch die Anzahl von Schüler auf der höchsten Stufe der Experimentplanungen ab von 20,8% ($n = 26$) im Vortest auf 10,0% ($n = 9$) im Nachtest (s. Abbildung 39).

Im Vortest wies die Gruppe, der anschließend negatives Wissen vermittelt wurde, signifikant bessere Fähigkeiten beim Planen naturwissenschaftlicher Experimente auf als die Gruppe, der anschließend ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde ($Z(127, 125) = -2.119; p \leq .05$). Nach den Interventionen ließen sich die Vorwissensunterschiede nicht mehr feststellen ($Z(88, 90) = -1.528; p > .05$). Durch die Vermittlung ausschließlich positiven Wissens konnten die Schüler ihre Fähigkeiten beim Planen von Experimenten hoch signifikant stärker steigern als durch die zusätzliche Vermittlung von negativem Wissen ($Z(87, 87) = -2.828; p \leq .01$).

³⁶ Eine genaue Beschreibung der Stufen wurde in Kapitel 3.4.4.3 vorgenommen.

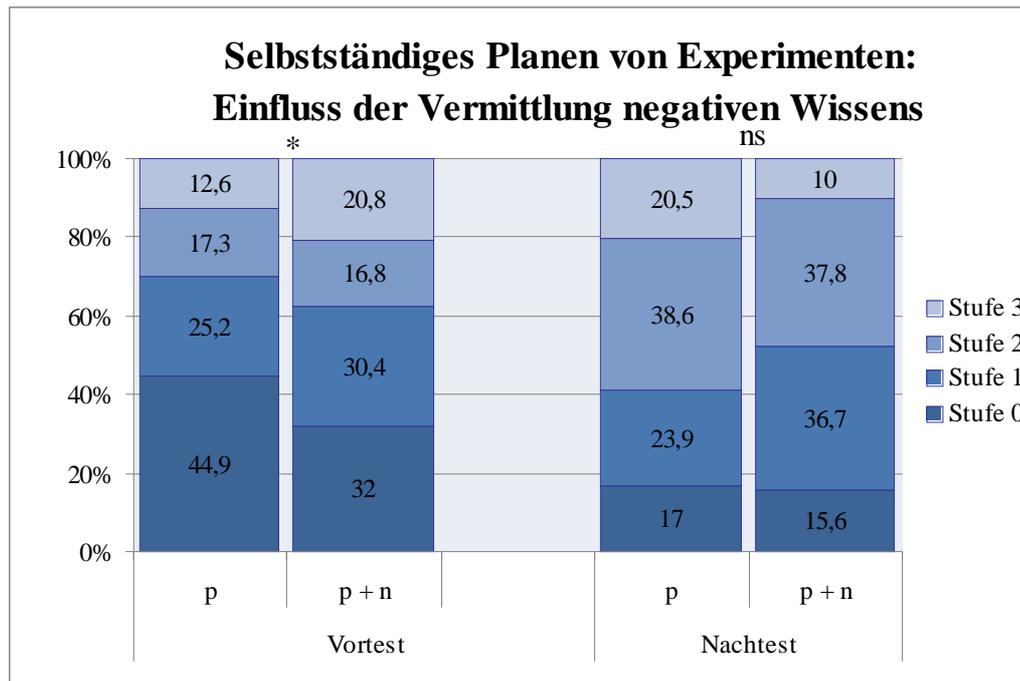


Abbildung 39: Einfluss der Vermittlung von negativem Wissen auf das selbstständige Planen von Experimenten (p = positives Wissen, p + n = positives und negatives Wissen; ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Bei der Einzelbetrachtung der in den Stufen enthaltenen Teilfähigkeiten zum Planen von Experimenten zeigte sich, dass der Unterschied zwischen den Gruppen nicht auf die Fähigkeit zur Integration eines Kontrollansatzes ($Z(88, 90) = -.154$; $p > .05$) oder des bekundeten Vergleichsgedanken ($Z(88, 90) = -1.296$; $p > .05$) beruhte. Die Schüler, die ausschließlich positives Wissen über das Experimentieren erwarben, waren stattdessen im Bereich der Variablenkontrolle überlegen ($Z(88, 90) = -2.385$; $p \leq .05$). Bei genauerer Betrachtung der Fähigkeit zur Variablenkontrolle zeigte sich, dass bei den Schülern, denen negatives Wissen vermittelt worden war, häufiger ein Zwischenverständnis der Variablenkontrolle auftrat ($Z(88, 90) = -2.646$; $p \leq .01$), während die Gruppe, der nur positives Wissen vermittelt worden war, häufiger ein adäquates Verständnis aufwies ($Z(88, 90) = -2.570$; $p \leq .01$). Eine detaillierte Charakterisierung des Zwischenverständnisses wird in der Diskussion zu dieser Hypothese (S. 163 ff.) vorgenommen.

Hinsichtlich der Fähigkeit zum selbstständigen Planen von Experimenten waren die Schüler, denen negatives Wissen vermittelt wurde, also nicht wie erwartet überlegen. Im Bereich der Variablenkontrolle waren sie den Schülern, die ausschließlich positives Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren erwarben, sogar unterlegen.

Die Hypothese H3.3a muss also zurückgewiesen werden. In Bezug auf die Variablenkontrolle weisen die Effekte sogar in die entgegengesetzte Richtung der Hypothese.

b) Umgang mit experimentellen Daten

Die Analyse der Fähigkeit zur Datenanalyse offenbarte Unterschiede zwischen den beiden Gruppen: Schüler, denen negatives Wissen vermittelt wurde, waren hoch signifikant besser in der Lage, die Datenanalyse eines gegebenen Experiments zu beurteilen, als Schüler, denen nur positives Wissen vermittelt wurde ($Z(98, 98) = -2.561$; $p \leq .01$). Während die Überlegenheit bei der Identifizierung der in der Aufgabe enthaltenen ungültigen Schlussfolgerung noch gerade nicht signifikant war ($Z(98, 98) = -1.932$; $p = .053$), trat sie bei Betrachtung der Interpretation der einzelnen Variablen deutlich zu Tage. Nur hinsichtlich der Interpretation der Testvariable Licht ließen sich keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen feststellen ($Z(98, 98) = -.214$; $p > .05$). Schüler, die negatives Wissen erworben haben, waren dagegen mindestens signifikant besser in der Lage, die Nicht-Testvariablen im gegebenen Experiment angemessen (d.h. als nicht untersucht) zu interpretieren (Wärme: $Z(98, 98) = -2.337$; $p \leq .05$; Wasser $Z(98, 98) = -2.889$; $p \leq .01$; Erde $Z(98, 98) = -2.692$; $p \leq .01$) und damit von der gegebenen naturwissenschaftlich inkorrekten Schlussfolgerung abzuweichen (s. Abbildung 40). Sie wurden also durch den Erwerb negativen Wissens besser befähigt, das Experiment als Ganzes naturwissenschaftlich zu analysieren. Die Hypothese H3.3b kann demnach bestätigt werden.

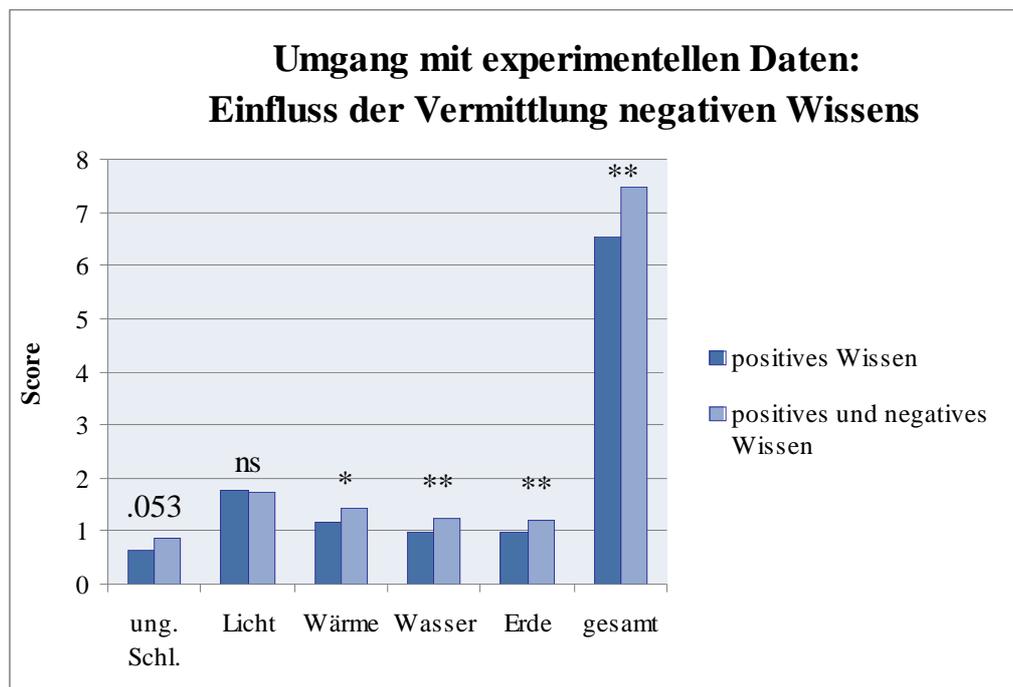


Abbildung 40: Einfluss der Vermittlung von negativem Wissen auf den Umgang mit experimentellen Daten (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

c) Erkennen von Konfundierungen

Im Bereich der Identifikation von Konfundierungen in gegebenen Experimenten zeigten sich ebenfalls Unterschiede zwischen den beiden Gruppe. Schüler, in deren Unterricht sowohl positives als auch negatives Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren

thematisiert wurde, waren signifikant besser in der Lage, eine Konfundierung in einem Experiment zu entdecken ($Z(97, 95) = -2.056; p \leq .05$), als Schüler, denen ausschließlich positives Wissen in diesem Bereich vermittelt wurde. Die Hypothese H3.3c kann also auch bestätigt werden.

Diskussion

Aufgrund der Ergebnisse des Methodenwissenstests kann man davon ausgehen, dass die Schüler beider Gruppen zum Zeitpunkt des Nachtests über ein vergleichbares Methodenwissen bezüglich der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes in naturwissenschaftlichen Experimenten verfügten (s. Ergebnisse zu Hypothese H3.1). Im Verständnistest waren die Schüler nun dazu aufgefordert, dieses vorhandene Wissen in neuen und komplexeren Zusammenhängen anzuwenden. Dabei mussten sie das Wissen über die Variablenkontrolle und den Kontrollansatz sowohl auf einen anderen biologischen Gegenstand, als auch auf weiterführende methodische Zusammenhänge übertragen (vgl. Kapitel 3.4.4.3). Es wurde erwartet, dass das Verständnis der Schüler durch den Erwerb negativen Wissens gefördert würde, da es einerseits als Schutzwissen die Anwendung positiven Wissens sichern und andererseits zu einer kritischeren Betrachtung gegebener Experimente führen könnte.

Die Vermittlung negativen und positiven Wissens erwies sich in zwei sehr anspruchsvollen Verständnisaspekten effektiver als die Vermittlung ausschließlich positiven Wissens.

Einerseits waren die Schüler, die negatives Wissen erwarben, besser in der Lage, eine Konfundierung von Testvariablen in einem gegebenen Experiment zu identifizieren, als die Schüler, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da die Gegenüberstellung von konfundierten und nicht konfundierten Experimenten in der Intervention dieser Gruppe thematisiert wurde. Das Abgrenzungswissen hinsichtlich der Variablenkontrolle hat diese Schüler entsprechend zu einem kritischeren Umgang mit der Variablenkonstellation in gegebenen Experimenten befähigt als die Schüler der anderen Gruppe. Dieses Ergebnis weist auf ein komplexeres Verständnis der Schüler bezüglich der Variablenkontrolle hin.

Andererseits waren die Schüler nach dem Erwerb negativen Wissens zu einem kompetenteren Umgang mit experimentellen Daten fähig, konnten gegebene Daten kritischer betrachten und in der Interpretation zwischen Testfaktoren und nicht getesteten Faktoren unterscheiden. Diese Aspekte wurden in den Interventionen beider Gruppen nicht thematisiert. Sie betreffen ein grundsätzliches Verständnis der Elemente naturwissenschaftlicher Experimente und der gezielten Untersuchung einzelner Variablen. Während die Schüler, denen nur positives Wissen vermittelt wurde, hauptsächlich den zentralen Faktor Licht, der sowohl in der Fragestellung angegeben als auch in dem dargestellten Experiment als Testfaktor untersucht wurde, adäquat interpretieren konnten,

konnten die Schüler der anderen Gruppe durch den Erwerb negativen Wissens außerdem die nicht getesteten Faktoren naturwissenschaftlich korrekt interpretieren. Dazu mussten sie der gegebenen Datenanalyse widersprechen, denn entgegen der gegebenen Schlussfolgerung konnten über die Faktoren Wärme, Wasser und Licht aus dem dargestellten Experiment keine Schlüsse gezogen werden, da diese Faktoren nicht variiert wurden. Auch dieses Ergebnis weist auf ein besseres Verständnis der Schüler bezüglich der Variablenkontrolle hin.

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen konnten die Schüler, die im Unterricht negatives Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren erwarben, das Verständnis über die Variablenkontrolle bei der selbstständigen Planung von Experimenten nicht angemessen umsetzen. Stattdessen waren sie signifikant schlechter in der Lage, drei Testfaktoren in ihren eigenständigen Planungen zu kontrollieren. Dabei zeigten sie häufiger ein Zwischenverständnis der Variablenkontrolle als die Schüler, denen ausschließlich positives Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren vermittelt wurde. Im Folgenden soll das Zwischenverständnis zunächst detaillierter erläutert werden, bevor die Ergebnisse zum Planen von Experimenten weiter diskutiert werden.

Das Zwischenverständnis der Schüler kann dadurch charakterisiert werden, dass die Schüler die Bedeutung der kontrollierten Variation einzelner Testfaktoren noch nicht vollständig naturwissenschaftlich erfasst haben. Sie haben bereits verstanden, dass bei naturwissenschaftlichen Experimenten nur einzelne Variablen variiert werden, um eindeutige Aussagen über die Wirksamkeit der Testvariable treffen zu können. Ihnen fehlt jedoch noch das Verständnis darüber, dass dies nicht bedeutet, nur eine einzelne Variable in jeden Ansatz einzubeziehen. Sie haben noch nicht gelernt, dass man beim Experimentieren aus einem System von Variablen, die mit einem Naturvorgang in Zusammenhang gebracht werden, immer nur eine Variable entfernt, um deren Effekt eindeutig untersuchen zu können. Zur Illustration sei die folgende Experimentplanung des Schülers VPN 359 als Beispiel für das Zwischenverständnis angeführt:

Sina packt die Bohnensamen in drei Töpfe und füllt Erde drüber. In (1) Topf füllt sie ein bisschen Wasser, den (2) Topf stellt sie in die Wärme den (3) nur ins Licht.

- (1) darf nur gegossen werden. Darf nicht in der Wärme oder im Licht stehen.
- (2) darf kein Wasser und kein Licht bekommen nur Wärme.
- (3) darf kein Wasser und keine Wärme kriegen nur Licht.

Nach 1 Woche kann man gucken welche Faktoren notwendig sind.

Durch diese Art der Experimentplanung können keine Vergleiche von Ansätzen vorgenommen werden, die sich nur in einer Testvariable unterscheiden. Das Zwischenverständnis ähnelt in diesem Punkt einer konfundierten Experimentplanung. Im

Gegensatz zu Schülern, die konfundierte Experimente planen, weil sie sich nicht über die mangelnde Aussagekraft solcher Experimente bewusst sind, verfolgen Schüler, die das beschriebene Zwischenverständnis aufweisen, jedoch bereits das Ziel, eindeutige Vergleichssituationen zu schaffen. Sie haben jedoch die Bedeutung der Variation von einzelnen Faktoren noch nicht korrekt verstanden.

Die Ergebnisse zum Verständnis der Schüler bezüglich der Variablenkontrolle enthalten also einen Widerspruch: Einerseits zeigten die Schüler, denen negatives Wissen vermittelt wurde, in den Aufgaben zum Erkennen von Konfundierungen und der Datenanalyse ein besseres Verständnis über die Variablenkontrolle, andererseits waren sie den Schülern, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, in demselben Aspekt beim selbstständigen Planen von Experimenten unterlegen.

Dieser Widerspruch kann eventuell aufgelöst werden, wenn man die Struktur der Aufgaben und Eigenschaften negativen Wissens in die Ergebnisse mit einbezieht: In den Aufgaben zur Datenanalyse und Identifizierung von Konfundierung, bei denen die Schüler mit negativem Wissen überlegen waren, sind Experimente vorgegeben, zu denen die Schüler im Sinne der Aufgabenstellung Stellung nehmen sollten. Hier mussten die Schüler das Wissen über die Methode des Experimentierens auf eine gegebene Wissensstruktur, nämlich das gegebene Experiment anwenden. Dabei konnten sie sich bei ihren eigenen Antworten an der gegebenen Struktur orientieren, auch wenn sie dieser grundlegend widersprechen wollten. Im Gegensatz dazu wurde bei der offenen Planungsaufgabe sehr wenig Struktur für die Wissensdarstellung vorgegeben: Die Aufgabenstellung enthält lediglich die zu untersuchenden Testfaktoren und die zur Verfügung stehenden Materialien. Es ist kein Gerüst für die Aufstellung der Variablen in den Ansätzen vorgegeben, sondern dieses soll gerade von den Schülern selbst konstruiert werden. Ziel der Aufgabe ist es schließlich, die Struktur der Variablenkombination in den Ansätzen von den Schülern selbst entwickeln zu lassen, um so ihr Verständnis der Methode überprüfen zu können. Darin waren die Schüler, die negatives Wissen erwarben, weniger erfolgreich als die Schüler, denen nur positives Wissen vermittelt wurde.

Die Ergebnisse der anderen Verständnisaufgaben und des Methodenwissenstests weisen darauf hin, dass die Ursache für dieses Problem der Schüler mit negativem Wissen weder in der Komplexität ihres Verständnisses, noch im Umfang des erworbenen Methodenwissens zu suchen ist, weil diese in beiden Bereich vergleichbare oder bessere Ergebnisse als die Schüler mit ausschließlich positivem Wissen aufwiesen. Stattdessen könnte die Ursache in einem unterschiedlichen Strukturierungsgrad des erworbenen Wissens in Abhängigkeit von der Vermittlungsart begründet liegen: Eventuell erwerben Schüler bei der Vermittlung negativen Wissens ihr individuelles Wissen weniger strukturiert als bei der Vermittlung positiven Wissens. Konstruktivistischen Lerntheorien folgend konstruieren die Schüler ihr Wissen aktiv und selbst (Duit, 1995), wobei sie durch die Lehrperson und die Gestaltung der Lernumgebung lediglich unterstützt werden können. Dies gilt natürlich sowohl bei der

Vermittlung positiven wie negativen Wissens. Im Falle des negativen Wissens müssen die Schüler dabei aber mehrere entgegengesetzte Inhalte zu einem gemeinsamen Wissenskonstrukt zusammenführen, da die Vermittlung gerade auf die Gegenüberstellung kontrastiver Aspekte ausgerichtet ist. Dieses Kontrastwissen fördert das Verständnis der Schüler, verlangt ihnen aber gleichzeitig eine größere Eigenleistung hinsichtlich der Strukturierung des Wissens ab. Bei der Vermittlung des positiven Wissens müssen die Schüler zwar ebenso Wissen aus den Vermittlungsangeboten konstruieren, das Wissen wird jedoch nur aus einer gleichbleibenden Perspektive dargestellt, so dass es den Schülern hier einfacher fallen könnte, eine einheitliche Wissensstruktur zu entwickeln. Die Vermittlung positiven Wissens stützt sich im Gegensatz zu einer Vermittlung negativen Wissens ja gerade auf eine möglichst widerspruchsfreie und lineare Darstellung des Wissens (OserHascher & Sychinger, 1999). Aus diesem Grund könnte durch die Vermittlung negativen Wissens – zumindest in einem Anfangsstadium - Wissen weniger strukturiert von den Schülern aufgebaut werden als durch die Vermittlung positiven Wissens. Dieser Unterschied würde sich vor allem in wenig vorstrukturierten Anwendungssituationen bemerkbar machen und könnte damit die widersprüchlichen Ergebnisse des Verständnistests erklären, ohne dass hierdurch ein unterschiedlicher Verständnisgrad deutlich würde. Dadurch wäre zu erklären, dass die Schüler, denen negatives Wissen vermittelt wurde, in Aufgaben, die eine Strukturiertheit des Wissens voraussetzen, weniger erfolgreich waren als in stärker strukturierten Aufgaben, in denen sie ihr Verständnis vollständig zeigen konnten.

Hier schließen sich auch Überlegungen über Unterschiede der Art des zur Lösung der Aufgaben notwendigen Wissens an. Zu deren Verdeutlichung sei noch einmal auf die wesentlichen Unterschiede zwischen positivem und negativem Wissen in Bezug auf das naturwissenschaftliche Experimentieren hingewiesen: Während positives Wissen die naturwissenschaftlichen Grundsätze des Experimentierens beinhaltet (z.B. Regelwissen zu Variablenkontrolle und Kontrollansatz), umfasst das negative Wissen dagegen Wissen um die Abweichungen von diesen Grundsätzen und um deren Unangebrachtheit in naturwissenschaftlichen Kontexten (z.B. konfundierte Experimente). In den Aufgaben zur Datenanalyse und Konfundierung war von den Schüler ein kritischer Blick auf die gegebenen Experimente gefordert, in die Fehler im Sinne der naturwissenschaftlichen Methode integriert waren. Das erworbene negative Wissen kann die Schüler nun einerseits für eine kritische Betrachtung der Experimente sensibilisiert haben und ihnen andererseits die Mittel bereitgestellt haben, um Fehler identifizieren zu können. In diesem Aufgabenformat ist für die Aufgabenlösung also die Anwendung negativen Wissens entscheidend, das diese Schüler offensichtlich erfolgreich erwerben konnten. Solches Wissen fehlte den Schülern der anderen Gruppe, so dass sie in diesen Aufgabenkontexten weniger erfolgreich agieren konnten. Bei der selbstständigen Planung von naturwissenschaftlichen Experimenten soll nun zwar ebenfalls ein Zusammenspiel von positivem und negativem Wissen stattfinden, nämlich indem das Wissen um mögliche Fehler bei der Darstellung des positiven Wissens zum

Experimentieren vor einer fehlerhaften Lösung schützt (Schutzwissen). Der Fokus des in der Aufgabe geforderten Wissens liegt hier aber deutlich auf der Seite des positiven Wissens, mit dessen Darstellung die Schüler, die negatives Wissen erwarben, offensichtlich Probleme hatten. Aus diesen Überlegungen heraus ist es auch verständlich, dass den Schülern, denen im Unterricht positives und negatives Wissen vermittelt wurde, die Sicherheit im Umgang mit dem positiven Wissen fehlte. Das könnte daran liegen, dass sie einerseits in der gleichen Interventionszeit beide Wissensarten verarbeiten mussten, andererseits die Übungsphasen in diesen Interventionen hauptsächlich die Anwendung von negativem Wissen enthielten. Dadurch sollten die Interventionen möglich stark voneinander abgegrenzt werden (vgl. S. 76). Die Ergebnisse könnten also zusätzlich durch die mangelnde Übung in der Anwendung positiven Wissens beeinflusst worden sein.

