

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine Wissenschaftliche Hausarbeit, die an der Universität Kassel angefertigt wurde. Die hier veröffentlichte Version kann von der als Prüfungsleistung eingereichten Version geringfügig abweichen. Weitere Wissenschaftliche Hausarbeiten finden Sie hier: <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/handle/urn:nbn:de:hebis:34-2011040837235>

Diese Arbeit wurde mit organisatorischer Unterstützung des Zentrums für Lehrerbildung der Universität Kassel veröffentlicht. Informationen zum ZLB finden Sie unter folgendem Link:

[www.uni-kassel.de/zlb](http://www.uni-kassel.de/zlb)

Sven Wiegandt

**Strategieanwendung beim selbstregulierten Experimentieren  
in der Sekundarstufe I am Beispiel „Auftrieb in  
Flüssigkeiten“**

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen des 1. Staatsexamens für das Lehramt an Gymnasien in der  
Fachrichtung Erziehungswissenschaften.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung und Ziele der Arbeit .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Selbstreguliertes Experimentieren.....</b>	<b>8</b>
2.1	<b>Selbstreguliertes Lernen in offenen Lernumgebungen.....</b>	<b>8</b>
2.1.1	Wissensarten und die Qualität von Wissen .....	8
2.1.2	Lernen in offenen Lernumgebungen .....	12
2.1.3	Selbstreguliertes Lernen und die Bedeutung von Vorwissen und Motivation .....	13
2.1.4	Zusammenfassung .....	19
2.2	<b>Wissenschaftlich entdeckendes Lernen durch Experimentieren .....</b>	<b>21</b>
2.2.1	Entdeckendes Lernen.....	21
2.2.2	Scientific Discovery Learning.....	23
2.2.3	Strategien des Experimentierens im Rahmen des Scientific Discovery Learning .....	28
2.2.4	Aspekte der Selbstregulation beim Scientific Discovery Learning.....	31
2.2.5	Selbstreguliertes Experimentieren.....	33
2.3	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>Fragestellung.....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>Computerbasierte Lernumgebung.....</b>	<b>39</b>
4.1	Hypothesenraum als Flipchart .....	40
4.2	Experimenterraum als Labor.....	43
4.3	Verhaltensbasierte Maße .....	44
<b>5</b>	<b>Studie .....</b>	<b>46</b>
5.1	<b>Hypothesen .....</b>	<b>47</b>
5.1.1	Herleitung der Hypothesen.....	47
5.1.2	Formulierung der Hypothesen .....	48
5.2	<b>Stichprobe.....</b>	<b>49</b>
5.3	<b>Instrumente .....</b>	<b>49</b>
5.3.1	Systematisches Experimentieren .....	49
5.3.2	Deklaratives inhaltspezifisches Wissen (WET).....	50
5.3.3	Aktuelle Motivation (AMT) .....	51
5.4	<b>Durchführung .....</b>	<b>51</b>
5.5	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>54</b>
5.5.1	Statistisches Vorgehen.....	55
5.5.2	Bereinigung der Stichprobe .....	56
5.5.3	Deskriptiver Überblick .....	57
5.5.4	Befunde zur Unterschiedshypothese H1 .....	61
5.5.5	Befunde zu den Zusammenhangshypothesen H2, H3 und H4 .....	65

5.5.6	Zusammenfassung .....	70
<b>6</b>	<b>Zusammenfassende Diskussion .....</b>	<b>71</b>
6.1	Zusammenfassung .....	71
6.2	Diskussion .....	74
6.2.1	Theoretische Implikationen und Perspektiven. ....	74
6.2.2	Praktische Implikationen und Perspektiven .....	78
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>83</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1. Überblick und Zusammenhang der verschiedenen Wissensarten.....	11
Abbildung 2. Ein Modell des selbstregulierten Lernens. In Anlehnung an Baumert (1999). .....	15
Abbildung 3. Das Grundmodell der „klassischen“ Motivationspsychologie. In Anlehnung an Rheinberg (2000). .....	18
Abbildung 4. Prozesse des SDDS-Modells. In Anlehnung an Gößling (2010).....	27
Abbildung 5. Screenshot der computerbasierten Lernumgebung.....	41
Abbildung 6. Notieren von Zusammenhängen auf dem Flipchart.....	43
Abbildung 7. Untersuchungsdesign ELWmeta.....	53
Abbildung 8. Vereinfachtes Untersuchungsdesign der vorliegenden Arbeit.....	54