Hypothese H3.4

Schüler, die eine unterrichtliche Vermittlung von positivem und negativem Wissens über das naturwissenschaftliche Experimentieren erfahren haben, sind Schülern, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, insgesamt hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren überlegen.

Beide Gruppen wiesen im Vortest hinsichtlich ihrer kognitiven Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren insgesamt ein vergleichbares Niveau auf ($t(129, 127) = .933$; $p > .05$). Dabei erreichte die Gruppe, der anschließend ausschließlich positives Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vermittelt wurde, von 30 möglichen Punkten einen Mittelwert von $M = 16,77$ ($n = 129$, $SD = 3,86$), und die Gruppe, der positives und negatives Wissen vermittelt wurde, einen Mittelwert von $M = 16,33$ ($n = 127$, $SD = 3,68$). Beide Gruppen steigerten sich höchst signifikant durch die Interventionen, und zwar die Gruppe mit Vermittlung negativen Wissens auf $M = 19,69$ ($n = 99$, $SD = 4,118$; $t(96) = -7.475$; $p \leq .001$), und die Gruppe mit der Vermittlung von ausschließlich positivem Wissen auf $M = 19,79$ ($n = 98$, $SD = 4,46$; $t(96) = -8.272$; $p \leq .001$). Im Nachtest und auch im Wissenszuwachs durch die Interventionen unterschieden sich beide Gruppen nicht (Nachtest: $t(98, 99) = .168$; $p > .05$; Zuwachs: $t(98, 99) = -1.021$; $p > .05$). Insgesamt haben beide Gruppen also vergleichbare kognitive Fähigkeiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren entwickelt. Die Hypothese H3.4 wird daher zurückgewiesen.

Diskussion

In diesem Testteil wurden die kognitiven Fähigkeiten der Schüler im Bereich des naturwissenschaftlichen Experimentierens insgesamt betrachtet. Dazu wurde ein

Gesamttestscore gebildet, in dem die drei Tests zum Methodenwissen, zum Epistemologiewissen und zum Verständnis der Schüler gleichgewichtet berücksichtigt wurden (vgl. Kapitel 3.3). Bei dieser Art der Betrachtung der Fähigkeiten der Schüler wiesen die Schüler beider Gruppen vergleichbare Ergebnisse auf. Das liegt daran, dass in den Gesamttestscore auch die Ergebnisse der Wissenstests, und zwar zu gleichen Teilen wie die Ergebnisse des Verständnistests, mit einfließen. Im Gesamttestscore wurden also zwei Wissenstests und ein Verständnistest gleichgewichtet zusammengefasst. Wie bei Hypothese H3.1 und H3.2 dargestellt, führte die Vermittlung negativen Wissens wie erwartet nicht zu einem größeren Wissensumfang der Schüler, sondern zu einem vergleichbaren Wissensniveau wie die Vermittlung ausschließlich positiven Wissens. Die Effekte, die sich bei der Analyse des Verständnisses der Schüler bei Hypothese H3.3 zeigten, konnten sich aufgrund des mathematischen Übergewichts der Wissenstests hier nicht durchsetzen. Die Bedeutung des Erwerbs negativen Wissens wird dagegen bei der einzelnen Betrachtung des Verständnisses der Schüler deutlich.

3.5.4.1 Vorwissensabhängige Wirkungsweise des negativen Wissens

In diesem Kapitel soll die Wirkungsweise des negativen Wissens in Abhängigkeit vom Vorwissen der Schüler dargestellt werden. Ausgangspunkt der Betrachtung ist der Umstand, dass die signifikanten Ergebnisse der Wirkung negativen Wissens auf das Methodenwissen und Verständnis der Schüler zum Teil mit großen Standardabweichungen einhergingen. Diese weisen darauf hin, dass von der Vermittlung negativen Wissens nicht alle Schüler gleichermaßen profitierten, sondern eine breite Streuung von Fähigkeiten bewirkt wurde (Hammann & Prenzel, 2008). In diesem Kapitel wird daher posthoc überprüft, ob das Vorwissen der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren einen Einfluss auf die Wirksamkeit des Erwerbs von negativem Wissen ausübte, ob also z.B. nur Schüler mit hohem Vorwissen von der Vermittlung negativen Wissens profitierten oder ob alle Schüler unabhängig von ihrem Vorwissen gleichermaßen gefördert wurden. Darüber hinaus erfüllen die folgenden Analysen auch Forderungen aus der *cognitive load theory* nach vorwissensabhängigen Empfehlungen von Lern- und Vermittlungsstrategien (Kalyuga et al., 2003). Solche spezifischen Empfehlungen sind notwendig, da Vermittlungsstrategien, die für Lerner mit geringem Vorwissen förderlich sind, für Lerner mit hohem Vorwissen eine nachteilige Wirkung haben können (*expertise reversal effect*) und vice versa. Aus diesem Grund soll im Folgenden überprüft werden, ob die förderliche Wirkung der Vermittlung negativen Wissens, die sich aus den vorangegangenen Auswertungen ergeben hat, für alle Schüler in gleicher Weise gilt.

Denkbar wären drei Wirkungsweisen der Vermittlung negativen Wissens:

(1) Die Vermittlung negativen Wissens fördert nur Schüler mit viel Vorwissen.

Beim Erwerb negativen Wissens ist es notwendig - anders als beim Erwerb positiven Wissens – Wissensaspekte aus verschiedenen kontrastiven Perspektiven zu einem einheitlichen Konstrukt zusammenzuführen. Der *cognitive load theory* folgend, könnten hierfür nur Schüler, die bereits über hohes Vorwissen verfügen, freie kognitive Kapazitäten aufweisen (Sweller et al., 1998). Schüler mit geringem Vorwissen könnten durch die Komplexität des vermittelten Wissens bereits beim Wissenserwerb oder bei der daraus erwachsenden Verständnisentwicklung überfordert sein. Für sie könnte daher eine Vermittlung methodischer Aspekte des Experimentierens als positives Wissen vorteilhafter sein.

In diesem Fall würden die signifikanten Effekte der Vermittlung negativen Wissens, die sich in der vorliegenden Studie im Bereich des Methodenwissens und Verständnisses zeigten, hauptsächlich auf die Schüler mit viel Vorwissen aus dieser Gruppe zurückzuführen sein.

(2) Die Vermittlung negativen Wissens fördert nur Schüler mit wenig Vorwissen.

Andererseits könnten Schüler, die geringes Vorwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren besitzen, durch die Vermittlung negativen Wissens im Vergleich zur Vermittlung positiven Wissens dadurch profitieren, dass ihnen das Verständnis des neuen Wissens durch dessen Darstellung vereinfacht wird. Der kontrastive Charakter, der das Wissen in seiner Bedeutung deutlicher hervortreten lässt, könnte es ihnen im Vergleich mit der Vermittlung positiven Wissens vereinfachen, adäquates Wissen und Verständnis aufzubauen.

Schüler, die bereits über hohes Vorwissen in der Domäne verfügen, brauchen diese Hilfestellung eventuell nicht. Entsprechend der *cognitive load theory* könnten sie durch die Vermittlung negativen Wissens stattdessen in ihrem bereits bestehenden Wissen und Verständnis gehemmt werden (Sweller et al., 1998). Wenn die Wissensstrukturen, die bei Schülern mit hohem Vorwissen bereits umfangreich ausgebildet sind, stark von den im Unterricht vermittelten Strukturen des negativen Wissens abweichen, müssen diese Schüler kognitive Kapazität darauf verwenden, das vorhandene Vorwissen so zu reorganisieren, dass sie das neue Wissen integrieren können. Das kann zu einem (zumindest übergangsweise) geringerem Wissen und Verständnis der Schüler führen (*expertise reversal effect*), so dass sie im Vergleich mit der Vermittlung positiven Wissens und mit Schülern mit geringem Vorwissen eine schlechtere Wissens- und Verständnisentwicklung erfahren würden.

In diesem Fall würden die genannten signifikanten Effekte der Vermittlung negativen Wissens in dieser Studie hauptsächlich durch die Wissens- und Verständnissteigerungen der Schüler mit wenig Vorwissen zustande gekommen sein.

(3) Die Vermittlung negativen Wissens fördert alle Schüler gleichermaßen.

Der kontrastive Charakter von negativem Wissen könnte weiterhin für Schüler aller Vorwissensniveaus gleich verständnisförderlich sein. Die Vermittlung negativen Wissens könnte die kognitiven Prozesse der Schüler aller Vorwissensniveaus gleichermaßen entlasten, indem die kontrastive Darstellung des Wissens die Bedeutung des Wissens deutlicher hervorhebt. Dadurch würde mehr kognitive Kapazität für die Verarbeitung des Wissens frei sein, wovon die Wissensaufnahme und das Verständnis der Schüler profitieren könnten. In der Folge würde die Vermittlung negativen Wissens im Vergleich zur Vermittlung positiven Wissens für alle Schüler unabhängig von ihrem Vorwissen förderlicher sein.

In diesem Fall würden sich die in dieser Studie ermittelten signifikanten Effekte im Bereich des Methodenwissens und des Verständnisses auf allen Vorwissensniveaus der Schüler wiederfinden lassen.

Zur Untersuchung der Frage, ob der Erwerb negativen Wissens auf Schüler mit unterschiedlichem Vorwissen verschiedenartig wirkt, wurde die Stichprobe der vier Interventionsgruppen des Forschungsdesign der vorliegenden Studie zweifach aufgeteilt: Einerseits wurde wie bisher zwischen Schülern, denen ausschließlich positives Wissen, und Schülern, denen zusätzlich negatives Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren vermittelt wurde, unterschieden. Andererseits wurde innerhalb der beiden Gruppen zwischen Schülern mit hohem und mit geringem Vorwissen unterschieden. Dadurch konnten die Wissens- und Verständnisentwicklungen der Schüler mit hohem Vorwissen beider Vermittlungsarten miteinander verglichen werden. Dabei wurden genau die Bereiche untersucht, in denen sich signifikante Effekte durch die Vermittlung negativen Wissens zeigten, also das Methodenwissen der Schüler, der Umgang mit experimentellen Daten, das Erkennen von Konfundierungen und das selbstständige Planen von Experimenten. Die gleichen Analysen wurden auch für die Schüler mit geringem Vorwissen beider Gruppen vorgenommen.

Vorwissensabhängige Einteilung der Schüler

Als einheitliches Merkmal zur Beurteilung des Vorwissens der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren wurde der Gesamtttestscore des Vortests herangezogen, der das Wissen der Schüler vor Beginn der Interventionen charakterisiert.

Durch einen sogenannten Mediansplit wurden Schüler mit hohem und geringem Vorwissen unterschieden. Der Median stellt dabei den Wert des Gesamtttestscores dar, oberhalb dessen und unterhalb dessen genau 50% der Stichprobe lagen. Im Vortest lag der Median des Gesamtttestscores bei 16,74 von insgesamt 30 möglichen Punkten. Schüler, die einen Gesamtttestscore oberhalb des Medians erreichten, wurden als Schüler mit hohem Vorwissen definiert, und Schüler, die einen Gesamtttestscore unterhalb des Medians erreichten, als Schüler mit geringem Vorwissen definiert.

Ergebnisse zum Methodenwissen

In Folgenden werden die Ergebnisse zur Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens für den Erwerb von Methodenwissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren im Hinblick auf das Vorwissen der Schüler dargestellt. Dabei wird zunächst erläutert, wie sich das Methodenwissen der Schüler vorwissensabhängig bei der Vermittlung negativen Wissens entwickelt hat, bevor Vergleiche mit den Schülern, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, vorgenommen werden.

Im Vortest waren in der Gruppe der Vermittlung negativen Wissens die Schüler mit hohem methodischen Vorwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren ihren Mitschülern mit niedrigem Vorwissen höchst signifikant bezüglich des Methodenwissens überlegen ($t(127) = -8.245$; $p \leq .001$). Sowohl die Schüler mit hohem Vorwissen ($t(49) = -6.273$; $p \leq .001$) als auch die Schüler mit geringem Vorwissen ($t(46) = -9.028$; $p \leq .001$) steigerten sich durch die Intervention höchst signifikant. Dies gilt jeweils auch für die Subskalen Hypothesen identifizieren (hohes Vorwissen: $t(49) = -4.590$; $p \leq .001$; geringes Vorwissen: $t(46) = -6.521$; $p \leq .001$) und Experimente planen (hohes Vorwissen: $t(49) = -5.638$; $p \leq .001$; geringes Vorwissen: $t(46) = -8.561$; $p \leq .001$). Die Steigerung der Schüler mit geringem Vorwissen war dabei in allen Bereichen signifikant, hoch signifikant oder höchst signifikant größer als bei Schülern mit hohem Vorwissen (Hypothesen identifizieren: $t(96) = 3.086$; $p \leq .01$; Experimente planen: $t(95) = 2.610$; $p \leq .05$; Gesamtscore: $t(96) = 3.436$; $p \leq .001$). Dadurch verringerte sich der Wissensvorsprung der Schüler mit hohem Vorwissen im Nachtest auf eine hoch signifikante Überlegenheit ($t(99) = -2.732$; $p \leq .01$). Die Schüler, die vor der Intervention geringes Vorwissen besaßen, konnten diesen Nachteil also durch die Vermittlung negativen Wissens zum Experimentieren in gewissem Umfang reduzieren (s. Abbildung 41).

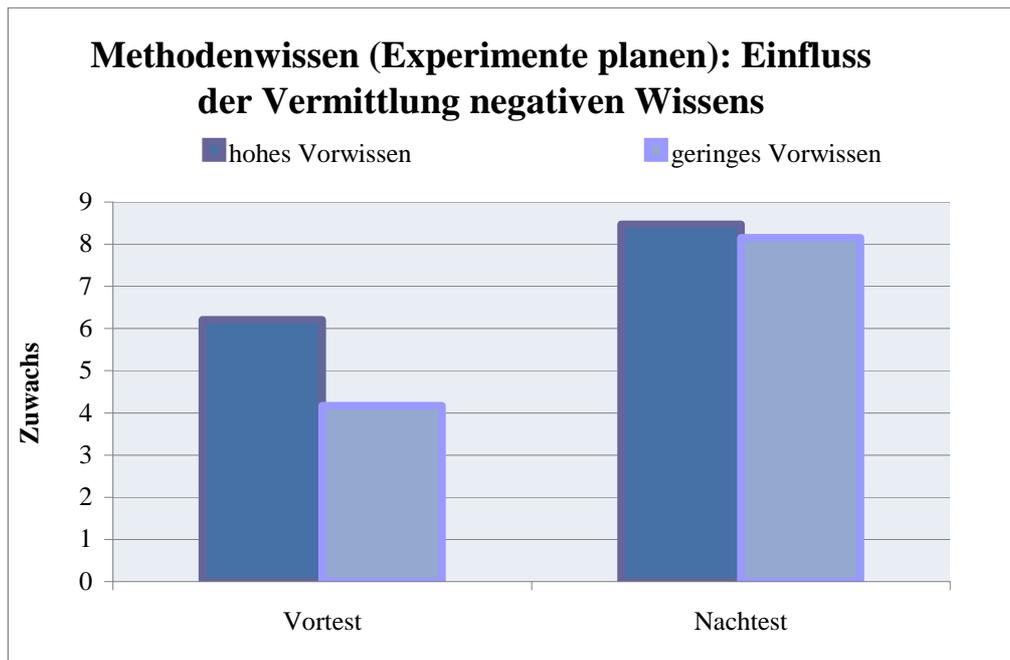


Abbildung 41: Vorwissensabhängiger Einfluss der Vermittlung negativen Wissens auf das Methodenwissen (Experimente planen); (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Durch die Vermittlung ausschließlich positiven Wissens gelang dies den Schülern mit geringem Vorwissen dagegen nicht: Sie konnten ihre höchst signifikante Unterlegenheit im Vortest ($t(129) = -7.755$; $p \leq .001$) durch die Intervention nicht verändern, so dass sie ihren Mitschülern mit hohem Vorwissen auch im Nachtest noch höchst signifikant unterlegen waren ($t(98) = -6.622$; $p \leq .001$). Zwar konnten auch hier beide Teilgruppen ihr Methodenwissen höchst signifikant steigern (hohes Vorwissen: $t(55) = -8.293$; $p \leq .001$; geringes Vorwissen: $t(41) = -5.519$; $p \leq .001$), die Wissenszuwächse bewegten sich aber in vergleichbaren Größenordnungen ($t(96) = -.267$; $p > .05$), so dass sich die Wissensunterschiede zwischen Vor- und Nachtest nicht veränderten (s. Abbildung 42). Durch die Vermittlung ausschließlich positiven Wissens war es den Schüler mit geringem Vorwissen also nicht möglich, die Wissenslücke zu ihren Klassenkameraden mit höherem Vorwissen zu verkleinern.

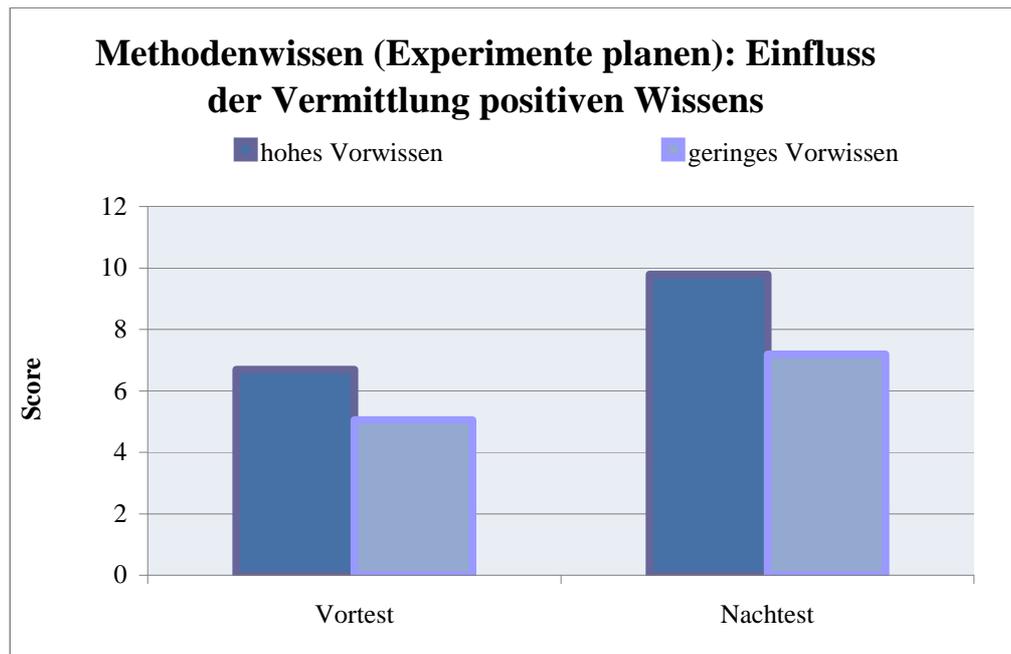


Abbildung 42: Vorwissensabhängiger Einfluss der Vermittlung positiven Wissens auf das Methodenwissen (Experimente planen); (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Vergleicht man nun die Wissenszuwächse der Schüler desselben Vorwissensstandes bei unterschiedlicher Wissensvermittlung, ergibt sich folgendes Bild (s. Abbildung 43): Für Schüler mit geringem Vorwissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren führte die Vermittlung negativen Wissens zu einer hoch signifikant größeren Wissenssteigerung als die Vermittlung ausschließlich positiven Wissens ($t(88) = -3.028$; $p \leq .01$). Diese Überlegenheit war im Bereich des Identifizierens von Hypothesen gerade eben nicht signifikant ($t(88) = -1.852$, $p = .067$) und im Bereich des Planens von Experimenten höchst signifikant ($t(87) = -3.416$, $p \leq .001$). Schüler mit geringem Vorwissen konnten hier durch den Erwerb von negativem Wissen also im Besonderen profitieren, und zwar vor allem in dem schwierigeren Bereich des Planens von Experimenten.

Für Schüler, die bereits vor der Intervention über hohes Vorwissen über das Experimentieren verfügten, war die Vermittlung von nur positivem oder zusätzlich negativem Wissen im gleichen Maße effektiv, d.h. beide Teilgruppen erlangten einen vergleichbaren Wissenszuwachs. Dies gilt sowohl für das Gesamtmethodenwissen ($t(104) = .471$, $p > .05$), als auch für die Subskalen Hypothesen identifizieren ($t(104) = -.036$, $p > .05$) und Experimente planen ($t(104) = .681$, $p > .05$).

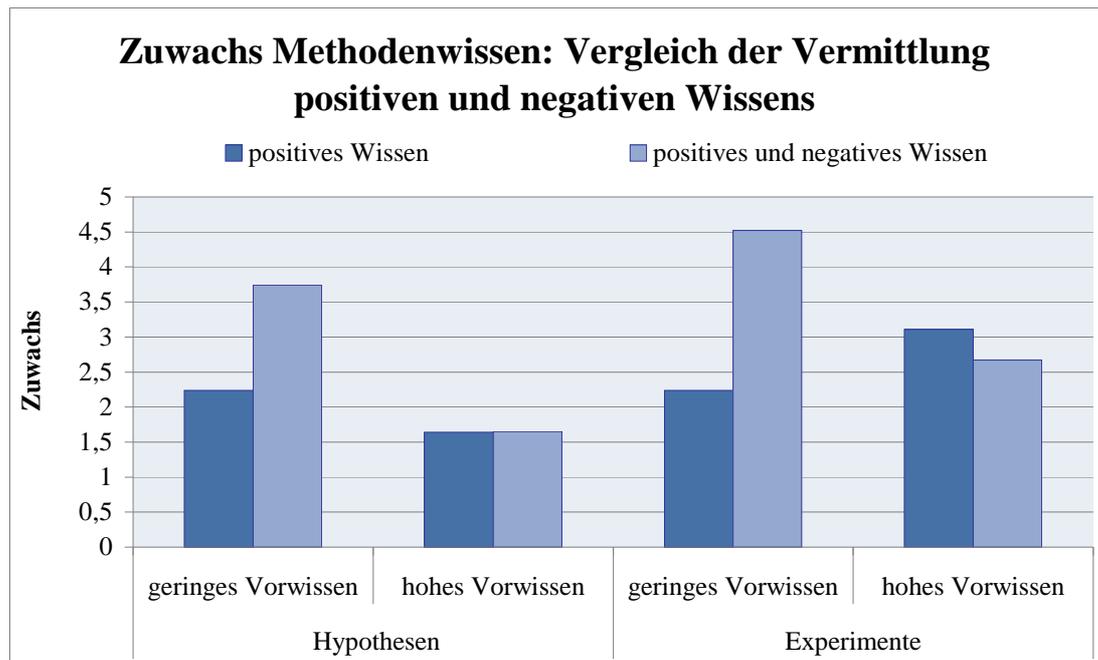


Abbildung 43: Vorwissensabhängiger Einfluss der Vermittlung von negativem Wissen auf den Zuwachs im Methodenwissen (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Ergebnisse zum Umgang mit experimentellen Daten

Auch bei der vorwissensabhängigen Betrachtung der Schülerfähigkeiten im Bereich der Datenanalyse wird deutlich, dass die Vermittlung negativen Wissens in dieser Studie die Schüler mit geringem Vorwissen besonders förderte: Während in dieser Gruppe im Vortest noch höchst signifikante Unterschiede zwischen den Schülern mit hohem bzw. niedrigem Vorwissen bestanden, erreichten beide Gruppe nach der Intervention hinsichtlich der experimentellen Datenanalyse ein vergleichbares Niveau ($Z(48, 50) = -.421$; $p > .05$).

Das gilt auch für die Einzelbetrachtung der Fähigkeiten, die in der Aufgabe enthaltene ungültige Schlussfolgerung zu entdecken ($t(98) = -.023$, $p > .05$), den Testfaktor Licht richtig zu interpretieren ($t(98) = -.218$, $p > .05$), sowie den Einfluss der nicht getesteten Faktoren Wärme ($t(98) = -.786$, $p > .05$), Wasser ($t(98) = -.702$, $p > .05$) und Erde ($t(98) = -.734$, $p > .05$) als nicht bewiesen zu identifizieren (s. Abbildung 44).

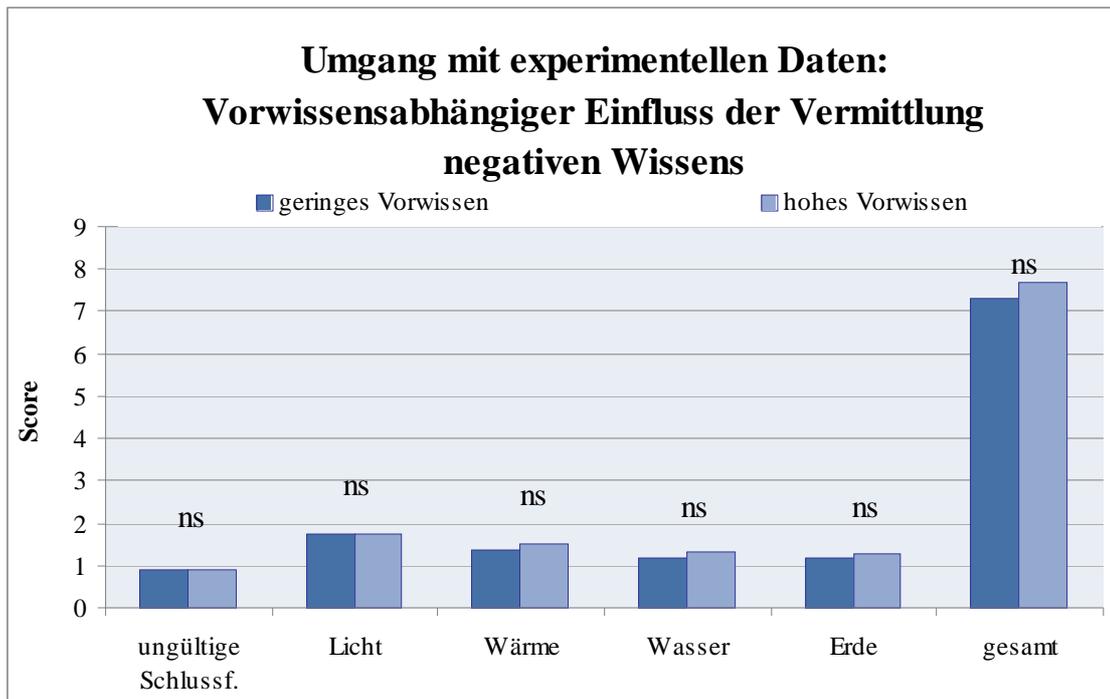


Abbildung 44: Vorwissensabhängiger Einfluss der Vermittlung negativen Wissens auf den Umgang mit experimentellen Daten (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Bei der Vermittlung positiven Wissens blieben die höchst signifikanten Unterschiede des Vorwissens der Schüler dagegen auch im Nachtest bei der Datenanalyse weitgehend bestehen (s. Abbildung 45): Die Schüler, die im Vortest höheres Vorwissen aufwiesen, waren hier den Schülern mit geringerem Vorwissen höchst signifikant überlegen ($Z(42, 56) = -3.495$; $p \leq .001$). Mit Ausnahme der Interpretation des Testfaktors Licht, den die Schüler mit hohem Vorwissen gerade eben nicht signifikant besser interpretieren konnten ($Z(42, 56) = -1.770$; $p = .077$), gilt die Überlegenheit der Schüler mit hohem Vorwissen für alle Aspekte der Datenanalyse, d.h. für das Entdecken der ungültigen Schlussfolgerung ($Z(42, 56) = -2.970$; $p \leq .01$) und das Interpretieren der nicht getesteten Faktoren Wärme ($Z(42, 56) = -2.815$; $p \leq .01$), Wasser ($Z(42, 56) = -3.625$; $p \leq .001$) und Erde ($Z(42, 56) = -3.625$; $p \leq .001$).

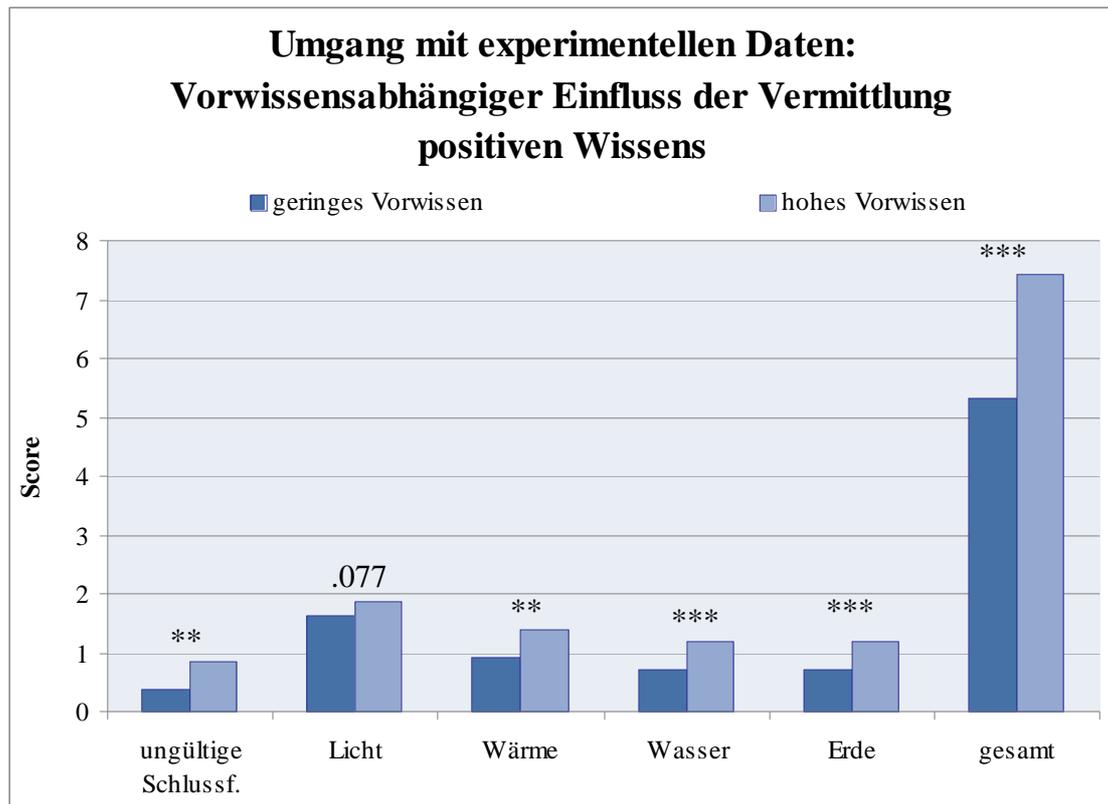


Abbildung 45: Vorwissensabhängiger Einfluss der Vermittlung positiven Wissens auf den Umgang mit experimentellen Daten (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Der Vergleich der Schüler desselben Vorwissensstandes der verschiedenen Wissensvermittlungen zeigt, dass sich Schüler mit hohem Vorwissen der beiden verschiedenen Vermittlungsgruppen in ihren Fähigkeiten zur Datenanalyse nach der jeweiligen Intervention nicht unterschieden ($t(106) = -.136$, $p > .05$), auch nicht bei einzelner Betrachtung der Fähigkeit, die ungültige Schlussfolgerung zu entdecken ($t(106) = 1.133$, $p > .05$), den Testfaktor Licht ($t(106) = -.930$, $p > .05$), sowie die nicht getesteten Faktoren Wärme ($t(106) = 1.023$, $p > .05$), Wasser ($t(106) = -.859$, $p > .05$) und Erde ($t(106) = -.431$, $p > .05$) zu interpretieren (s. Abbildung 46).

Bei den Schülern mit geringem Vorwissen ließen sich dagegen starke Unterschiede ausmachen (s. Abbildung 47): Diejenigen Schüler, in deren Unterricht negatives Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vermittelt wurde, waren denjenigen Schülern, denen ausschließlich positives Wissen vermittelt wurde, bei der Datenanalyse insgesamt höchst signifikant überlegen ($t(100) = -3.487$, $p \leq .001$). Diese Überlegenheit gilt auch für die einzelnen Fähigkeiten, die ungültige Schlussfolgerung zu entdecken ($t(100) = -3.294$, $p \leq .001$) und die nicht getesteten Faktoren Wärme ($t(100) = -2.802$, $p \leq .01$), Wasser ($t(100) = -3.687$, $p \leq .001$) und Erde ($t(100) = -3.484$, $p \leq .001$) als nicht bewiesen zu erkennen. Einzig hinsichtlich der Interpretation des Testfaktors Licht unterschieden sich die Schüler mit geringem Vorwissen beider Gruppen nicht voneinander ($t(100) = -.839$, $p > .05$).

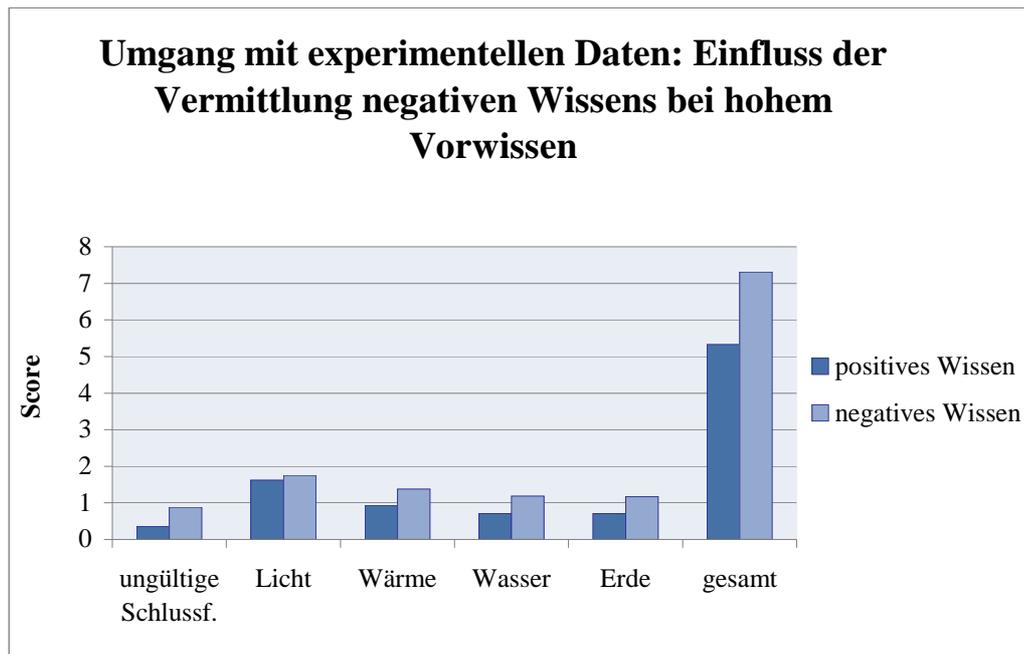


Abbildung 46: Einfluss der Vermittlung negativen Wissens bei Schülern mit hohem Vorwissen auf den Umgang mit experimentellen Daten (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

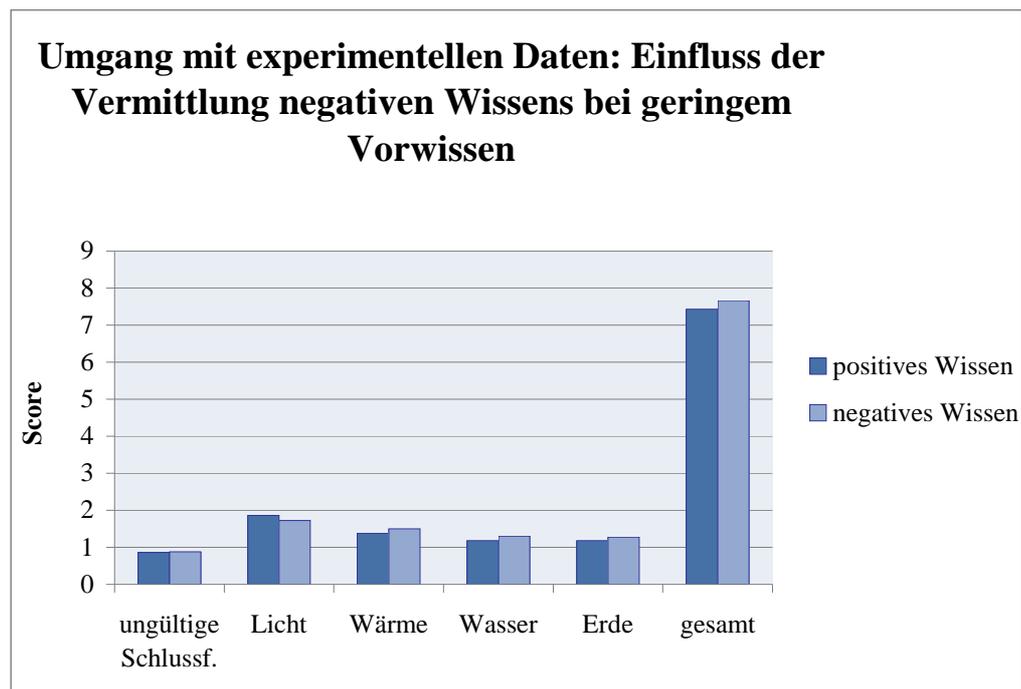


Abbildung 47: Einfluss der Vermittlung negativen Wissens bei Schülern mit geringem Vorwissen auf den Umgang mit experimentellen Daten (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Ergebnisse zum Erkennen von Konfundierungen

Ein ähnliches Bild ergab die vorwissensabhängige Auswertung der Fähigkeit zur Identifikation von konfundierten Experimenten. Auch hier unterschieden sich bei der Vermittlung negativen Wissens die Schüler mit hohem und geringem Vorwissen im Nachtest

nicht mehr von einander ($Z(45, 50) = -.767; p > .05$). Die Vermittlung ausschließlich positiven Wissens führte dagegen auch im Nachtest beim Erkennen von Konfundierungen noch zu signifikant besseren Ergebnissen der Schüler mit hohem Vorwissen ($Z(41, 56) = -2.487; p \leq .05$).

Bei der Gegenüberstellung der Schüler gleichen Vorwissens unterschieden sich auch hier die Schüler mit hohem Vorwissen beider Wissensvermittlungen nicht voneinander. Nach der Vermittlung von negativem Wissen waren Schüler mit geringem Vorwissen dagegen signifikant besser in der Lage, eine Konfundierung zu erkennen, als nach der Vermittlung ausschließlich positiven Wissens ($Z(41, 45) = -2.322, p \leq .05$).

Ergebnisse zum selbstständigen Planen von Experimenten

Die Analyse der Schülerfähigkeiten beim selbstständigen Planen von Experimenten (s. Hypothese 3.3) zeigte, dass die Schüler, denen negatives Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren vermittelt wurde, Schwierigkeiten bei der Anwendung der Variablenkontrolle aufwiesen, die bei der Vermittlung positiven Wissens nicht auftraten. Als Ursache konnte ein Zwischenverständnis herausgestellt werden, über das sich die Schüler mit negativem Wissen häufig nicht hinaus entwickeln konnten (s. S. 163ff.). Schüler, denen ausschließlich positives Wissen zum Experimentieren vermittelt wurde, erreichten dagegen öfter ein adäquates Verständnis der Variablenkontrolle.

Bezieht man das Vorwissen der Schüler in die Betrachtung dieser Ergebnisse ein, wird deutlich, dass das Zwischenverständnis bei allen Schülern, die negatives Wissen zum Experimentieren erwarben, gleichmäßig auftrat ($Z(42, 48) = -.842; p > .05$), während es bei Vermittlung positiven Wissens gerade eben nicht signifikant häufiger die Schüler mit geringem Vorwissen betraf ($Z(33, 55) = -1.922; p = .055$). Dementsprechend überwog in der Teilgruppe der Schüler mit hohem Vorwissen das Auftreten des Zwischenverständnisses bei Vermittlung von negativem Wissen ($Z(55, 48) = -2.465; p \leq .05$), während die Vermittlung von positivem Wissen häufiger zu einer adäquaten Variablenkontrolle führte ($Z(55, 48) = -2.161; p \leq .05$). Bei Schülern mit geringem Vorwissen traten jedoch unabhängig von der Wissensvermittlung sowohl das Zwischenverständnis ($Z(33, 42) = -1.151; p > .05$) als auch die adäquate Variablenkontrolle in gleichem Maße auf ($Z(33, 42) = -1.204; p > .05$).