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1. Lage- und Streuungsparameter der gesamten Stichprobe.....	56
Tabelle 2. Deskriptive Statistik der gesamten Stichprobe .....	59
Tabelle 3. Deskriptive Statistik der 8. Jahrgangsstufe .....	59
Tabelle 4. Deskriptive Statistik der 9. Jahrgangsstufe .....	59
Tabelle 5. Strategiemasse der gesamten Stichprobe .....	60
Tabelle 6. Strategiemasse der 8. Jahrgangsstufe .....	62
Tabelle 7. Strategiemasse der 9. Jahrgangsstufe .....	62
Tabelle 8. Interkorrelationen in der gesamten Stichprobe .....	5-67
Tabelle 9. Interkorrelationen 8. Jahrgang .....	69
Tabelle 10. Interkorrelationen 9. Jahrgang .....	69

# 1 Einführung und Ziele der Arbeit

Moderne Bildung wird verstanden als das Aneignen unterschiedlicher Wissensarten und Basiskompetenzen mit deren Hilfe eine aktive Teilhabe am gesellschaftlichen Leben ermöglicht wird. Erst ein ausreichendes Maß an Wissen und Können schafft die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Berufsausbildung, für selbstbestimmtes und lebenslanges Lernen, gesellschaftliche Integration und politische Partizipation (Hessisches Kultusministerium, 2010). Insbesondere ist es Aufgabe der schulischen Bildung, Schülerinnen und Schüler auf ihre Zukunft, auf das Studium und den Beruf, sowie auf das gesellschaftliche Leben vorzubereiten. Die naturwissenschaftliche Bildung spielt dabei eine zentrale Rolle, denn erst ein umfassendes naturwissenschaftliches Grundwissen ermöglicht das Verstehen und Deuten der alltäglichen Umwelt. Darüber hinaus ist naturwissenschaftliches Wissen und Können gerade in technologisch und industriell hoch entwickelten Staaten von wachsender Bedeutung (Hessisches Kultusministerium, 2010; OECD PISA Deutschland, 2007). Naturwissenschaftliche Kompetenzen sind wichtig für die Aufnahme und Entwicklung neuer Technologien, für die Innovationstätigkeit und für die wirtschaftliche und sozioökonomische Entwicklung eines Landes. Folglich zählt das Erlangen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung zu den Prioritäten schulischer Bildungsbemühungen.

Unter dem Konzept der naturwissenschaftlichen Grundbildung wird in der internationalen Schulleistungsstudie PISA (Programme for International Student Assessment) die Fähigkeit verstanden, Fragestellungen unter Verwendung des naturwissenschaftlichen Fachwissens zu identifizieren, naturwissenschaftliche Phänomene zu erklären und aus Beweisen Schlussfolgerungen ziehen zu können (OECD PISA Deutschland, 2007). Das Beschreiben und Interpretieren naturwissenschaftlicher Phänomene unter Anwendung von Fachwissen und insbesondere das reflektierte und logische Schlussfolgern aus Beobachtungen und Untersuchungen sind demnach zentrale Elemente einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (Kultusministerkonferenz, 2005). In umfassenderer aber ähnlicher Weise formuliert das hessische Kultusministerium Könnenserwartungen für den Physikunterricht im neuen Kerncurriculum für Hessen, welche sich an den bundesweiten Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz orientieren. Als ein wichtiges Bildungsziel der Naturwissenschaften gilt hier das systematische, logische Denken und Planen, das Vorhersehen und Erkennen von Wirkungszusammenhängen und vor allem das Überprüfen und Bewerten von Annahmen nach rationalen Kriterien

oder logischen Schlussfolgerungen. Insbesondere postuliert das entsprechende Kerncurriculum das Aufstellen und Testen von Hypothesen mit Hilfe geeigneter Experimente als zentrale Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Hessisches Kultusministerium, 2010). Das *Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht* gilt dabei als die zentrale Methode zur Aneignung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung. Die Lehrpläne für den gymnasialen Bildungsweg in Hessen betiteln das Experiment, insbesondere das *Schülerexperiment*, sogar als den *Mittelpunkt des naturwissenschaftlichen Unterrichts der Sekundarstufe I* (Kultusministerium Hessen; Kultusministerium Hessen, 2010).