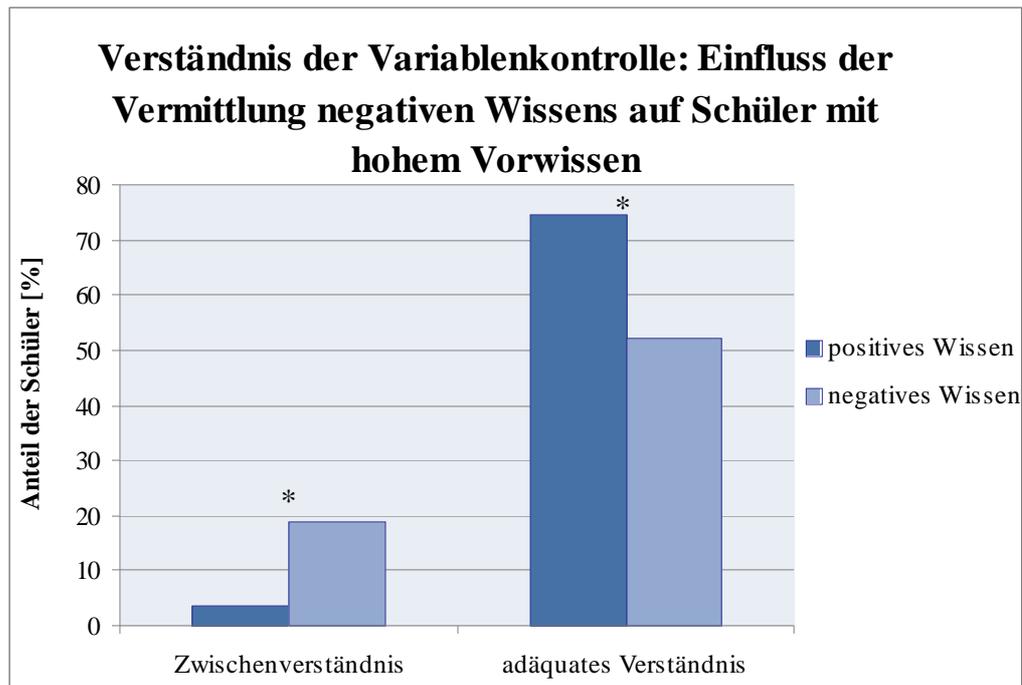


Abbildung 48: Einfluss der Vermittlung negativen Wissens auf das Verständnis der Variablenkontrolle bei Schülern mit hohem Vorwissen (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

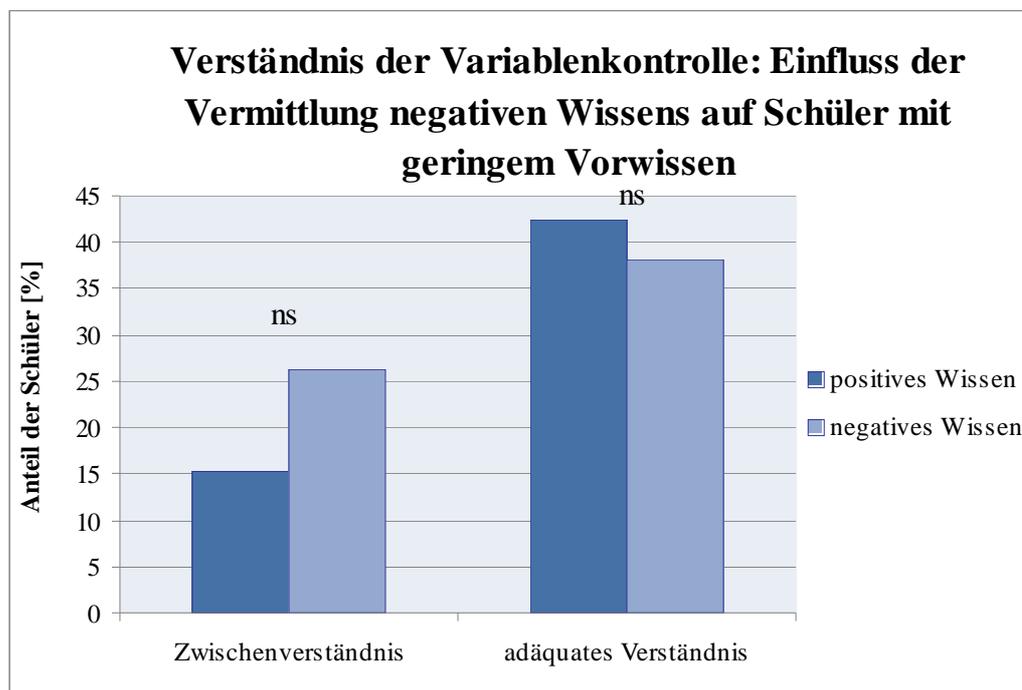


Abbildung 49: Einfluss der Vermittlung negativen Wissens auf das Verständnis der Variablenkontrolle bei Schülern mit geringem Vorwissen (ns = $p > .05$; * = $p \leq .05$; ** = $p \leq .01$; *** = $p \leq .001$)

Diskussion

Die Berücksichtigung des Vorwissens der Schüler ermöglichte es, die Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens im Detail zu beschreiben. Es stellte sich über alle

untersuchten Bereiche hinweg ein einheitliches Bild darüber dar, welche Schüler durch die Vermittlung negativen Wissens besonders profitierten. Zwar erwies sich negatives Wissen grundsätzlich für Schüler aller Vorwissenstände zur Wissens- und Verständnisförderung geeignet, da sowohl Schüler mit hohem als auch mit niedrigem Vorwissen ihre Fähigkeiten beim Experimentieren überdurchschnittlich steigern konnten, aber es waren vor allem die Schüler mit geringem Vorwissen, die von dieser Art der Wissensvermittlung besonders profitieren konnten. Sie konnten sich im Gegensatz zu den Schülern mit geringem Vorwissen, denen ausschließlich positives Wissen zum Experimentieren vermittelt wurde, deutlich stärker in ihrem Methodenwissen steigern und erreichten ein deutlich höheres Verständnisniveau des Experimentierens. Gerade die Aspekte des Methodenwissens und des Verständnisses des naturwissenschaftlichen Experimentierens, die sich als besonders schwierig für die gesamte Stichprobe der Studie herausstellten, konnten die Schüler mit geringem Vorwissen nach der Vermittlung negativen Wissens besser bewältigen. Dies wird vor allem an den Ergebnissen zur Datenanalysefähigkeit der Schüler deutlich:

Die Interpretation des Testfaktors Licht stellt den einfachsten Teil dieser Aufgabe dar, da die Schüler hier einerseits der gegebenen Schlussfolgerung nur zustimmen mussten und andererseits die Irrelevanz des Faktors durch die bebilderte Darstellung des Experiments deutlich hervortritt. In diesem Bereich unterschieden sich die Fähigkeiten der Schüler zwischen den beiden Vermittlungsarten nicht voneinander. Als deutlich schwieriger stellten sich die weiteren Anforderungen der Aufgabe heraus, nämlich die ungültigen Teile der Schlussfolgerung zu identifizieren. Dazu durften die Schüler entgegen der gegebenen Schlussfolgerung für die nicht getesteten Faktoren Wärme, Wasser und Erde keine kausalen Zusammenhänge aus dem Experiment ableiten. Die Schüler waren hier also einerseits aufgefordert, der gegebenen Schlussfolgerung zu widersprechen, andererseits mussten sie auch die nicht getesteten Faktoren als wichtigen Bestandteil des Experiments berücksichtigen. Dazu waren die Schüler, die negatives Wissen zum Experimentieren erworben hatten, deutlich besser in der Lage.

Auch beim Methodenwissenstest zeigten sich deutliche Unterschiede in der Subskala Experimente planen. Diese stellte größere Anforderungen an die Schüler als das Identifizieren von Hypothesen, bei dem sich wiederum keine Unterschiede zwischen den Vermittlungsarten zeigten. Das Erkennen von Konfundierungen in Experimenten stellte ebenfalls einen anspruchsvollen Aspekt des Experimentierens dar und konnte durch die Vermittlung negativen Wissens von Schülern mit geringem Vorwissen besser bewältigt werden.

Auf der anderen Seite machte die Einbeziehung des Vorwissens in die Analysen deutlich, dass die Schwierigkeit der Anwendung der Variablenkontrolle bei der selbstständigen Planung von Experimenten, die bei der Vermittlung von negativem Wissen auftrat, Schüler aller Vorwissenstände betraf. Offensichtlich führte die Intervention bei allen Schülern

gleichermaßen zu einem Zwischenverständnis und zu einer geringeren Strukturiertheit des positiven Wissens über die Variablenkontrolle, so dass diese Schüler zwar in vorstrukturierten Aufgaben komplexe Probleme lösen, ihr Wissen jedoch nicht ohne vorgegebene Struktur selbstständig darstellen konnten. Dieses Ergebnis veranschaulicht, dass es bei der Vermittlung negativen Wissens für Schüler mit hohem und geringen Vorwissen gleichermaßen wichtig ist, dass auch die Anwendung des positiven Wissens Bestandteil des Unterrichts ist, so dass die Schüler diese Art der Wissensanwendung erlernen bzw. üben können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Vermittlung negativen Wissens besonders die Schüler mit geringem Vorwissen beim Wissenserwerb unterstützen konnte und ihr Verständnis gerade in schwierigen Aspekten des naturwissenschaftlichen Experimentierens förderte. Zu bedenken ist darüber hinaus, dass die Intervention nur vier Schulstunden umfasste, von denen wiederum nur zwei das Experimentieren theoretisch thematisierten. Bereits innerhalb dieser sehr kurzen Interventionsdauer war also eine überdurchschnittliche Steigerung von Schülern mit geringem Vorwissen durch die Vermittlung negativen Wissens möglich. Bei längerer Interventionsdauer oder regelmäßiger Berücksichtigung von negativem Wissen im Unterricht und gleichzeitiger Sicherung des positiven Wissens sind hier noch stärkere Effekte zu erwarten. Damit ist es möglich, eine vorwissensabhängige Empfehlung für den Einsatz dieser Vermittlungsmethode auszusprechen. Diese kann darüber hinaus auch auf Schüler mit hohem Vorwissen ausgeweitet werden, da sie durch die Vermittlung negativen Wissens in ihrem Lernprozess nicht behindert werden. Bei Berücksichtigung von negativem Wissen im Unterricht kann der sogenannte Matthäus-Effekt (Wahl, 2006) durchbrochen werden. Der Effekt bezieht sich auf das Matthäus-Zitat aus der Bibel (Matthäus 13, 12) „Denn wer da hat, dem wird gegeben. Wer aber nicht hat, dem wird auch genommen werden, was er hat.“ Übertragen auf das Lernen ist damit gemeint, dass hohes Vorwissen häufig zu besseren Lernergebnissen führt, während geringes Vorwissen das Lernen hemmt (Wahl, 2006). Dadurch entsteht ein dauerhafter und wachsender Nachteil der Schüler, die eine Lernsituation mit wenig Vorwissen beginnen. Die Ergebnisse der Mediansplitanalysen dieser Studie haben gezeigt, dass die Vermittlung negativen Wissens die Möglichkeit bietet, der Benachteiligung von Schülern mit geringem Vorwissen entgegenzuwirken und sie besonders zu fördern.

3.6 Zusammenfassende Diskussion

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der vorliegenden Studie zusammenfassend diskutiert werden. Zunächst werden dazu Ursachen und Bedeutungen der Effekte, die bei der Vermittlung methodischen und negativen Wissens ermittelt wurden, thematisiert. Im Anschluss werden die Untersuchungen zur Vermittlung von epistemologischem Wissen betrachtet, deren Wirksamkeit in der vorliegenden Studie nicht abschließend geklärt werden konnte.

Durch die Vermittlung von methodischem Wissen über das naturwissenschaftliche Experimentieren konnten die Schüler dieser Studie sich deutlich in ihrem Methodenwissen und in ihrem Verständnis steigern. Schon eine vierstündige Intervention über methodisches Grundlagenwissen, vornehmlich Wissen über die Prinzipien der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes, reichte aus, um die experimentellen Fähigkeiten der Schüler deutlich zu fördern. Die Tatsache, dass bereits ein sehr geringer zeitlicher Umfang der Interventionen und die ausschließliche Berücksichtigung von Grundlagenwissen zu erheblichen Wissens- und Verständnissteigerungen führen konnten, deutet das Potenzial an, das die regelmäßige Berücksichtigung von methodischen Aspekten im Unterricht aufweist. In dieser Studie vermochten bereits Schüler der sechsten Klassenstufe ein Experiment zur kontrollierten Untersuchung von drei Testfaktoren planen. Damit erfüllten die Schüler schon in der Unterstufe zentrale Anforderungen, die sie gemäß der Bildungsstandards im Fach Biologie am Ende der Mittelstufe beherrschen sollen (KMK, 2005). Diese Ergebnisse zeigen, dass die in den Bildungsstandards formulierten Lernziele durch eine konsequente Thematisierung der Methode des Experimentierens sicher zu erreichen sind.

Im Umkehrschluss bedeuten die Ergebnisse jedoch auch, dass die Schüler mehrheitlich die grundlegendsten Aspekte des naturwissenschaftlichen Experimentierens bis zum Ende der sechsten Klassenstufe nicht kennengelernt hatten, obwohl experimentelle Aktivitäten Teil des Unterrichts darstellen (Ministerium für Bildung, 1997). Hierfür sind zwei Ursachen denkbar:

Eine Erklärung für das fehlende Grundlagenwissen der Schüler über die Methode des Experimentierens trotz experimenteller Unterrichtserfahrung könnte darin liegen, dass im Unterricht durchgeführte Experimente ebenfalls einer im naturwissenschaftlichen Sinne fehlerhaften Methode folgen. Dadurch würden die Schüler fehlerhaftes Wissen über die Methode des naturwissenschaftlichen Experimentierens erwerben. Es ist davon auszugehen, dass die Ursache des Einsatzes naturwissenschaftlich inkorrektur Experimente in inadäquaten Vorstellungen der Lehrer über das naturwissenschaftliche Experimentieren liegt. Diese stellen ein bekanntes Problem dar (z.B. Günther, 2006), das Einfluss auf den Unterrichtserfolg nehmen kann (Bromme, 1997).

Eine weitere Erklärung mangelnden methodischen Wissens der Schüler könnte in der fehlenden Abgrenzung von Demonstrationen und naturwissenschaftlichen Experimenten in

der Schule zu suchen sein. Wie in Kapitel 2.1.6 beschrieben erfüllen Demonstrationen von biologischen Phänomenen eine wichtige Funktion bei der Vermittlung von Konzeptwissen im Biologieunterricht, z.B. bei der Vermittlung von Quellungsvorgängen bei der Samenkeimung. Zur Verdeutlichung solcher Prozesse muss das betrachtete Phänomen gezielt erzeugt werden, um den Schülern entsprechende Beobachtungen zu ermöglichen. Dazu werden in einem einzelnen Experimentansatz alle notwendigen Faktoren so eingestellt, dass die Samenkeimung eintritt. Das bekannte Wissen über den betrachteten Naturvorgang wird also dargestellt und dazu genutzt, einen gewünschten Effekt zu erzeugen. Im Gegensatz dazu dienen naturwissenschaftliche Experimente der Wissensgewinnung und folgen den beschriebenen methodischen und epistemologischen Grundsätzen mit dem Ziel möglichst abgesicherter Erkenntnisgewinnung. Wenn Schülern diese Unterscheidung nicht bewusst ist, weil Demonstrationen und Experimente im Unterricht unter dem Sammelbegriff „Experimentieren“ zusammengefasst werden, ist anzunehmen, dass sie eine falsche Vorstellung über methodische und epistemologische Grundsätze entwickeln und z.B. einen Solitäransatz als gutes Beispiel eines naturwissenschaftlichen Experiments auffassen. Die Variablenkontrolle würde für sie in diesem Fall ein mögliches, aber nicht zwingend notwendiges Merkmal von Experimenten darstellen. Da epistemologische Kontexte, wie die Zielstellung von Experimenten die Perspektiven von Schülern bestimmen und ihre Vorgehensweisen z.B. bei der Auswertung von Daten lenken (Schauble et al., 1995; Schauble et al., 1991), ist es notwendig, dass sich Lehrpersonen über die impliziten Epistemologien der von ihnen angeleiteten Experimente bewusst sind bzw. Experimente im Unterricht gezielt im Sinne der intendierten Methode und Epistemologie gestalten.

Die Berücksichtigung negativen Wissens bei der Vermittlung von Wissen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren steigerte das Verständnis der Schüler in dieser Studie in deutlich stärkerem Maße als die Vermittlung positiven Wissens. Die Vermittlung negativen Wissens führte dabei nicht zu einem größeren Wissensumfang sondern ausschließlich zu einem tieferen Verständnis der Wissensinhalte als die Vermittlung positiven Wissens. Damit bestätigte die vorliegende Studie die verständnisförderliche Wirkung von negativem Wissen, die bei der Vermittlung von biologischem Konzeptwissen ermittelt wurde (Hammann & Ehmer, 2004).

Darüber hinaus konnte in dieser Studie herausgestellt werden, dass der Erwerb negativen Wissens besonders für Schüler mit geringem Vorwissen förderlich ist und ihnen ein vergleichbares Verständnis wie Schülern mit hohem Vorwissen ermöglicht. Dieses Ergebnis ist besonders interessant, da durch internationale Vergleichsstudien die Benachteiligung von Schülern mit geringem Vorwissen als charakteristisch für Vermittlungssituationen in Deutschland herausgestellt wurde (Baumert et al., 2001). Die Vermittlung negativen Wissens stellt sich als eine Möglichkeit dar, um diesem Effekt zu begegnen und gerade Schüler mit geringem Vorwissen zu unterstützen. Fördermaßnahmen für leistungsschwache Schüler

sollten sich dementsprechend nicht nur auf die Berücksichtigung bestimmter Inhalte oder längerer Übungszeiten im Unterricht beschränken, sondern die Art der Wissensvermittlung z.B. als negatives Wissen mit einbeziehen.

Die Ergebnisse zur Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens unterstützen außerdem die Theorie des negativen Wissens, die ein Erklärungsmodell der Wirkung von Wissen über Fehler und Abgrenzungen bietet. Durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie konnte der bisherige Anwendungsbereich der Theorie, der sich vor allem auf das sporadische Lernen aus eigenen Fehlern und den Bedingungen zum Aufbau einer Fehlerkultur konzentrierte, auf die regelmäßige und gezielte Vermittlung von Wissen ausgeweitet werden. In der vorliegenden Studie wurde dabei die Bedeutung des advokatorischen Fehlerlernens für die schulische Vermittlung spezifiziert. Während aus Studien zum Lernen aus eigenen Fehlern geschlussfolgert wurde, dass negatives Wissen im Bereich kognitiver Aspekte wenig wirkungsvoll ist (OserHascher & Sychinger, 1999), konnte in dieser Studie eine wirksame Förderung kognitiver Fähigkeiten durch advokatorisches Fehlerlernen erreicht werden. Die kontrastive Betrachtung von richtigen und fehlerhaften Aspekten des Experimentierens bzw. von alternativen Modi des Experimentierens stand hierbei im Mittelpunkt. Die Wirkung negativen Wissens kann dahingehend spezifiziert werden, dass das Lernen aus eigenen Fehlern besonders für sozial-emotionale Kontexte geeignet ist (OserHascher & Sychinger, 1999), wohingegen kognitive Aspekte bei regelmäßiger schulischer Vermittlung die Betrachtung von Fehlern und Abgrenzungen erfordern.

Die Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens könnte vor allem in den Naturwissenschaften auf einen Zusammenhang zwischen dem Erwerb negativen Wissens und der Adressierung von Schülervorstellungen zurückzuführen sein (Hesse, 2007; OserHascher & Sychinger, 1999). Die Thematisierung typischer Schülerfehler bei der Vermittlung negativen Wissens, die durch bekannte methodische Schülervorstellungen verursacht werden (vgl. Kapitel 2.1.7), könnte in der vorliegenden Studie eine Veränderung von Konzepten der Schüler unterstützt haben. Im Sinne einer konstruktivistischen Auffassung von Konzeptwechsel als Konzeptreorganisation (Duit, 2000) könnten die Schüler durch die kontrastive Gegenüberstellung von Fehlern und Richtigem erkannt haben, welchen Nutzen die methodischen Regeln in naturwissenschaftlichen Kontexten aufweisen. Dadurch könnte die Integration des methodischen Wissens in bestehende Vorwissensstrukturen der Schüler erleichtert worden sein. Bei der Vermittlung positiven Wissens, bei der Schülervorstellungen eventuell weniger angesprochen wurden, könnte die Integration des neuen Wissens dagegen problematischer gewesen sein. In diesem Fall könnten methodische Schülervorstellungen in Verständniskontexten einen größeren Einfluss ausüben als bei Schülern, die ihren Vorstellungen bei der Vermittlung des Wissens begegnen konnten.

Nachdem in den vorstehenden Absätzen die generelle Wirkung der Vermittlung von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen diskutiert wurde, soll die

Wirksamkeit im Folgenden differenzierter betrachtet werden. Hierbei soll v.a. spezifiziert werden, für welchen Grad von Verständnis des Experimentierens bereits positives methodisches Wissen ausreichend ist, bzw. welches komplexere Verständnis den Erwerb negativen Wissens erfordert. Auf die Betrachtung epistemologischen Wissens wird aus genannten Gründen im weiteren Fortgang verzichtet.

Durch die Analysen der Kontrollgruppe, die keinerlei Unterricht zum naturwissenschaftlichen Experimentieren erhielt, konnte gezeigt werden, dass bereits die Beschäftigung mit Testaufgaben, in denen die Methode des Experimentierens angemessen dargestellt wird, zu einem adäquaten Nachvollziehen methodischen Grundwissens befähigt. Aus diesem Grund waren die Schüler der Kontrollgruppe im Nachtest deutlich besser in der Lage, Hypothesen von gegebenen Experimenten richtig zu identifizieren. Die Beschäftigung mit den Experimenten in den Testinstrumenten reichte dagegen nicht aus, um Wissen über das Experimentieren adäquat anzuwenden. Dies zeigt sich bei allen untersuchten Bereichen des Verständnisses: beim selbständigen Planen von Experimenten, beim Umgang mit konfundierten Experimenten und bei der Datenanalyse. Im Bereich der Datenanalyse wurden dabei die Grenzen des Verständnisses der Schüler der Kontrollgruppe deutlich: Das fehlende methodische Grundwissen ermöglichte es ihnen nicht, die gegebene Schlussfolgerung über den Faktor Licht, die der typischen Schülervorstellung über die Relevanz von Licht für die Samenkeimung widerspricht, angemessen zu beurteilen. Obwohl die Schüler das in diesem Aspekt naturwissenschaftlich adäquate Experiment nur nachvollziehen mussten, reichte ihr Verständnis dazu nicht aus. Stattdessen postulierten sie z.B. die Relevanz des Faktors Licht entgegen der dargestellten Evidenzen. Die Verständnisschwierigkeiten der Schüler zeigten sich also vor allem in den offenen Aufgaben des Verständnistests und nur zum Teil in den multiple choice-Aufgaben des Methodenwissenstests. Erstere sind für die Erhebung von Verständnis daher besser geeignet (Hammann et al., 2008).

Die Fähigkeiten, die sich durch die Beschäftigung mit den Aufgaben des Methodenwissenstests entwickelten, beschränken sich offensichtlich – und hier auch nur teilweise – auf das passive Nachvollziehen einer korrekten Methode, und schließen einen eigenständigen und angemessenen Umgang mit dem Wissen aus.

Im Gegensatz dazu befähigt der Erwerb methodischen Wissens über das Experimentieren Schüler zu einer selbständigen Anwendung des erlernten Grundwissens. Es zeigt sich, dass Schüler, die methodisches Wissen erwerben, dieses Wissen bei der Planung von Experimenten strukturiert anwenden können. Im gewissen Maße gilt das auch für das Verständnis der experimentellen Datenanalyse. Durch den Erwerb methodischen Wissens konnten die Schüler den Testfaktor des Experiments und auch die meisten nicht getesteten Faktoren richtig bewerten, d.h. sie konnten zwischen bewiesener und unbewiesener Kausalität weitgehend unterscheiden, vor allem wenn die Aufgabenstellung die Funktion der Faktoren hervorhebt. Allerdings reichte das erworbene Methodenwissen noch nicht für eine komplexere Anwendung des Wissens in problemorientierten Kontexten aus: Es gelang den

Schülern nicht, Konfundierungen in Experimenten zu identifizieren und die damit verbundene eingeschränkte Aussagekraft der experimentellen Evidenzen zu erkennen.

Zu dieser komplexeren Verständnisstufe befähigte erst die Vermittlung negativen Wissens. Der Erwerb negativen Wissens ermöglichte darüber hinaus eine vollständige Datenanalyse, bei der zwischen Testfaktor und anderen Faktoren unterschieden werden kann – und zwar unabhängig von der Betonung der Faktoren in der Aufgabenstellung. Damit befähigte das negative Wissen die Schüler zu einer kritischen Betrachtung von Experimenten, die durch den Erwerb positiven Wissens allein nicht erreicht werden konnte.

Als Schwierigkeit bei der Vermittlung von negativem Wissen stellte sich die Festigung und Strukturierung des positiven Wissens heraus. Für Schüler, deren Unterricht hauptsächlich auf negatives Wissen ausgerichtet war, erwies sich die Anwendung positiven Wissens in den unstrukturierten Aufgabenkontexten des selbständigen Planens von Experimenten als problematisch. Diese Befunde weisen auf die Notwendigkeit hin, dass bei der Vermittlung negativen Wissens die Sicherung des positiven Wissens bzw. der Wissensstrukturen gezielt berücksichtigt werden muss. In einem Unterricht, der außerhalb biologiedidaktischer Forschung allein der Vermittlung von Inhalten dient, ist dies ohne Schwierigkeiten möglich. Im regulären Schulunterricht müssen positive Wissensinhalte bei der Vermittlung von negativem Wissen nicht künstlich reduziert werden. In der vorliegenden Studie war diese Maßnahme notwendig, um möglichst deutlich getrennte Bedingungen für die Untersuchung der Wirksamkeit von positivem und negativem Wissen zu kreieren (vgl. S. 70). Dadurch wurden Aspekte des positiven Wissens in den entsprechenden Interventionen vernachlässigt. In der Schule findet positives Wissen dagegen eine viel stärkere Betonung, so dass eine Vernachlässigung positiver Wissensstrukturen weniger stark auftritt. Darüber hinaus muss die Vermittlung negativen Wissens im Regelunterricht nicht innerhalb einer sehr begrenzten Zeit – innerhalb von vier Schulstunden in der vorliegenden Studie – stattfinden, sondern könnte den natürlichen Vermittlungsanforderungen angepasst werden. Allein diese Unterschiede der Vermittlungssituation könnten ausreichen, um das Problem weniger gesicherter Wissensstrukturen zu beheben, insbesondere wenn geeignete Übungsaufgaben die Sicherung des positiven Wissens weiter unterstützen.

Die gemeinsame Vermittlung von positivem Wissen, das die direkte Anwendung von Wissen fördert, und negativem Wissen, das den kritischen Umgang mit dem Wissen unterstützt, scheint daher geeignet, die kognitiven Fähigkeiten der Schüler im Bereich des Experimentierens umfassend zu fördern.

Die Wirksamkeit der Vermittlung epistemologischen Wissens über das Experimentieren konnte in dieser Studie nicht abschließend untersucht werden, da es nicht gelang, zwei Bedingungen zu erzeugen, deren Vergleich Aufschluss über die Bedeutung des epistemologischen Wissens für das Verständnis der Schüler gibt. Ursache hierfür war, dass auch die Schüler, denen kein epistemologisches Wissen vermittelt wurde, solches Wissen

erwarben. Dadurch unterschieden sie sich in dieser Hinsicht nicht von den Schülern, die eine explizite Vermittlung epistemologischen Wissens erfuhren. Diese Tatsache lässt zwei Schlussfolgerungen zu:

Entweder konnten entsprechend der Testergebnisse dieser Studie beide Gruppen durch die verschiedenen Interventionen epistemologisches Wissen erwerben oder das eingesetzte Testinstrument war nicht zur Abbildung des tatsächlichen epistemologischen Wissens der Schüler geeignet, so dass Wissensunterschiede zwischen den Gruppen nicht erfasst wurden.

Die erste Schlussfolgerung würde bedeuten, dass die Interventionen sich hinsichtlich des epistemologischen Wissens nicht stark genug voneinander unterschieden. Insbesondere wäre bei der Vermittlung methodischen Wissens die Ausgrenzung epistemologischer Inhalte nicht gelungen. Dies könnte insofern zutreffen, da in dieser Studie die Vermittlung ausschließlich grundlegender epistemologischer Aspekte wie die Zielstellung von Experimenten und die Absicherung der Erkenntnisgewinnung untersucht wurde (vgl. Kapitel 3.4.3.1). Die Beschränkung der Vermittlung auf epistemologisches Grundwissen wurde vorgenommen, weil einerseits ein geringes Vorwissen der Schüler in diesem Bereich erwartet wurde und andererseits die kurze Interventionsdauer keine umfangreichere Thematisierung zuließ. Die ausgewählten epistemologischen Aspekte zeichneten sich durch einen direkten Zusammenhang zur Methode des Experimentierens aus. Dieser bildete gerade die Grundlage für die Auswahl der epistemologischen Aspekte, denn der Bezug zwischen Methode und Epistemologie sollte genutzt werden, um das Verständnis der Schüler über das Experimentieren zu verbessern. Es ist jedoch möglich, dass es den Schülern eben aufgrund der Nähe der methodischen und epistemologischen Aspekte möglich war, das implizite epistemologische Wissen aus den methodischen Interventionen abzuleiten. Obwohl es in dem Fall für eine aussagekräftige Untersuchung der Wirkung von epistemologischem Wissen, den Planungen dieser Studie entsprechend, nötig wäre, die Interventionen stärker voneinander abzugrenzen, ist es fraglich, ob dies bei der Betrachtung so grundlegender Wissensbereiche realisierbar wäre, ohne die Vermittlung methodischen Wissens zu behindern. Beispielsweise wäre es für die Darstellung der Methode des Experimentierens verhängnisvoll, bei der Durchführung eines Experiments dessen konkreter Zielstellung nicht zu erwähnen. Damit würde zwar stärker, als es in dieser Studie passiert ist, von der Thematisierung epistemologischer Aspekte abgesehen werden, das Vorgehen würde aber nicht mehr einem naturwissenschaftlichen Experiment, sondern einer experimentellen Beschäftigung ohne Erkenntnisfunktion gleichen. Das hätte wiederum Auswirkung auf die konkrete Methode und Epistemologie des Experiments und damit auf die Aussagekraft der Untersuchung. Aus diesem Grund ist es vermutlich nicht möglich, noch stärkere Abgrenzungen von Methode und Epistemologie des Experimentierens auf diesem grundlegenden Niveau vorzunehmen. Wenn dagegen Schüler der Mittel- oder Oberstufe die Stichprobe einer Untersuchung ausmachen, kann eine Abgrenzung bei Betrachtung komplexerer Aspekte des Experimentierens einfacher vorgenommen werden. In diesen Klassenstufen könnte z.B. der Zusammenhang von

epistemologischem Wissen über die Reliabilität und Validität von experimentellen Daten und methodischem Wissen über Messwiederholungen und Mittelwertbildungen untersucht werden (Lubben & Millar, 1996). Hierbei ließen sich abstrakte epistemologische Aspekte und methodisches Vorgehen deutlicher von einander unterscheiden.

Als zweite mögliche Ursache für das vergleichbare epistemologische Wissen beider Vermittlungsgruppe wurde die Eignung des Testsinstruments für die Erfassung des epistemologischen Wissens genannt und bereits in Kapitel 3.5.2 diskutiert. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es auch bezüglich des Testsinstruments sinnvoll wäre, eine größere Entfernung der Aufgabeninhalte von konkreten methodischen Aspekten des Experimentierens vorzunehmen. Allerdings ist auch hier aus genannten Gründen fraglich, ob im Bereich des epistemologischen Grundwissens eine solche Trennung möglich ist. Daher sollten in weiteren Studien alternative Methoden der Wissenserhebung, wie z.B. die Durchführung von Interviews, getestet werden. Allerdings sind solche Untersuchungsmethoden wegen des deutlich größeren Erhebungs- und Auswertungsaufwands nur eingeschränkt für größere Stichproben geeignet (vgl. 3.4.4.3).

4 Ausblick

In diesem Kapitel sollen Fragestellungen skizziert werden, die durch die Ergebnisse der Studie aufgeworfen wurden oder in der vorliegenden Studie nicht geklärt werden konnten.

Hinsichtlich des Wissens über die Methode des Experimentierens ergeben sich Fragestellungen für weitere Forschungsarbeiten zunächst aus der Beschreibung des Wissensstands der Schüler vor Beginn der Interventionen. Hierbei zeigte sich, dass Schüler der Unterstufe große Defizite im experimentellen Grundwissen, d.h. bezüglich der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes aufweisen. Es wurden zwei mögliche Ursachen für die Schwächen der Schüler diskutiert, die Anlass für weitere Untersuchungen bieten:

Zum einen ist der Zusammenhang des Einsatzes von Demonstrationsexperimenten bzw. naturwissenschaftlichen Experimenten und dem Wissen der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren noch ungeklärt. Es gilt herauszufinden, ob durch eine mangelnde Offenlegung der grundsätzlichen Verschiedenheit beider Methoden, ein Fehlverständnis und inadäquates Wissen auf Seiten der Schüler gefördert oder sogar erzeugt wird. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen würden Voraussetzungen für curriculare Empfehlungen über den Einsatz von Experimenten im Unterricht schaffen.

Zum anderen ist zu klären, welchen Einfluss das Wissen der Lehrpersonen über das Experimentieren auf das Wissen der Schüler in diesem Bereich ausübt. Dazu ist zunächst das Wissen von Lehrpersonen detailliert zu erheben und hinsichtlich der Übereinstimmung mit der naturwissenschaftlichen Methode und Epistemologie zu analysieren. Die Erkenntnisse in diesem Bereich können wertvolle Hinweise dafür liefern, inwieweit eine Professionalisierung von Lehrkräften für eine effektive Förderung von Schülern möglich bzw. notwendig ist.

In dem Zusammenhang ist ebenfalls zu klären, welche Verständnisaspekte des Experimentierens durch bestimmte methodische Wissensinhalte gefördert werden können. In dieser Studie wurde untersucht, welche Bedeutung methodisches Grundwissen (z.B. über die Variablenkontrolle von Experimenten) für das Verständnis (z.B. über die Unterscheidung von Testfaktoren und anderen Faktoren) aufweist. Die berücksichtigten Aspekte stellen jedoch nur einen sehr kleinen Teil des naturwissenschaftlichen Experimentierens als Erkenntnisprozess dar. Es sind zusätzliche Studien notwendig, um weitere Wissens- und Verständnisaspekte in dieser Hinsicht zu identifizieren. Dazu gehört auch die Ausweitung der Untersuchungen auf andere Klassenstufen und komplexere Aspekte des Experimentierens. Ansatzpunkt solcher Studien können z.B. Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen epistemologischen Überzeugungen und der Bewertung von „Ausreißern“ bei Messwerten und von Messwiederholungen sein (Lubben & Millar, 1996).

Wesentliche Fragen ergeben sich aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie auch und vor allem hinsichtlich der Vermittlung und Wirksamkeit epistemologischen Wissens, die nur

im geringen Ausmaß analysiert werden konnten (vgl. Kapitel 3.5.3). Forschungsfrage 2a der vorliegenden Studie ist in anschließenden Studien wieder aufzugreifen:

Forschungsfrage 2a

Welche Wirksamkeit besitzt die Vermittlung epistemologischen Wissens zum naturwissenschaftlichen Experimentieren für die Förderung kognitiver Fähigkeiten beim Experimentieren?

Zuvor ist jedoch zu klären, ob die entwickelten Testinstrumente in der Lage sind, das epistemologische Wissen der Schüler abzubilden. Dies ist die Voraussetzung für weitere inhaltliche Untersuchungen. Anschließend ist zu klären, ob sich das epistemologische Wissen der Schüler, das durch die für diese Studie geplanten Interventionen vermittelt wird, zwischen den beiden Vermittlungsbedingungen (methodisches Wissen und/oder epistemologisches Wissen) tatsächlich nicht unterscheidet. Die Ergebnisse solcher Studien liefern Hinweise darauf, ob die Interventionen der vorliegenden Studie verändert werden müssen oder ob sie für eine Untersuchung der Wirksamkeit epistemologischen Wissens geeignet sind. Es ist vor allem zu klären, ob eine stärkere Abgrenzung methodischer und epistemologischer Inhalte möglich und notwendig ist. Erst dann kann in weiteren Interventionsstudien untersucht werden, ob der Erwerb epistemologischen Wissens eine förderliche Wirkung für das Verständnis des Experimentierens aufweist und welche epistemologischen Aspekte hierbei von besonderer Bedeutung sind. Diese Fragen sind im Besonderen von Interesse, da der Berücksichtigung von NOS-Aspekten im Biologieunterricht, zu denen auch die Epistemologie des Experimentierens zählt, immer mehr Bedeutung zugesprochen wird (z.B. Sandoval & Reiser, 2004), um den Schülern ein Verständnis des Wesens der Naturwissenschaften zu vermitteln. Vor allem im angloamerikanischen Sprachraum ist die Entwicklung entsprechender Curricula vorangeschritten (Hunt & Millar, 2000). Häufig stehen bei der Untersuchung von NOS-Aspekten in der Forschung jedoch Einstellungen der Schüler und nicht das Wissen im Vordergrund (z.B. Conley et al., 2004). Auch in dieser Hinsicht ist die Bedeutung von epistemologischem Wissen für das Verständnis von Schülern zu klären und der Forschung zu NOS-Einstellungen gegenüber zu stellen.

Im Bereich der Vermittlung von negativem Wissen konnten in dieser Studie starke Effekte für das Verständnis von Schülern über das Experimentieren ermittelt werden, die eine regelmäßige Berücksichtigung negativen Wissens im Unterricht empfehlen. Hierfür sind jedoch noch wesentliche Klärungen notwendig:

Für die Vermittlung negativen Wissens ist umfangreiches Wissen über typische Fehler und zentrale Problemfelder notwendig, die den Kern der Vermittlung bilden. Im Bereich des naturwissenschaftlichen Experimentierens sind solche Kenntnisse aus zahlreichen Forschungsarbeiten vorhanden (vgl. Kapitel 2.1.7.2). Auf Grundlage dieser Kenntnisse

wurden zentrale Aspekte des Experimentierens und Fehler beim Experimentieren zur Vermittlung in dieser Studie ausgewählt. Die Auswahl geeigneter Problemfelder bestimmt wesentlich den Erfolg der Vermittlung negativen Wissens, da diese die inhaltliche Ausrichtung des Lernprozesses lenken. Um das Potential der Vermittlung negativen Wissens auch in anderen Bereichen nutzen zu können, muss gezielte Fehlerforschung betrieben werden. Diese sollte sowohl konzeptuelle als auch in methodische Domänen der Biologie umfassen. Beispielsweise könnten typische Wissensdefizite im Bereich der menschlichen Evolution oder der biologischen Methode des Beobachtens erhoben werden. Diese können die Grundlage für eine gezielte Förderung von Schülern durch die Vermittlung negativen Wissens bilden. In diesem Zusammenhang muss die Abgrenzung von Fehlern und Schülervorstellungen weiter fortgeführt werden, da die Theorie des negativen Wissens verdeutlicht, dass für eine Verständnisförderung durch den Erwerb negativen Wissens gerade eine Auseinandersetzung auf der Fehlerebene entscheidend ist (vgl. Kapitel 2.2). Hinsichtlich der Vermittlungsmethode des Lernens aus Fehlern ist auch zu klären, inwieweit das Lernen aus eigenen Fehlern sinnvoll in den schulischen Vermittlungsprozess einbezogen werden kann. Es gilt geeignete Maßnahmen zu entwickeln und zu evaluieren, die ein Lernen aus eigenen Fehlern auch im Schulalltag ermöglichen. Die Wirksamkeit beschriebener Maßnahmen wie das Führen von Fehlerkarteien (Müller & Nieswandt, 1998), die das Lernen aus eigenen Fehlern für eine Lerngruppe sicherstellen sollen, ist hierbei noch völlig ungeklärt.

5 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Ziel der vorliegenden Studie war es, Möglichkeiten und Bedingungen der Förderung kognitiver Fähigkeiten von Schülern der Unterstufe zu untersuchen. Da Probleme bei der Wissensanwendung und dem Verständnis der Schüler im Bereich des Experimentierens auf eine fehlende Problem- und Anwendungsorientierung von Unterrichten zurückgeführt wird (Prenzel et al., 2007), sollte ermittelt werden, wie naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen bereits im Biologieanfangsunterricht berücksichtigt werden können. Durch einen frühen Beginn von Unterricht zum Experimentieren können die Vorgaben der Bildungsstandards, die einen sicheren Umgang mit der Methode des Experimentierens als Lernziel bis zum Ende der Mittelstufe festschreiben, verlässlich erreicht werden.

Dazu wurde die Wirksamkeit drei verschiedener Wissensarten für die Förderung kognitiver Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der Unterstufe in einer Interventionsstudie untersucht. Es wurde Grundwissen über die Methode und/oder die Epistemologie des Experimentierens vermittelt, und zwar einerseits als positives und andererseits als negatives Wissen. Untersucht wurde, inwieweit eine gezielte Vermittlung von Wissen über das Experimentieren bereits in der Unterstufe möglich ist, insbesondere wenn epistemologischer Aspekte berücksichtigt werden, oder ob dies aufgrund der Altersstufe der Schüler nicht sinnvoll ist. Darüber hinaus wurde überprüft, welche Wissensvermittlung das Verständnis der Schüler am effektivsten fördert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass eine Förderung des Wissens und Verständnisses der Schüler über das naturwissenschaftliche Experimentieren bereits in der Unterstufe möglich ist. Bereits eine vierstündige Vermittlung methodischen Grundwissens über die Variablenkontrolle und den Kontrollansatz beim Experimentieren führte zu einer deutlichen Steigerung des methodischen Wissens und des Verständnisses der Schüler. Die Schüler der Kontrollgruppe, in der keine Interventionen durchgeführt wurden und damit diese methodischen Grundlagen nicht vermittelt wurden, waren nur zum passiven Nachvollziehen methodischer Aspekte in fehlerfreien Experimenten fähig. Eine selbstständige Anwendung des Wissens und eine kritische Betrachtung von gegebenen Experimenten waren ihnen dagegen nicht möglich. Die Schüler, denen methodisches Wissen vermittelt wurde, wurden dagegen zu einer aktiven Anwendung des Wissens befähigt und konnten methodische Aspekte von Experimenten adäquater bewerten.

Darüber hinaus zeigte sich, dass die Vermittlung negativen Wissens zu einem komplexeren Verständnis des naturwissenschaftlichen Experimentierens führt als die Vermittlung positiven Wissens. Schüler, bei denen z.B. nicht nur die adäquate Berücksichtigung der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes im Unterricht berücksichtigt wurden sondern auch entsprechende Fehler beim Experimentieren wie konfundierte Experimente, waren deutlich besser in der Lage, Experimente kritisch zu betrachten und darin enthaltene

methodische Mängel aufzuzeigen. Sie erreichten ein deutlich besseres Verständnis der Variablenkontrolle und des Kontrollansatzes als die Schüler, die diese Aspekte nur als positives Wissen kennenlernten. Allerdings erwies es sich für Schüler, deren Unterricht hauptsächlich auf negatives Wissen ausgerichtet war, als problematisch, das Wissen in unstrukturierten Aufgabenkontexten selbstständig anzuwenden. Der kontrastive Charakter des negativen Wissens, der das Verständnis der Schüler besonders fördert, führte offensichtlich dazu, dass das Wissen über das Experimentieren weniger strukturiert erworben wurde. Es wurde deutlich, dass in die Vermittlung negativen Wissens geeignete Maßnahmen zur Strukturierung und Sicherung des Wissens bzw. Übungen zur selbstständigen Anwendung des Wissens integriert werden müssen.

Bei Berücksichtigung des Vorwissens der Schüler wurde darüber hinaus deutlich, dass die Vermittlung negativen Wissens besonders Schüler mit geringem Vorwissen fördert. Während Schüler mit hohem Vorwissen sich sowohl durch die Vermittlung positiven Wissens als auch durch die Vermittlung negativen Wissens gleichermaßen steigern konnten, konnten sich Schüler mit geringem Vorwissen in ihrem Wissen und Verständnis nur durch die Vermittlung negativen Wissens deutlich steigern. Hierbei erreichten sie ein vergleichbares Verständnis wie Schüler mit hohem Vorwissen. Durch die Vermittlung positiven Wissens erreichten Schüler mit geringem Vorwissen dagegen ein deutlich schlechteres Verständnis des Experimentierens als ihre Mitschüler mit hohem Vorwissen. Die Vermittlung negativen Wissens ist also für Schüler jeden Vorwissensstandes geeignet, fördert aber im besonderen Maße die Schüler, die geringes Vorwissen aufweisen.

Die Wirksamkeit epistemologischen Wissens konnte dagegen in dieser Studie nicht abschließend geklärt werden. Zwar erwies es sich als möglich, bereits in der Unterstufe epistemologisches Wissen zu vermitteln, die Wirkung epistemologischen Wissens auf das Verständnis der Schüler konnte aber nicht untersucht werden. Grund hierfür ist, dass sowohl Schüler, denen epistemologisches Wissen gezielt vermittelt wurde, als auch Schüler, denen nur methodisches Wissen vermittelt wurde, vergleichbares epistemologisches Wissen erwarben. Offensichtlich war es den Schülern, in deren Unterricht nur methodische Aspekte des Experimentierens thematisiert wurden, möglich, aus konkreten Hinweisen über Vorgehensweisen beim Experimentieren, die in den Interventionen als methodisches Wissen vermittelt wurden, abstraktes epistemologisches Wissen abzuleiten. In der Folge unterschieden sich die Schüler beider Wissensvermittlungen hinsichtlich ihres epistemologischen Wissens nicht voneinander. Dadurch war es nicht möglich, aussagekräftige Vergleiche über die Wirksamkeit der Vermittlung negativen Wissens auf das Verständnis der Schüler vorzunehmen.