Verschiedene Untersuchungen der Unterrichtsforschung zeigen jedoch auf, dass sowohl der Umfang als auch die Qualität des durch Experimente erworbenen Wissens hinter den Erwartungen zurückbleibt (Hofstein & Lunetta, 1982). In Bezug auf das Lernen durch Experimentieren im Physikunterricht konnte die sechsjährige IPN Videostudie von Seidel et al. (2006) belegen, dass der erzielte Lernerfolg bei den Schülerinnen und Schülern oftmals ausbleibt, da der Physikunterricht der neunten Jahrgangsstufe vorwiegend lehrerzentriert und im überwiegenden Maße als Demonstrationsunterricht angelegt ist (Seidel et al., 2006). Dieser lässt sich in erster Linie dadurch charakterisieren, dass Lehrende klare Handlungsanweisungen vorgeben, welche die Lernenden schrittweise und rezeptartig auszuführen haben. Das selbstständige Experimentieren auf Basis eigener Planung ist kaum vorzufinden. Der naturwissenschaftliche Zugang der Schülerinnen und Schüler erfolgt daher nur singular durch eigenes Erschließen von Inhalten und Zusammenhängen. Ergebnisse verschiedener Untersuchungen stützen diese Befunde und belegen, dass gerade das lehrerzentrierte Anführen von Schülerexperimenten ein entscheidender Faktor für das Ausbleiben des Lernerfolgs ist (Klahr & Nigam, 2004; Künsting, 2007; Wirth, Thillmann, Künsting, Fischer & Leutner, 2008).

Forschungsergebnisse weisen aber auch darauf hin, dass allein die Forderung nach mehr Freiheitsgraden, nach einem höheren Anteil selbstständig geplanter und ausgeführter Schülerexperimente per se nicht zu einer höheren Lernleistung führt. Im Konsens der empirischen Forschung zum selbstständigen Experimentieren ist dies in erster Linie darauf zurückzuführen, dass Lernende hohe kognitive Ansprüche beim selbstständigen Experimentieren zu bewältigen haben. Diese erschweren die Selbstregulation und können zu einer Überforderung führen (Kempf & Künsting, eingereicht; Künsting, 2007; Künsting, Wirth & Paas, 2011; Thillmann, 2007; Wirth et al., 2008). Aber auch ein Mangel an domänenspezifischem und strategischem Wissen, sowie mangelnde

selbstregulative und metakognitive Kompetenzen können als Ursache misslungener Schülerexperimente identifiziert werden (Boekaerts, 1997; Renkl, 1996; Süß, Kersting & Oberauer, 1993; Wirth & Leutner, 2005). Studien zum *Scientific Discovery Learning* belegen, dass Schülerinnen und Schüler beim selbstständigen Experimentieren wenig selbstreguliert und überwiegend unsystematisch vorgehen (Chen & Klahr, 1999; de Jong & van Joolingen, 1998). Zum einen misslingt den Lernenden häufig das Aufstellen einer korrekten Beziehung zwischen Hypothese und Experiment. Zum anderen nutzen Lernende nur selten geeignete Experimentierstrategien, um Annahmen und Hypothesen gezielt zu überprüfen (Chen & Klahr, 1999; de Jong & van Joolingen, 1998; de Jong et al., 1998; Künsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, 2008). Es wird aber angenommen, dass das systematische Aufstellen von Hypothesen und das Testen mittels strategisch durchzuführender Experimente elementare Voraussetzungen für erfolgreiches selbstständiges Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht sind (Chen & Klahr, 1999; de Jong et al., 1998; Gößling, 2010; Klahr & Dunbar, 1988; Künsting et al., 2008; van Joolingen & de Jong, 1997).

Den Ausgangspunkt dieser Arbeit bildet nun die Diskrepanz zwischen der als Bildungsziel formulierten Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung durch selbstständiges Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht und des beobachteten geringen Lernerfolgs, welcher im Wesentlichen auf die hohen kognitiven Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden zurückzuführen ist. Das übergeordnete Ziel aller Forschungsbemühungen zum selbstständigen Experimentieren sollte daher in der Entwicklung unterstützender Maßnahmen liegen, die erfolgreiches Experimentieren fördern und sich nach Möglichkeit an der individuellen Lernreife der Schülerinnen und Schüler orientieren. Eine Forschungslücke besteht bislang allerdings darin, dass das selbstständige Experimentieren noch nicht hinreichend in Bezug auf mögliche Unterschiede zwischen einzelnen Jahrgangsstufen untersucht wurde. In diesem Zusammenhang ist denkbar, dass je nach Jahrgangsstufe und entsprechender Lernreife unterschiedliche Befunde resultieren können.