6 Literaturverzeichnis

- Amthor, U. (2002). Experimente als Aufgaben: Experimente - nicht Versuche! *PdN-BioS*, 8(51), 8-12.
- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H., & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung - Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 7-28.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., et al. (Eds.). (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., & Lehman, R. (1997). *TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich: Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske + Budrich.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A., & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understanding on the Nature of Science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5 ed.). Berlin: Springer.
- Bortz, J., & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (3 ed.). Berlin: Springer.
- Bromme, R. (1997). Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. In F. E. Weinert (Ed.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule (Enzyklopädie der Psychologie)* (pp. 177-212). Göttingen: Diesterweg.
- Bühl, A., & Zöfel, P. (2005). *SPSS 12: Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. München: Pearson Studium.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., & Unger, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11(special issue), 514-529.
- Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limón & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 3-27). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002a). Children's responses to anomalous scientific data: How is conceptual change impeded? *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 327-343.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002b). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86, 175-218.
- Chott, P. O. (1999). Ansätze zur Entwicklung einer "Fehlerkultur" in der Schule: Lernförderung in der Schule durch Fehlerprophylaxe und Fehlermanagement. *PÄDForum*, 27(3), 238-248.
- Conley, A. M., Pintrich, P. R., Vekiri, I., & Harrison, D. (2004). Changes in epistemological beliefs in elementary science students. *Contemporary Educational Psychology*, 29, 186-204.
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 905-923.

- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263-282). Oxford, UK: Pergamon.
- Duit, R. (2000). Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften in einem mehrperspektivischen Ansatz. In R. Duit & C. von Rhöneck (Eds.), *Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung* (pp. 77-103). Kiel: IPN.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 17, 397-434.
- Ehmer, M. (2004). *Die Bedeutung negativen Wissens für den Erwerb eines Verständnisses von Bau- und Funktionsprinzipien des menschlichen Blutkreislaufs*. Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- Ehmer, M., & Hammann, M. (2007). Alternative Argumentationsstrategien als Ursache methodischer Schülerfehler beim Experimentieren. In H. Bayrhuber, U. Harms, D. Krüger, A. Sandmann, U. Unterbruner, A. Upmeyer zu Belzen & H. Vogt (Eds.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften: Internationale Tagung der Fachgruppe Biologiedidaktik im VBIO* (pp. 27-30). Kassel: Universität Kassel.
- Ehmer, M., & Hammann, M. (2008 (im Druck)). Confirmation bias revisited. In M. Hammann, M. Reiss, C. Boulter & S. D. Tunnicliffe (Eds.), *Biology in Context: Learning and teaching for the 21st century. A selection of papers presented at the VIth Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB), September 11th-15th, 2006*. London: Institute of Education, University of London.
- Eschenhagen, D., Kattmann, U., & Rodi, D. (Eds.). (2006). *Fachdidaktik Biologie* (7 ed.). Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Fay, A. L., & Klahr, D. (1996). Knowing about guessing and guessing about knowing: Preschoolers' understanding of indeterminacy. *Child Development*, 67, 689-716.
- Freudig, D., & Sauermost, R. (Eds.). (2000). *Lexikon der Biologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Goossens, L., Marcoen, A., & Vandenbroecke, G. (1987). Availability of the Control-of-Variables Strategy in early adolescence: Elicitation techniques revisited. *Journal of Early Adolescence*, 7(4), 453-462.
- Graf, E. (Ed.). (2004). *Biologiedidaktik für Studium und Unterrichtspraxis*. Donauwörth: Auer.
- Gudjons, H. (1995). *Pädagogisches Grundwissen* (4th ed.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Günther, J. (2006). *Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften: Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*. Berlin: Logos Verlag.
- Hammann, M. (2003). Aus Fehlern lernen. *Unterricht Biologie*, 287, 5-10.
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung - dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *MNU*, 57(4), 196-203.
- Hammann, M., & Ehmer, M. (2004). *Die Bedeutung negativen Wissens für den Erwerb eines Verständnisses von Bau- und Funktionsprinzipien des menschlichen Blutkreislaufs*. Paper presented at the 2. Göttinger Fachtagung für empirische Unterrichts- und Schulforschung „Verstehen: Fördern und Verstehen in Schule und Unterricht“. Zentrum für empirische Unterrichts- und Schulforschung (ZeUS).
- Hammann, M., Phan, T. T. H., & Bayrhuber, H. (2007). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Sonderheft 8*, 33-49.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M., & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *MNU*, 59(5), 292-299.

- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M., & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*, 42(2), 66-72.
- Hammann, M., & Prenzel, M. (2008). Ergebnisse des internationalen PISA Naturwissenschaftstests 2006. *MNU*, 61(2), 67-74.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 655-675.
- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W., & Mayer, J. (1998). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung: Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Helmke, A. (2006). Unterrichtsforschung. In K.-H. Arnold, U. Sandfuchs & J. Wiechmann (Eds.), *Handbuch Unterricht* (pp. 56-65). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hesse, M. (2007). Zur didaktischen Kultur des Fehler-Entdeckens. *MNU*, 60(1), 9-16.
- Hunt, A., & Millar, R. (Eds.). (2000). *AS Science for public understanding*. Oxford: Heinemann Educational Publishers.
- Jahn, I. (Ed.). (1998). *Geschichte der Biologie*. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Kahl, R. (1992a). Lob des Fehlers: Ein Coach und 23 Spieler [Film]: NDR.
- Kahl, R. (1992b). Lob des Fehlers: Kulturrevolution [Film]: NDR.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23-31.
- Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748-769.
- Kemp, E. K., Tzou, C. T., Reiser, B. J., & Spillane, J. P. (2002). *Managing dilemmas in inquiry science teaching*. Paper presented at the International Conference of the Learning Science.
- Killermann, W., Hierung, P., & Starosta, B. (Eds.). (2005). *Biologieunterricht heute: Eine moderne Fachdidaktik*. Donauwörth: Auer Verlag.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Klautke, S. (1978). Das biologische Experiment - Didaktik und Praxis in der Lehrerbildung. In W. Killermann & S. Klautke (Eds.), *Fachdidaktisches Studium in der Lehrerbildung: Biologie* (pp. 170-191). München: Oldenbourg Verlag.
- Klayman, J., & Ha, Y.-W. (1989). Hypothesis testing in rule discovery: Strategy, structure, and content. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(4), 596-604.
- KMK. (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004)*. München: Wolters Kluwer.
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kotska, C., & Kotska, S. (2006). *Der kontinuierliche Verbesserungsprozess: Methoden des KVP*. München: Hanser.
- Kremer, B. P., & Keil, M. (Eds.). (1993). *Experimente aus der Biologie*. Weinheim: VCH.
- Krüger, D. (2007). Die *Conceptual Change*-Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologie-didaktischen Forschung - Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (pp. 81-92). Berlin: Springer.
- Kuhn, D., & Angelev, J. (1976). An experimental study of the development of formal operational thought. *Child Development*, 47, 698-706.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the Nature of Science: A Review of the research. *Journal of research in science teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners'

- conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G., Wade, P., & Bell, R. L. (1998). Assessing understanding of the Nature of Science: a historical perspective. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in science education* (pp. 331-350). Dordrecht: Kluwer
- Lienert, G. A., & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6 ed.). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Lin, H.-S., Chiu, H.-L., & Chou, C.-Y. (2004). Student understanding of the Nature of Science and their problem-solving strategies. *International Journal of Science Education*, 26(1), 101-112.
- Lonsbury, J. G., & Ellis, J. D. (2002). Science history as a meanx to teach Nature of Science concepts: Using the development of understanding related to mechanisms of inheritance [Electronic Version]. *Electronic Journal of Science Education*, 7.
- Lubben, F., & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), 955-968.
- Lücken, M. (2007). "Hat mein neu entwickeltes Unterrichtskonzept den erwünschten Erfolg?" - Einblick in den Umgang mit statistischen Prüfverfahren in der empirischen Unterrichtsforschung. *Kompetenzentwicklung und Assessment*, 109-133.
- Mayer, R. E. (1999). *The promise of educational psychology: Learning in the content areas*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Meichtry, Y. J. (1992). Influencing student understanding of the Nature of Science: Data from a case of curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching* 29(4), 389-407.
- Metz, K. E. (1998). Scientific inquiry within the reach of young children. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of scientific education* (pp. 81-96). Dodrecht: Kluwer.
- Ministerium für Bildung, W., Forschung und Kultur. (1997). Lehrplan für die Sekundarstufe I der weiterführenden allgemeinbildenden Schulen Gymnasium: Biologie. from <http://lehrplan.lernnetz.de/content/index.php>
- Moore, J. A. (1993). *Science as a way of knowing: The foundation of modern biology*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Moosbrugger, H., & Keleva, A. (2007). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In H. Moosbrugger & A. Keleva (Eds.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Müller, A., & Nieswandt, M. (1998). *BLK-Programm: Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts: Arbeitsleitfaden zu Modul 3: Aus Fehlern lernen*. Kiel: IPN.
- Nübel, H. (1998). "Fehler sind Fenster auf den Lernprozess": Schülertexte als Grundlage für individuelle Förderkonzepte. *Grundschulmagazin*, 13(H7-8), 15-18.
- Oser, F., Hascher, T., & Sychiger, M. (1999). Lernen aus Fehlern: Zur Psychologie des "negativen" Wissens. In W. Althof (Ed.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (pp. 11-41). Opladen: Leske + Budrich.
- Oser, F., Hascher, T., & Sychinger, M. (1999). Lernen aus Fehler: Zur Psychologie des "negativen" Wissens. In W. Althoff (Ed.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (pp. 11-41). Opladen: Leske + Budrich.
- Phan, T. T. H. (2007). *Testing levels of competencies in biological education*. Christian Albrechts Universität, Kiel.
- Phan, T. T. H., Hammann, M., & Bayrhuber, H. (2004). *Testing levels of competencies in experimentation*. Paper presented at the Fifth conference of European Researchers in Didactics of Biology: ERIDOB 2004.

- Prenzel, M. (2001). Motiviertes Lernen im Studium - Wissensstand und Impulse. In U. Hameyer & S. Dombrowsky (Eds.), *Hochschuldidaktische Impulse: Materialien zum Forschenden Lernen in der Lehrerbildung* (pp. 13-27). Kiel: Körner Verlag.
- Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E., et al. (Eds.). (2007). *PISA 2006: Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie*. Münster: Waxmann.
- Puthz, V. (1988). Experiment oder Beobachtung? *Unterricht Biologie*, 132, 11-13.
- Radatz, H. (1980). *Fehleranalyse im Mathematikunterricht*. Braunschweig: Vieweg.
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 69-79). Berlin: Springer.
- Rollett, B. (1999). Auf dem Weg zu einer Fehlerkultur: Anmerkungen zur Fehlertheorie von Fritz Oser. In W. Althof (Ed.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (pp. 71-87). Opladen: Leske + Budrich.
- Rubba, P. A., & Andersen, H. O. (1978). Development of an instrument to assess secondary school students' understanding of the Nature of Science knowledge. *Science Education*, 62(4), 449-458.
- Rumann, S. (2005). *Kooperatives Arbeiten im Chemieunterricht*. Berlin: Logos-Verlag.
- Sandoval, W. A., & Reiser, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 345-372.
- Sarris, V. (1992). *Methodologische Grundlagen der Experimentalpsychologie: Versuchsplanung und Stadien des psychologischen Experiments*. München: E. Reinhardt.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 32(1), 102-119.
- Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R., Schulze, S., & John, J. (1995). Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *Journal of the learning sciences*, 4(2), 131-166.
- Schauble, L., Klopfer, L., E., & Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 859-882.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of Nature of Science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between Nature of Science and Scientific Inquiry. *Science Education*, 88, 610-645.
- Seidel, T., Prenzel, M., Wittwer, J., & Schwindt, K. (2007). Unterricht in den Naturwissenschaften. In M. Prenzel, C. Artelt, J. Baumert, W. Blum, M. Hammann, E. Klieme & R. Pekrun (Eds.), *PISA 2006: Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie* (pp. 147-179). Münster: Waxmann.
- Simon, H. A. (1999). Problem Solving. In R. A. Wilson (Ed.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (pp. 674-676). Cambridge: MIT.
- Sodian, B., Zaitchik, D., & Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child Development*, 62, 753-766.
- Spychiger, M., Oser, F., Hascher, T., & Mahler, F. (1999). Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule. In W. Althof (Ed.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (pp. 43-70). Opladen: Leske + Budrich.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, 4(3), 231-240.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tschirgi, J. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.

-
- Wahl, D. (2006). Ergebnisse der Lehr-Lern-Psychologie. from http://www.dblernen.de/docs/Wahl_Ergebnisse-der-Lehr-Lern-Psychologie.pdf
- Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.
- Weinert, F. E. (1999). Aus Fehlern lernen und Fehler vermeiden lernen. In W. Althof (Ed.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (pp. 101-109). Opladen: Leske + Budrich.
- White, R. T. (1988). *Learning science*. Oxford: Basil Blackwell Ltd.
- Wills, A. J., Lavric, A., Croft, G., & Hodgson, T. L. (2007). Predictive learning, prediction errors and attention: Evidence from event-related potentials and eye tracking. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 843-854.
- Witt, J., & Witt, T. (2006). *Der kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP): Konzept - System - Maßnahmen*. München: Sauer.

7 Anhang

A Testinstrumente der Hauptstudie

A1 Methodenwissenstest

A1.1 Unit Samenkeimung

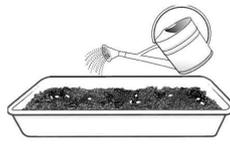
Samenkeimung



Aufgabe 1

Jan macht ein Experiment zur Samenkeimung. Er verwendet dafür drei Töpfe mit Erde. Er säht in die Töpfe Bohnensamen aus und stellt sie ins Licht. Topf 1 und 3 werden gewässert, Topf 2 jedoch nicht. Außerdem sorgt Jan bei Topf 1 und 2 für eine Temperatur von 22°C, bei Topf 3 sind es 10°C.

Topf 1



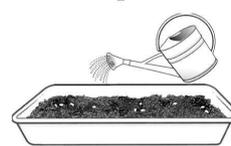
Erde / Wasser/
Licht/ 22°C

Topf 2



Erde / kein Wasser/
Licht/ 22°C

Topf 3



Erde / Wasser/
Licht/ 10°C

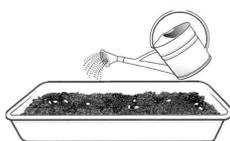
Warum macht Jan dieses Experiment?

- A Weil er vermutet, dass Wärme und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.
- B Weil er vermutet, dass Wärme und Wasser für die Samenkeimung notwendig sind.
- C Weil er die Samen dazu bringen will, schneller auszukeimen.
- D Weil er vermutet, dass Wasser und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.

Aufgabe 2

Laura möchte untersuchen, wie wichtig **Erde** und **Wärme** für die Samenkeimung sind. Sie vermutet, dass Samen Erde brauchen um zu keimen und dass sie Wärme brauchen um zu keimen.

Topf 1



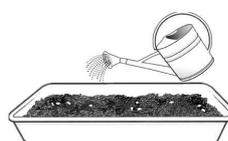
Erde /Wasser
Licht/ 22°C

Topf 2



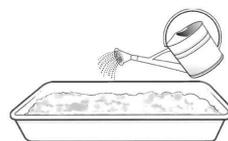
keine Erde/
kein Wasser/
kein Licht/
10°C

Topf 3



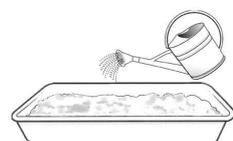
Erde /Wasser
Licht/ 10°C

Topf 4



keine Erde/
Wasser/
Licht/ 22°C

Topf 5



Keine Erde /
Wasser
Licht/ 10°C

Welche Töpfe muß Laura vergleichen, um ihre Vermutungen zu überprüfen?

- A Topf 1, Topf 3, Topf 4 und Topf 5
- B Topf 1, Topf 3 und Topf 4
- C Topf 1 und Topf 5
- D Topf 1 und Topf 2

Aufgabe 3

Julius macht auch ein Experiment zur Samenkeimung. Er verwendet dafür drei Töpfe mit Erde. Er sät Bohnensamen in die Töpfe aus. Zwei Töpfe stellt er ins Licht (Topf 1 und 2), den dritten Topf hält er im Dunkeln (Topf 3). Außerdem sorgt er für 22 °C bei Topf 1 und 3, bei Topf 2 jedoch für 12 °C.

**Warum macht Julius dieses Experiment?**

- A Weil er die Samen dazu bringen will, möglichst schnell auszukeimen.
- B Weil er vermutet, dass Wärme und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.
- C Weil er vermutet, dass Wasser und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.
- D Weil er vermutet, dass Wärme und Wasser für die Samenkeimung notwendig sind.

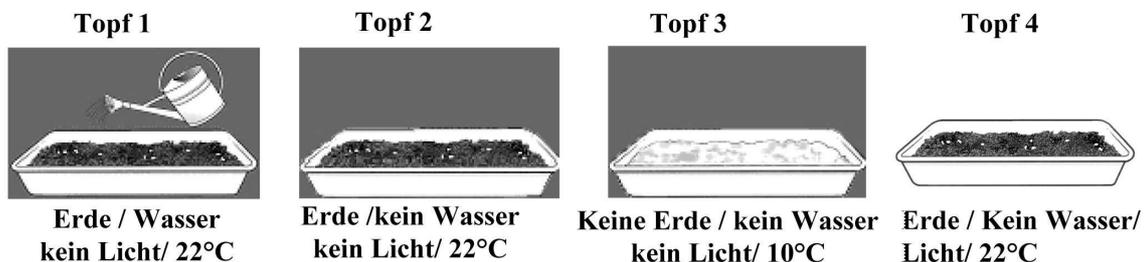
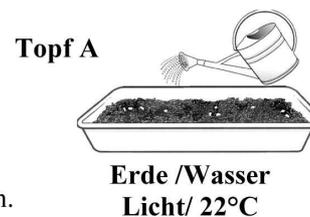
Aufgabe 4

Luis möchte untersuchen, wie wichtig **Wasser** und **Licht** für die Samenkeimung sind. Er vermutet, dass Samen Wasser brauchen um zu keimen und dass sie Licht brauchen um zu keimen.

Er plant ein Experiment, um diese Vermutungen zu überprüfen.

Er legt Bohnensamen in einen Topf mit Erde, gießt sie regelmäßig und sorgt für eine Temperatur von 22 °C und Licht.

Luis hat noch weitere Töpfe, die er mit Topf A vergleichen kann.



Womit muß Luis Topf A vergleichen, um seine Vermutung zu überprüfen?

- | | |
|-------------------|----------|
| A Topf 1 und 4 | C Topf 2 |
| B Topf 1, 2 und 4 | D Topf 3 |

A1.2 Unit Hühnereier

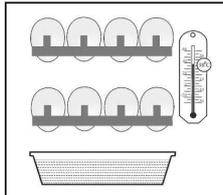
Kleine Küken



Aufgabe 1

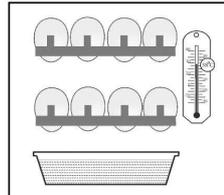
Landwirt Bell züchtet Hühner. Er macht ein Experiment mit Eiern und drei Brutkästen. In alle Brutkästen legt er braune mittelgroße Hühnereier. Die Temperatur in Brutkasten 1 und 3 beträgt 38°C. In Brutkasten 2 beträgt die Temperatur 41°C. Außerdem ist in Brutkasten 1 und 2 feuchte Luft. In Brutkasten 3 ist trockene Luft. Dies ist in den Abbildungen zu sehen.

Brutkasten 1



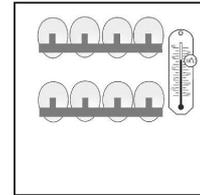
mittelgroß/braun/
feuchte Luft/ 38°C

Brutkasten 2



mittelgroß/braun/
feuchte Luft/ 41°C

Brutkasten 3



mittelgroß/braun/
trockene Luft/ 38°C

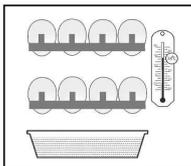
Warum macht Landwirt Bell dieses Experiment?

- A Weil er vermutet, dass viele Bedingungen notwendig sind, um Eier schnell auszubrüten.
- B Weil er vermutet, dass die Eigröße und die Luftfeuchtigkeit das Ausbrüten der Eier beeinflussen.
- C Weil er vermutet, dass die Temperatur und Eigröße für das schnelle Ausbrüten wichtig sind.
- D Weil er vermutet, dass Temperatur und Luftfeuchtigkeit das Ausbrüten der Eier beeinflussen.

Aufgabe 2

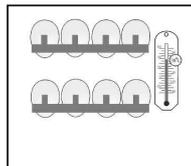
Landwirt Bell möchte herausfinden, wie wichtig die **Eigröße** und **Luftfeuchtigkeit** beim Ausbrüten der Eier sind. Er vermutet, dass sich kleinere Eier schneller ausbrüten lassen als große Eier und dass sich Eier bei trockener Luft schneller ausbrüten lassen als bei feuchter Luft.

Brutkasten 1



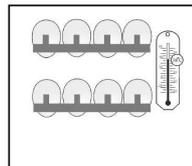
große Eier/
weiß/
feuchte Luft/
41°C

Brutkasten 2



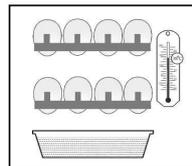
Kleine Eier/
braun/
trockene Luft/
38°C

Brutkasten 3



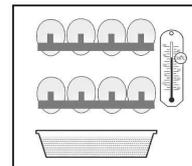
Große Eier/
braun/
trockene Luft/
38°C

Brutkasten 4



Kleine Eier/
braun/
feuchte Luft/
38°C

Brutkasten 5



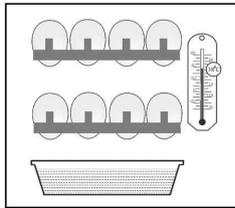
Große Eier/
braun/
feuchte Luft/
38°C

Welche der Brutkästen muß Landwirt Bell vergleichen, um seine Vermutung zu überprüfen?

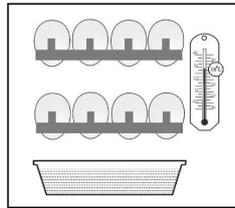
- A Brutkasten 1 und 2
- B Brutkasten 2, 3 und 4
- C Brutkasten 2 und 5
- D Brutkasten 2, 3, 4 und 5

Aufgabe 3

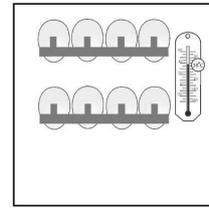
Seine Nachbarin, Landwirtin Doll macht ein anderes Experiment mit drei Brutkästen und kleinen Eiern. In Brutkasten 1 und 3 sind die Eier braun, in Brutkasten 2 sind sie weiß. Außerdem ist in Brutkasten 1 und 2 die Luft feucht, in Brutkasten 3 ist trockene Luft. Dies ist in den Abbildungen zu sehen.

Brutkasten 1

**kleine Eier/ braun/
38°C/ feuchte Luft**

Brutkasten 2

**kleine Eier/ weiß/
38°C/ feuchte Luft**

Brutkasten 3

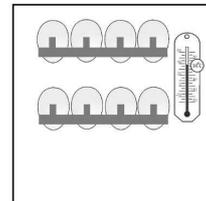
**kleine Eier/ braun/
38°C/ trockene Luft**

Warum macht Landwirtin Doll dieses Experiment?

- A** Weil sie vermutet, dass die Temperatur und Farbe der Eier das Ausbrüten der Eier beeinflussen.
- B** Weil sie vermutet, dass viele Bedingungen notwendig sind, um Eier schnell auszubrüten.
- C** Weil sie vermutet, dass Farbe der Eier und Luftfeuchtigkeit das Ausbrüten der Eier beeinflussen.
- D** Weil sie vermutet, dass Temperatur und Luftfeuchtigkeit bestimmen, wie schnell sich Eier ausbrüten lassen.

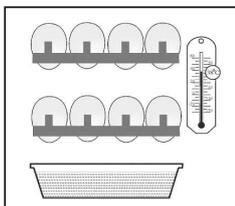
Aufgabe 4

Frau Doll möchte untersuchen, wie wichtig die **Temperatur** und die **Luftfeuchtigkeit** für das Ausbrüten von Eiern sind. Sie vermutet, dass Küken später schlüpfen, wenn im Brutkasten eine niedrige Temperatur ist, und dass sie später schlüpfen, wenn dort eine niedrige Luftfeuchtigkeit sind. Sie legt kleine braune Eier in einen Brutkasten mit 38°C und trockener Luft (Brutkasten A).

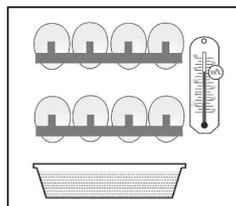
Brutkasten A

**Kleine Eier/
braun/ 38°C/
trockene
Luft**

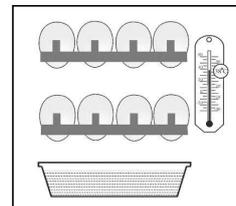
Sie hat noch weitere Brutkästen, die sie mit Brutkasten A vergleichen kann.

Brutkasten 1

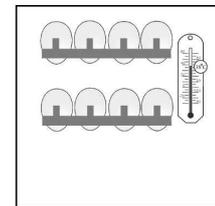
**Große Eier/ weiß/
41°C/ feuchte Luft**

Brutkasten 2

**Kleine Eier/ braun/
38°C/ feuchte Luft**

Brutkasten 3

**Kleine Eier/ braun/
41°C/ feuchte Luft**

Brutkasten 4

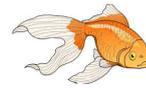
**Kleine Eier/ braun/
41°C/ trockene Luft**

Womit muss Frau Doll Brutkasten A vergleichen, um ihre Vermutung zu überprüfen?

- A** Brutkasten 2, 3 und 4
- B** Brutkasten 3
- C** Brutkasten 2 und 4
- D** Brutkasten 1

A1.3 Unit Fischatmung

Atmung der Fische



Aufgabe 1

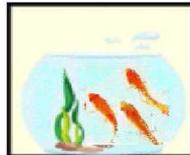
Laura macht ein Experiment zur Atmung der Fische. Dazu setzt sie Goldfische in drei Aquarien mit je 5 l Wasser, und zwar je einen Fisch in Aquarium 1 und 3 und drei Fische in das Aquarium 2. Alle Fische sind gleich groß. Die Wassertemperatur beträgt in den Aquarien 1 und 2 20°C und in Aquarium 3 10°C. In jedem Aquarium befindet sich eine Wasserpflanze (dies ist in den Abbildungen zu sehen). Nach einiger Zeit beobachtet Laura an der Bewegung der Kiemendeckel, wie häufig die Fische pro Minute atmen.

Aquarium 1



5 Liter Wasser/ 20°C
1 Wasserpflanze/
1 Goldfisch

Aquarium 2



5 Liter Wasser/ 20°C
1 Wasserpflanze /
3 Goldfische

Aquarium 3



5 Liter Wasser/ 10°C
1 Wasserpflanze /
1 Goldfisch

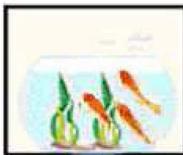
Warum machte Laura dieses Experiment?

- A Weil sie vermutet, dass die Zahl der Wasserpflanzen und die Zahl der Fische im Aquarium einen Einfluss darauf haben, wie schnell die Fische atmen.
- B Weil sie vermutet, dass die Zahl der Fische und die Wassertemperatur im Aquarium einen Einfluss darauf haben, wie schnell die Fische atmen.
- C Weil sie dafür sorgen will, dass die Fische in den drei Aquarien schnell atmen können.
- D Weil sie vermutet, dass die Wassertemperatur und die Wassermenge im Aquarium einen Einfluss darauf haben, wie schnell die Fische atmen.

Aufgabe 2

Lena möchte herausfinden, wie wichtig die **Wassermenge** und die **Anzahl der Fische** für die Fischatmung sind. Sie vermutet, dass Fische bei wenig Wasser schneller atmen als bei viel Wasser, und dass Fische schneller atmen, je mehr Fische im Aquarium sind.

Aquarium 1



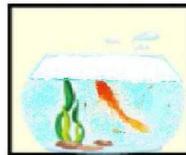
3 Liter Wasser/
10°C/
2 Wasserpflanzen/
3 Goldfische

Aquarium 2



3 Liter Wasser/
20°C/
1 Wasserpflanze /
3 Goldfische

Aquarium 3



3 Liter Wasser/
20°C/
1 Wasserpflanze/
1 Goldfisch

Aquarium 4



5 Liter Wasser/
20°C/
1 Wasserpflanze /
1 Goldfisch

Aquarium 5



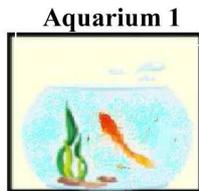
5 Liter Wasser/
20°C/
1 Wasserpflanzen /
3 Goldfische

Welche der Aquarien muss Lena vergleichen, um ihre Vermutung zu überprüfen?

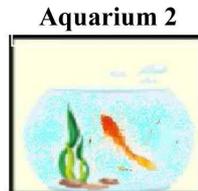
- A Aquarium 1 und 4
- B Aquarium 2 und 4
- C Aquarium 3, 4 und 5
- D Aquarium 2, 3, 4 und 5

Aufgabe 3

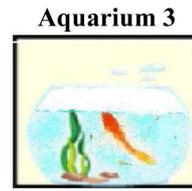
Chris macht auch ein Experiment zur Fischatmung. Er setzt je einen Goldfisch in drei Aquarien. In jedem Aquarium befindet sich eine Wasserpflanze. Aquarium 1 und 2 enthalten je 5 l Wasser, Aquarium 3 enthält 3 l Wasser. In Aquarium 1 und 3 beträgt die Wassertemperatur 20°C und in Aquarium 2 10°C (dies ist in den Abbildungen zu sehen). Nach einiger Zeit beobachtet Chris an der Bewegung der Kiemendeckel, wie häufig die Fische pro Minute atmen.



**5 Liter Wasser/ 20°C
1 Wasserpflanze/
1 Goldfisch**



**5 Liter Wasser/ 10°C
1 Wasserpflanze /
1 Goldfisch**



**3 Liter Wasser/ 20°C
1 Wasserpflanze /
1 Goldfisch**

Warum machte Chris dieses Experiment?

- A Weil er vermutet, dass viele Faktoren notwendig sind, damit Fische in einem Aquarium gut atmen können.
- B Weil er vermutet, dass die Zahl der Fische und die Wassertemperatur im Aquarium einen Einfluss darauf haben, wie schnell die Fische atmen.
- C Weil er vermutet, dass die Zahl der Wasserpflanzen und die Wassermenge einen Einfluss darauf haben, wie schnell die Fische atmen.
- D Weil er vermutet, dass die Temperatur und die Wassermenge im Aquarium einen Einfluss darauf haben, wie schnell die Fische atmen.

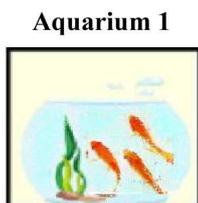
Aufgabe 4

Jakob möchte herausfinden, wie wichtig die **Anzahl der Fische** und die **Temperatur** für die Fischatmung sind.

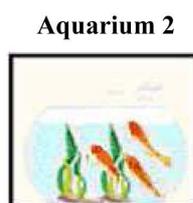
Er vermutet, dass 5 Fische in einem Aquarium schneller atmen als 3 Fische, und dass Fische schneller atmen, je wärmer das Wasser im Aquarium ist. Er hat ein Aquarium mit 5 l Wasser, das 20 °C warm ist. Darin befinden sich 1 Wasserpflanze und 1 Goldfisch (Aquarium A).

**Aquarium A**

**5 Liter Wasser/
20°C/
1 Wasserpflanze /
1 Goldfisch**



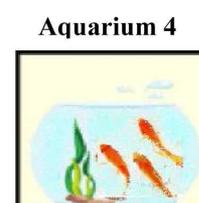
**5 Liter Wasser/ 10°C/
1 Wasserpflanze/
3 Goldfische**



**3 Liter Wasser/ 10°C/
2 Wasserpflanzen/ 3
Goldfische**



**5 Liter Wasser/10°C/
1 Wasserpflanze/
1 Goldfisch**



**5 Liter Wasser/ 20°C/
1 Wasserpflanze /
3 Goldfische**

Mit welchem Aquarium muss Jakob Aquarium A vergleichen, um seine Vermutung zu überprüfen?

- A Aquarium 1
- B Aquarium 1, 3 und 4
- C Aquarium 3 und 4
- D Aquarium 2

A1.4 Unit Apfelwein

Apfelwein



Aufgabe 1

Dennis interessiert sich für die Herstellung von Apfelwein. Er benutzt drei gleich große Gefäße, gießt naturtrüben Apfelsaft hinein und fügt Zucker hinzu. In die Gefäße 1 und 2 füllt er weniger Zucker als in das Gefäß 3. Gefäß 1 und 3 werden bei einer Raumtemperatur von 20°C aufbewahrt, Gefäß 2 bei 45°C. Alle drei Gefäße besitzen einen speziellen Verschluss, der verhindert, dass Luft von außen in das Gefäß kommt. Die Tabelle zeigt, wie Dennis vorgeht.

Zutaten	Gefäß 1	Gefäß 2	Gefäß 3
Apfelsaft	naturtrüb	naturtrüb	naturtrüb
Temperatur	20°C	45°C	20°C
Zucker	450g	450g	900g
Kann Luft von außen in das Gefäß gelangen?	nein	nein	nein

Warum macht Dennis dieses Experiment?

- A Weil er vermutet, dass die Weinherstellung von der Temperatur und der Zuckermenge abhängt.
- B Weil er vermutet, dass die Außenluft und die Temperatur die Weinherstellung beeinflussen.
- C Weil er sichergehen will, dass in den drei Gefäßen guter Apfelwein entsteht.
- D Weil er vermutet, dass die Zuckermenge und der Außenluft die Weinherstellung beeinflussen.

Aufgabe 2

Dennis Vater möchte untersuchen, wie wichtig **Hefe** und die **Zuckermenge** für die Herstellung von Apfelwein sind. Er vermutet, dass die Zugabe von Hefe notwendig ist, um Wein aus Apfelsaft herzustellen, und dass 900 g Zucker notwendig sind, um Wein aus Apfelsaft herzustellen. Um seine Vermutung zu überprüfen, plant er ein Experiment.

Zutaten	Gefäß 1	Gefäß 2	Gefäß 3	Gefäß 4	Gefäß 5
Apfelsaft	naturtrüb	naturtrüb	klar	naturtrüb	naturtrüb
Temperatur	20°C	20°C	40°C	20°C	20°C
Zucker	900g	450g	450g	900g	450g
Hefe	ja	nein	nein	nein	ja
Kann Luft von außen in das Gefäß gelangen?	nein	nein	ja	nein	nein

Welche Gefäße muß Dennis Vater vergleichen, um seine Vermutung zu überprüfen?

- A Gefäß 1, Gefäß 2, Gefäß 4 und Gefäß 5
- B Gefäß 1, Gefäß 4 und Gefäß 5
- C Gefäß 1 und Gefäß 3
- D Gefäß 1 und Gefäß 2

Aufgabe 3

Carola macht auch Experimente mit Apfelwein. Sie benutzt drei gleich große Gefäße, gießt naturtrüben Apfelsaft hinein und fügt Zucker hinzu. In die Gefäße 1 und 2 füllt sie weißen Zucker, in Gefäß 3 Traubenzucker. Gefäß 1 und 3 besitzen einen speziellen Verschluss, der verhindert, dass Luft von außen in das Gefäß kommt. In Gefäß 2 kann Luft eindringen. Alle Gefäße werden bei 20°C aufbewahrt. Die Tabelle zeigt, wie Carola vorgeht.

Zutaten	Gefäß 1	Gefäß 2	Gefäß 3
Apfelsaft	naturtrüb	naturtrüb	naturtrüb
Temperatur	20°C	20°C	20°C
Zuckerart	weißen Zucker	weißen Zucker	Traubenzucker
Zuckermenge	450g	450g	450g
Kann Luft von außen in das Gefäß gelangen?	nein	ja	nein

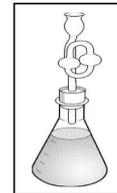
Warum macht Carola dieses Experiment?

- A Weil sie vermutet, dass viele Zutaten notwendig sind, um guten Apfelwein herzustellen.
 B Weil sie vermutet, dass die Außenluft und die Zuckerart die Weinherstellung beeinflussen.
 C Weil sie vermutet, dass die Weinherstellung von der Temperatur und der Zuckerart abhängt.
 D Weil sie vermutet, dass die Außenluft und die Temperatur die Weinherstellung beeinflussen.

Aufgabe 4

Stefan möchte untersuchen, wie wichtig die **Außenluft** und die **Temperatur** für die Herstellung von Apfelwein sind. Er vermutet, dass ohne Außenluft besser Apfelwein erzeugt werden kann als mit Außenluft, und dass mit niedrigen Temperaturen besser Apfelwein erzeugt werden kann als mit höheren Temperaturen.

Er plant ein Experiment, um seine Vermutung zu überprüfen. Er gießt Apfelsaft in ein Gefäß, und gibt 200g weißen Zucker dazu. Das Gefäß hat einen speziellen Verschluss, so dass keine Luft von außen eindringen kann, und wird bei 20°C aufbewahrt (Gefäß A).

**Gefäß A**

weißer Zucker: 200g
 Temperatur: 20°C,
 keine Luft von außen

Stefan hat noch weitere Gefäße, die er mit Gefäß A vergleichen kann:

Gefäß 1	Gefäß 2	Gefäß 3	Gefäß 4
weißer Zucker	weißer Zucker	Traubenzucker	weißer Zucker
200g	200g	400g	200g
40°C	20°C	40°C	40°C
Luft von außen	Luft von außen	Luft von außen	keine Luft von außen

Womit muß Stefan Gefäß A vergleichen, um seine Vermutung zu überprüfen?

- A Gefäß 1
 B Gefäß 2 und Gefäß 4
 C Gefäß 1, Gefäß 2 und Gefäß 4
 D Gefäß 3

A2 Epistemologiewissenstest

Name: _____

Bitte kreise die richtigen Lösungen ein, so wie es in dem Beispiel gezeigt wird.
Du musst alle Aussagen bearbeiten. **Das heißt: Bei jeder Aussage muss Ja oder Nein umkreist werden.**

Beispiel:

Welche der folgenden Aussagen über Tomaten ist richtig?

Aussage	Ja oder Nein?
Tomaten wachsen an Sträuchern.	<input checked="" type="radio"/> Ja / <input type="radio"/> Nein
Tomaten brauchen kein Wasser zum Wachsen.	Ja / <input checked="" type="radio"/> Nein

(1) Warum machen Biologen naturwissenschaftliche Experimente?

Aussage	Ja oder Nein?
weil sie neues Wissen über einen Naturvorgang gewinnen wollen	Ja / Nein
weil sie bekanntes Wissen für andere Wissenschaftler darstellen wollen	Ja / Nein
weil sie eine bestimmte Frage ganz gezielt untersuchen wollen	Ja / Nein
weil sie ihr vorhandenes Wissen über einen Vorgang überprüfen wollen	Ja / Nein
weil sie ein vorher bestimmtes Ergebnis erreichen wollen	Ja / Nein

(2) Welche Ziele haben Biologen, wenn sie Experimente machen?

Aussage	Ja oder Nein?
möglichst viele Fragestellungen gleichzeitig zu untersuchen	Ja / Nein
ein vorher bestimmtes Ergebnis im Experiment zu erzielen	Ja / Nein
möglichst viele Bestandteile gleichzeitig zu untersuchen	Ja / Nein
eine bestimmte Vermutung über einen Vorgang zu überprüfen	Ja / Nein
ihr Wissen durch die Ergebnisse des Experiments zu bestätigen	Ja / Nein

(3) Was machen Biologen am Ende eines Experiments, wenn sie alle Messergebnisse vorliegen haben?

Aussage	Ja oder Nein?
Sie legen fest, welche Fragestellung das Experiment untersucht hat.	Ja / Nein
Sie vergleichen, ob sie die Ergebnisse vor dem Experiment erwartet hatten.	Ja / Nein
Sie teilen die Messwerte in gute und schlechte Ergebnisse auf.	Ja / Nein
Sie überlegen, ob ihr Wissen durch die Ergebnisse widerlegt wurden.	Ja / Nein
Sie legen fest, welches Ziel das Experiment verfolgt hat.	Ja / Nein

(4) Wenn ein Experiment erwartete Ergebnisse bringt...

Aussage	Ja oder Nein?
... wurden keine Fehler bei der Durchführung des Experiments gemacht.	Ja / Nein
... kann aus den Ergebnissen dennoch Wissen gewonnen werden.	Ja / Nein
... wurden die besten Ergebnisse aus dem Experiment ausgewählt.	Ja / Nein
... sollte man das Experiment wiederholen, um die Ergebnisse zu bestätigen.	Ja / Nein
... funktioniert das Experiment gut und sollte nicht verändert werden.	Ja / Nein

(5) Was machen Biologen, wenn ein Experiment unerwartete Ergebnisse bringt?

Aussage	Ja oder Nein?
Sie wiederholen das gleiche Experiment, bis die Ergebnisse richtig sind.	Ja / Nein
Sie verändern das Experiment so lange, bis die Ergebnisse richtig sind.	Ja / Nein
Sie ändern ihr bisheriges Wissen anhand der unerwarteten Ergebnisse ab.	Ja / Nein
Sie machen ein anderes Experiment, das hoffentlich besser funktioniert.	Ja / Nein
Sie suchen den Fehler, der die Ergebnisse verfälscht haben muss.	Ja / Nein

(6) Was wäre ein Fehler beim Experimentieren?

Aussage	Ja oder Nein?
wenn man mehrere Bestandteile eines Naturvorgangs gleichzeitig untersucht	Ja / Nein
wenn die Ergebnisse eines Experiments anders sind als erwartet	Ja / Nein
wenn man ein bestimmtes Ergebnis mit dem Experiment erreichen will	Ja / Nein
wenn man vor dem Experiment keine Erwartungen über die Ergebnisse festlegt	Ja / Nein
wenn man alle Messungen vollständig bereits vor der Durchführung plant	Ja / Nein

(7) Was müssen Biologen bereits VOR der Durchführung eines Experiments festlegen?

Aussage	Ja oder Nein?
welche Ergebnisse das Experiment ihrer Erwartung nach haben wird	Ja / Nein
welche Fragestellung sie mit dem Experiment untersuchen wollen	Ja / Nein
welches Experiment anschließend durchgeführt werden soll	Ja / Nein
welche Ergebnisse sie akzeptieren bzw. nicht akzeptieren können	Ja / Nein
wie sie die einzelnen Messungen im Experiment genau durchführen wollen	Ja / Nein

(8) Wann ist ein Experiment besonders gut?

Aussage	Ja oder Nein?
wenn alle Messergebnisse geplant sind und nicht durch Zufall entstehen	Ja / Nein
wenn es nur einen einzelnen Bestandteil eines Vorgangs zur Zeit untersucht	Ja / Nein
wenn es möglichst viele Bestandteile eines Vorgangs auf einmal untersucht	Ja / Nein
wenn es eine deutliche Vorführung von bekanntem Wissen ist	Ja / Nein
wenn die Messergebnisse des Experiments den Erwartungen entsprechen	Ja / Nein

A3 Verständnistest (Vortest)**A3.1 Selbständiges Planen eines Experiments mit zwei Testfaktoren****Wie planst Du ein Experiment?**

- (1) Sina möchte an sich selbst überprüfen, ob **körperliche Bewegung** und die **Tageszeit** den Herzschlag verändern.

Sie hat zur Verfügung: einen Stuhl
 ein Springseil
 ein Pulsmessgerät

Beschreibe ein Experiment, mit dem Sina überprüfen kann, ob körperliche Bewegung und die Tageszeit den Herzschlag verändern.

Beschreibung: _____

Begründe kurz, warum Du das Experiment so planst.

A3.2 Erkennen von Konfundierungen

Was hältst Du von diesen Experimenten?

(2) Max und Anna haben beide Experimente zum Herzschlag gemacht, in denen sie sich selbst untersucht haben.

Max	Ansatz 1	Ansatz 2
körperliche Aktivität	in Ruhe	nach 20 Kniebeugen
Hunger	satt	hungrig
Alter	13	13



Puls	84	95
------	----	----

⇒ **Max Schlussfolgerung:** Hunger und körperliche Bewegung beschleunigen den Herzschlag

Anna	Ansatz 1	Ansatz 2
körperliche Aktivität	in Ruhe	in Ruhe
Hunger	satt	hungrig
Alter	13	13



Puls	84	84
------	----	----

⇒ **Annas Schlussfolgerung:** Hunger hat keinen Einfluss auf den Herzschlag

Warum kommen Max und Anna zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen? Kreuze die richtige Antwort an und vervollständige den Satz.

- Max hat etwas falsch gemacht, und zwar...
- Anna hat etwas falsch gemacht, und zwar...
- Beide haben etwas falsch gemacht, und zwar...
- Niemand hat etwas falsch gemacht, aber...

A4 Verständnistest (Nachtest)**A4.1 Selbständiges Planen eines Experiments mit drei Testfaktoren****Wie planst Du ein Experiment?**

- (1) Sina möchte überprüfen, ob die Faktoren **Wasser, Wärme und Licht** für die Samenkeimung notwendig sind.

Sie hat zur Verfügung:

- Bohnsamen
- Blumentöpfe
- Pappschachteln
- Erde
- Watte
- Wasser mit Kohlensäure
- Wasser ohne Kohlensäure
- helle Gewächshäuser, bei denen man die Temperatur frei einstellen kann
- dunkle Gewächshäuser, bei denen man die Temperatur frei einstellen kann
- Pflanzendünger
- Windmaschine

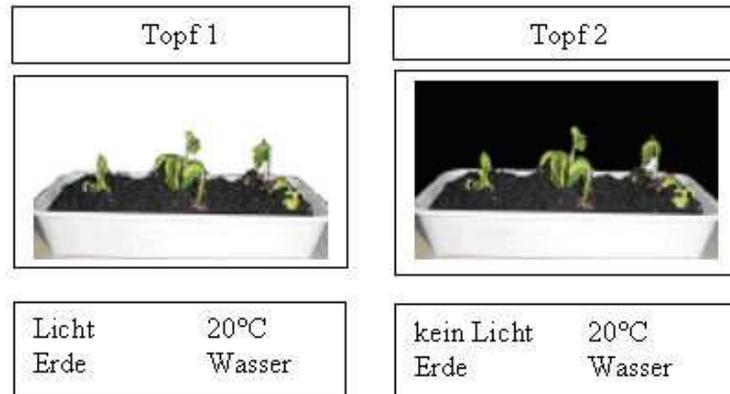
Beschreibe ein Experiment, mit dem Sina überprüfen kann, ob die Faktoren Wasser, Wärme und Licht für die Samenkeimung notwendig sind. Du kannst, aber musst nicht alles, was zur Verfügung steht, gebrauchen.

Begründe kurz, warum Du den Experimentaufbau so auswählst.

A4.2 Auswertung experimenteller Daten

Was hältst Du von diesen Experimenten?

- (2) Jannick ist davon überzeugt, dass die Faktoren **Licht** und **Wärme** für die Samenkeimung notwendig sind. Er fängt mit einem ersten Experiment an, um seine Überzeugung zu überprüfen:



Jannick zieht folgende Schlussfolgerung aus dem Experiment:

„Der Vergleich von Topf 1 und 2 zeigt, dass Licht für die Samenkeimung nicht notwendig ist, denn die Samen keimen sowohl mit Licht (Topf 1) als auch ohne Licht (Topf 2). Daher muss ich meine Überzeugung ändern: Das Experiment zeigt, dass für die Samenkeimung nicht Licht, sondern nur Erde, Wasser und Wärme notwendig sind.“

Was denkst Du über Jannicks Schlussfolgerung? Kreuze die richtige Antwort an und vervollständige den Satz.

- Jannicks Schlussfolgerung ist richtig, denn...
- Jannicks Schlussfolgerung ist nicht richtig, denn...

A4.3 Erkennen von Konfundierungen

- (3) Frau Dr. Harts von der Uni-Klinik in Kiel will ihren Studenten mit einem naturwissenschaftlichen Experiment zeigen, dass **das Herz bei Männern und Frauen unterschiedlich schnell schlägt**. Dazu hat sie den Pulsschlag ihrer männlichen Kollegen, Dr. Heiser und Dr. Stark, und ihrer zwei Töchter, Ina und Lisa, gemessen und in folgender Tabelle festgehalten:

Testpersonen	Herzschläge/Minute
Ina	85
Lisa	84
Herr Dr. Heiser	73
Herr Dr. Stark	75

Wie findest Du das Experiment? Zeigt es, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben? Kreuze die richtige Antwort an und vervollständige den Satz.

Das Experiment zeigt, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben, weil ...

Das Experiment zeigt nicht, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben, weil ...

B Verständnisaufgaben der Vorstudie (Aufgabenselektion)

B1.1 Experiment planen (1 Testfaktor)

- (1) Sina möchte an sich selbst überprüfen, ob körperliche Bewegung den Herzschlag beschleunigt.

Sie hat zur Verfügung: einen Stuhl
 ein Springseil
 ein Pulsmessgerät

**Beschreibe ein Experiment, mit dem Sina überprüfen kann, ob körperliche Bewegung den Herzschlag beschleunigt.
Begründe dabei auch kurz, warum Du das Experiment so planst.**

B1.1 Experiment planen (2 Testfaktoren)

- (1) Sina möchte an sich selbst überprüfen, ob körperliche Bewegung und die Tageszeit den Herzschlag verändern.

Sie hat zur Verfügung: einen Stuhl
 ein Springseil
 ein Pulsmessgerät

**Beschreibe ein Experiment, mit dem Sina überprüfen kann, ob körperliche Bewegung und die Tageszeit den Herzschlag verändern.
Begründe dabei auch kurz, warum Du das Experiment so planst.**

B2.1 Konfundierungen erkennen: ein konfundiertes Experiment

- (3) Max glaubt, dass Hunger und körperliche Bewegung den Herzschlag beschleunigen. Er macht ein erstes Experiment, um diese Vermutung zu überprüfen.

	Ansatz 1	Ansatz 2
körperliche Aktivität	in Ruhe	nach 20 Kniebeugen
Hunger	satt	hungrig
Alter	13	13

Fragestellung: Beschleunigen körperliche Bewegung und Hunger den menschlichen Herzschlag?



Puls	84	95
------	----	----

Nachdem er es ausgewertet hat, ist Max nicht ganz zufrieden mit dem Experiment.

Was denkst Du, warum er unzufrieden ist? Beschreibe genau, welches Experiment Max als nächstes machen müsste.

B2.2 Konfundierungen erkennen: Gegenüberstellung eines konfundierten und eines nicht konfundierten Experiments

- (1) Max und Anna haben beide Experimente zum Herzschlag gemacht, in denen sie sich selbst untersucht haben.

Max	Ansatz 1	Ansatz 2
körperliche Aktivität	in Ruhe	nach 20 Kniebeugen
Hunger	satt	hungrig
Alter	13	13



Puls	84	95
------	----	----

⇒ **Max Schlussfolgerung:** Hunger und körperliche Bewegung beschleunigen den Herzschlag

Anna	Ansatz 1	Ansatz 2
körperliche Aktivität	in Ruhe	in Ruhe
Hunger	satt	hungrig
Alter	13	13



Puls	84	84
------	----	----

⇒ **Annas Schlussfolgerung:** Hunger hat keinen Einfluss auf den Herzschlag

Warum kommen Max und Anna zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen? Kreuze die richtige Antwort an und vervollständige den Satz.

- Anna reagiert anders auf Hunger als Max, daher ...
- Max war vielleicht hungriger als Anna, daher ...
- Max hat etwas falsch gemacht, und zwar ...
- Anna hat etwas falsch gemacht, und zwar ...

B2.3 Konfundierung erkennen: versteckte Konfundierung

- (2) Frau Dr. Harts von der Uni-Klinik in Kiel will ihren Studenten mit einem naturwissenschaftlichen Experiment zeigen, dass das Herz bei Männern und Frauen unterschiedlich schnell schlägt. Dazu hat sie den Pulsschlag ihrer männlichen Kollegen, Dr. Heiser und Dr. Stark, und ihrer zwei Töchter, Ina und Lisa, gemessen und in folgender Tabelle festgehalten:

Testpersonen	Herzschläge/Minute
Ina	85
Lisa	84
Herr Dr. Heiser	73
Herr Dr. Stark	75

Wie findest Du das Experiment? Zeigt es, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben? Begründe Deine Antwort kurz.

Das Experiment zeigt, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben, weil ...

Das Experiment zeigt nicht, dass Männer einen niedrigeren Puls als Frauen haben, weil ...

B3 Umgang mit experimentellen Daten: anomale Daten

- (2) Uli glaubt, dass der Herzschlag von mehreren Faktoren abhängt, v.a. davon wie alt und hungrig eine Person ist, und ob sie sich gerade körperlich bewegt. Er macht mit sich selbst und seinem Vater folgendes Experiment:

	Ansatz 1	Ansatz 2	Ansatz 3	Ansatz 4
körperliche Aktivität	in Ruhe	in Ruhe	nach 20 Kniebeugen	in Ruhe
Hunger	satt	hungrig	satt	satt
Alter	40	40	40	13



Puls	75	75	87	84
------	----	----	----	----

Was folgt aus dem Experiment?

Was bedeutet das für Uli?

B4.1 Experiment planen (2 Testfaktoren)

(1) Sina möchte überprüfen, ob Wasser und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.

Sie hat zur Verfügung:

- Bohnsamen
- Blumentöpfe
- Pappschachteln
- Erde
- Watte
- Wasser mit Kohlensäure
- Wasser ohne Kohlensäure
- helle Gewächshäuser, bei denen man die Temperatur frei einstellen kann
- dunkle Gewächshäuser, bei denen man die Temperatur frei einstellen kann
- Düngemittel
- Windmaschine

Beschreibe ein Experiment, mit dem Sina überprüfen kann, ob Wasser und Licht für die Samenkeimung notwendig sind. Du kannst, aber musst nicht alles, was zur Verfügung steht, gebrauchen.

Begründe kurz, warum Du den Experimentaufbau so auswählst.

B4.2 Experiment planen (3 Testfaktoren)

(1) Sina möchte überprüfen, ob Wasser, Wärme und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.

Sie hat zur Verfügung:

- Bohnsamen
- Blumentöpfe
- Pappschachteln
- Erde
- Watte
- Wasser mit Kohlensäure
- Wasser ohne Kohlensäure
- helle Gewächshäuser, bei denen man die Temperatur frei einstellen kann
- dunkle Gewächshäuser, bei denen man die Temperatur frei einstellen kann
- Pflanzendünger
- Windmaschine

Beschreibe ein Experiment, mit dem Sina überprüfen kann, ob Wasser, Wärme und Licht für die Samenkeimung notwendig sind. Du kannst, aber musst nicht alles, was zur Verfügung steht, gebrauchen.

Begründe kurz, warum Du den Experimentaufbau so auswählst.

B5 Konfundierungen erkennen: versteckte Konfundierung

- (2) Sina hat von ihrem Bruder ein Paket Teststäbchen bekommen, mit denen man angeblich nachweisen kann, ob Vitamin C in einer Flüssigkeit enthalten ist. Sina weiß nicht recht, ob ihr Bruder sie damit angeschwindelt hat und möchte die Wirkung der Teststäbchen überprüfen. Bei Kontakt mit Vitamin C sollen die Teststäbchen ihre Farbe von weiß nach blau ändern.

Im Vorratsschrank ihrer Eltern findet sie Multivitamin-tabletten mit einem Etikett „mit extraviel Vitamin C“, so dass sie sicher sein kann, dass diese Vitamin C enthalten.

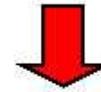
Sina prüft jeweils ein Teststäbchen mit folgenden Flüssigkeiten:

aufgelöste Multivitamin-tablette



Teststäbchen wird blau

Wasser

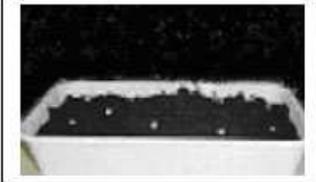


Teststäbchen bleibt weiß

Wie bewertest Du Sinas Test?

B6.1 Umgang mit experimentellen Daten: Mit-Strategie

- (2) Steffi hat folgendes Experiment zur Samenkeimung gemacht.

Topf 1		Topf 2		Topf 3	
					
Licht	20°C	kein Licht	6°C	kein Licht	20°C
Erde	Wasser	Erde	Wasser	Erde	Wasser

Sie zieht folgende Schlussfolgerung aus dem Experiment:

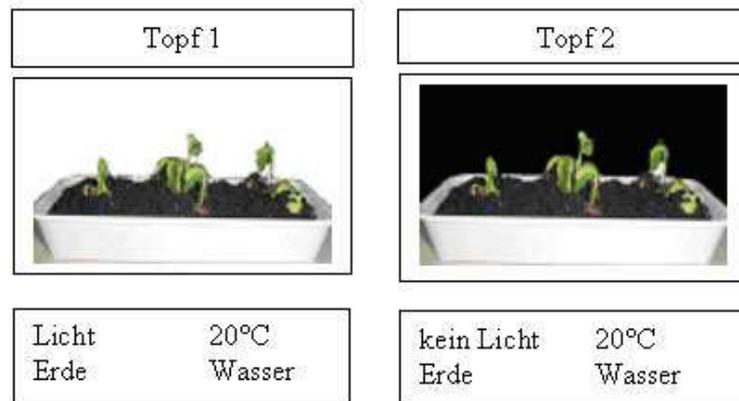
„Aus dem Ergebnis von Topf 1 schließe ich, dass Licht und Wärme für die Samenkeimung notwendig sind, denn mit Licht und Wärme da keimen die Samen. Topf 2 zeigt das auch, denn ohne Licht und Wärme keimen die Samen nicht. Und Topf 3 zeigt, dass Wärme für die Samenkeimung nötig ist. Insgesamt zeigt sich also, dass Licht und Wärme für die Samenkeimung notwendig sind.“

Hat Steffi Fehler in ihrer Schlussfolgerung gemacht?

Erkläre genau, welche Schlussfolgerung Du aus dem Experiments ziehst.

B6.2 Umgang mit experimentellen Daten: ungültige Schlussfolgerung

- (3) Jannick ist davon überzeugt, dass Licht und Wärme für die Samenkeimung notwendig sind. Er macht ein erstes Experiment, um seine Überzeugung zu überprüfen:



Jannick zieht folgende Schlussfolgerung aus dem Experiment:

„Der Vergleich von Topf 1 und 2 zeigt, dass Licht für die Samenkeimung nicht notwendig ist, denn die Samen keimen sowohl mit Licht (Topf 1) als auch ohne Licht (Topf 2). Daher muss ich meine Überzeugung ändern: für die Samenkeimung ist nicht Licht, sondern nur Erde, Wasser und Wärme notwendig.“

Was denkst Du über Jannicks Schlussfolgerung? Hat er alles richtig gemacht?

B7 Bewerten eines Experimentes ohne Kontrollansatz

In der Zeitung wird über ein Grippemedikament berichtet, das eine überragend gute Wirkung gegen Grippe haben soll. In dem Artikel wird folgende Begründung für die positive Bewertung des Medikaments gegeben:

Nur 0,8 % der 1000 Teilnehmer der Studie starben in der Grippewelle 2006! Sensationell! Ein wahres Wundermittel!

untersuchte Personen	1000 Erkrankte, die das Medikament genommen haben
davon haben die Grippewelle überlebt	99,2%
davon sind in der Grippewelle gestorben	0,8%

Warum sollten Dich diese Angaben noch nicht von der Wirkung des Medikaments überzeugen?

Was müsstest Du den Hersteller des Grippemedikaments fragen, um die Wirkung des Medikaments besser einschätzen zu können?

C Skalendokumentation

C1 Itemanalyse des Methodenwissenstests der Hauptstudie (vor Elimination von Items)

Items „Identifizieren von Hypothesen“	Nachttest			Vortest		
	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
S1	82,2	,402	.807	31,8	,190	.680
S3	78,8	,600	.783	46,9	,459	.622
K1	79,9	,570	.785	66,7	,242	.679
K3	69,9	,598	.780	48,1	,547	.596
F1	77,8	,510	.794	54,9	,376	.643
F3	71,2	,708	.761	61,3	,474	.614
A1	73,9	,284	.822	65,3	,240	.672
A3	70,4	,560	.786	60,4	,423	.628
Cronbachs Alpha	.812			.673		

Items „Planen von Experimenten“	Nachttest			Vortest		
	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
S2	41,1	,472	.753	24,6	,114	.603
S4	47,5	,427	.760	30,5	,304	.541
K2	28,1	,359	.772	10,8	,334	.535
K4	33,0	,591	.731	22,5	,351	.527
F2	24,3	,548	.741	20,8	,261	.555
F4	32,3	,558	.739	24,1	,390	.512
A2	34,7	,335	.776	20,3	,299	.543
A4	33,6	,547	.740	24,1	,256	.557
Cronbachs Alpha	.776			.580		

C2.1 Itemanalyse des Epistemologiewissenstests der 1. Vorstudie

Aufgabe	Nachttest		Vortest	
	mittlere Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	mittlere Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe
e1	59,1	,430	46,4	,126
e2	74,4	,459	70,9	,317
e3	77,3	,514	80,0	,469
e4	73,2	,402	71,5	,218
e5	65,2	,413	60,0	,283
e6	50,0	,239	52,2	,353
e7	72,6	,141	63,8	,175
e8	59,7	,359	55,2	,015
e9	75,2	,311	74,0	,199
e10	76,1	,331	72,6	,038
e11	72,7	,244	60,6	,241
Cronbachs Alpha	.693		.529	

C2.2 Itemanalyse Epistemologiewissenstest der 2. Vorstudie

Aufgabe	Vortest	
	mittlere Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe
e1	67,0	,269
e2	51,0	,218
e3	61,8	,275
e4	60,0	,239
e5	61,8	,351
e6	68,8	,290
e7	51,0	,185
e8	24,8	,117
e9	79,2	-,055
e10	70,2	,122
Cronbachs Alpha	.49	

C3 Kodierungssystem der Aufgaben zum selbstständigen Planen von Experimenten (Hauptstudie)

C3.1 Vortest (Experiment mit 2 Testfaktoren)

Vergleichsgedanke	
Score	Antwortkategorie
0	sonstiges biologische Erklärungen über den Untersuchungsgegenstand
1	Solitäransatz ohne Kontrollansatz
2	Parallelansätze, kein Vergleich benannt
3	impliziter Vergleich, expliziter Vergleich

Kontrollansatz	
Score	Antwortkategorie
0	sonstiges kein Kontrollansatz
1	Kontrollansatz nur für einen Faktor
2	Kontrollansatz vollständig

Variablenkontrolle	
Score	Antwortkategorie
0	sonstiges unsystematisch
1	nicht ersichtlich wegen Solitäransatz
2	konfundiert vollständige Variablenkontrolle, nur 1 Testfaktor berücksichtigt nur ein Faktor in jedem Ansatz berücksichtigt
3	vollständige Variablenkontrolle, 2 Testfaktoren berücksichtigt

C3.1 Nachtest (Experiment mit 3 Testfaktoren)

Vergleichsgedanke	
Score	Antwortkategorie
0	sonstiges biologische Erklärungen über den Untersuchungsgegenstand
1	Solitäransatz ohne Kontrollansatz
2	Parallelansätze, kein Vergleich benannt
3	impliziter Vergleich, expliziter Vergleich

Kontrollansatz	
Score	Antwortkategorie
0	sonstiges kein Kontrollansatz
1	change all-Ansätze
2	Kontrollansatz vollständig

Variablenkontrolle	
Score	Antwortkategorie
0	sonstiges unsystematisch nicht ersichtlich wegen Solitäransatz
1	konfundiert change all-Ansätze
2	vollständige Variablenkontrolle, nur 1 Testfaktor berücksichtigt nur ein Faktor in jedem Ansatz berücksichtigt
3	vollständige Variablenkontrolle, 2 Testfaktoren berücksichtigt
4	vollständige Variablenkontrolle, 3 Testfaktoren berücksichtigt

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit nach Inhalt und Form selbständig und – abgesehen von der Beratung durch meinen Betreuer Prof. Dr. Hammann – ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Ferner erkläre ich, dass ich zuvor noch keinen Promotionsversuch unternommen habe und dass die vorliegende Arbeit weder vollständig, noch in Teilen an anderer Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht worden ist.

Maike Ehmer

28. Mai 2008

Lebenslauf

Name Maike Ehmer
Adresse Lindenstraße 73
23558 Lübeck

Geburtstag 18.01.1976
Geburtsort Lübeck
Staatsangehörigkeit deutsch

Schullaufbahn

1982 - 1986 Grundschule Ratzeburg-Vortadt

1986 - 1995 Lauenburgische Gelehrtenschule, Ratzeburg
Abschluss: Abitur (Note: 1,6)

Ausbildung

1995 - 1998 Ausbildung zur Bankkauffrau bei der
Deutsche Bank Lübeck AG

anschließend Anstellung als Bankkauffrau bei der
Deutsche Bank Lübeck AG

Studium

10/1998 Beginn des Studiums der Biologie und Anglistik (LA Gym) an
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

09/2000 – 07/2001 Assistant Teacher an der Norwich High School for Girls in
Norwich, Großbritannien

02/2005 1. Staatsexamen in Biologie und Englisch (LA Gym, Note: 1,3)

seit 05/2005 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IPN, Kiel,
Promotionsstudentin