Das Forschungsziel der vorliegenden Arbeit ist daher, mögliche Unterschiede im selbstständigen Experimentieren zwischen verschiedenen Jahrgangsstufen der gymnasialen Sekundarstufe I zu identifizieren und mögliche Zusammenhänge mit lernrelevanten Variablen aufzudecken. Eine Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit ist zum einen, ob und inwiefern sich Unterschiede in Bezug auf das strategische Vorgehen beim selbstständigen Experimentieren zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 9 ergeben. Zum ande-

ren wird der Frage nachgegangen, ob und inwiefern das systematische Experimentieren mit dem Lernerfolg, der Motivation und dem Vorwissen zusammenhängt. Die Ergebnisse dieser Studie sollen schließlich dazu beitragen, lernförderliche und an die Lernreife der jeweiligen Jahrgangsstufen angepasste Unterstützungsmöglichkeiten zu entwickeln, damit selbstständiges Experimentieren in der Schulpraxis erfolgreich umgesetzt werden kann.

Dazu werden exemplarisch Daten zum selbstständigen Experimentieren im Rahmen des Physikunterrichts von  $N = 244$  Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Jahrgangsstufen acht und neun genutzt. Diese wurden im Rahmen der DFG-Studie ELWmeta (Der Einfluss von Lernzielspezifität auf die Wirksamkeit metakognitiver Lernhilfen) unter der Leitung von Prof. Dr. Josef Künsting im Jahr 2011 an der Universität Kassel erhoben (Kempf & Künsting, eingereicht). Die Studie hatte das Ziel, mögliche Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „metakognitive Lernhilfen“, „Lernzielspezifität“ und Jahrgangsstufe auf die Lernwirksamkeit zu prüfen. Die Lernenden erwarben dabei in einer computerbasierten Lernumgebung Wissen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“, ein verbindlicher Unterrichtsinhalt der gymnasialen Klassen 8 und 9 in Hessen für das Fach Physik (Kultusministerium Hessen; Kultusministerium Hessen, 2010). Während die Lernenden in der virtuellen Lernumgebung experimentierend Wissen erwarben, wurden alle durchgeführten Experimente und aufgestellten Hypothesen durch das Computerprogramm in Logfile-Dateien geschrieben, um eine prozessbasierte Analyse der Schülerexperimente hinsichtlich der Strategienutzung zu ermöglichen. So können diese Daten auch genutzt werden, um der Fragestellung der vorliegenden Arbeit nachzugehen.

Bevor diese ausführlich vorgestellt und Ergebnisse theoriegeleitet diskutiert werden, soll im zweiten Kapitel dieser Arbeit zunächst der theoretische Hintergrund dieser Untersuchung genauer erläutert werden. Dazu werden bereits genannte empirische Untersuchungen vertieft und theoretische Modelle aufgeführt. Der Fokus liegt dabei auf der Theorie des selbstregulierten Lernens im Hinblick auf domänenspezifische Anforderungen speziell beim selbstständigen Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. Was bedeutet es, selbstreguliert-experimentierend zu lernen und welche Anforderungen gehen damit einher? Welche Rolle spielen Motivation und Vorwissen für den Erfolg beim selbstregulierten Lernen durch Experimentieren? In diesem Zusammenhang werden das *Scientific Discovery Learning* (van Joolingen & de Jong, 1997) als spezielle Form des selbstregulierten Lernens in naturwissenschaftlichen Do-

mänen, sowie das *Scientific Discovery as Dual Search* – Modell von Klahr und Dunbar (1988) in der Bedeutung für die vorliegende Arbeit ausführlich vorgestellt.

## **2 Selbstreguliertes Experimentieren**

### **2.1 Selbstreguliertes Lernen in offenen Lernumgebungen**

Die Entwicklung der Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen wird heute längst als eine der Hauptaufgaben der schulischen Bildung gesehen (Baumert et al., 2000). Selbstreguliertes Lernen gilt als wichtige Handlungskompetenz und als Grundlage eines lebenslangen Lernprozesses. Was aber bedeutet selbstreguliertes Lernen? Welche Faktoren beeinflussen den Erfolg selbstregulierten Lernens und wie hängen selbstregulierte Lernprozesse, das Lernen in offenen Lernumgebungen und das selbstständige Experimentieren zusammen? Der folgende Abschnitt versucht diese Fragen zu beantworten. Dazu soll zunächst ein kurzer Einblick in die Theorie des Wissens dem Folgenden eine theoretische Grundlage geben. Anschließend wird das Konzept des selbstregulierten Lernens vorgestellt und die damit verbundenen Herausforderungen diskutiert. Dabei wird das selbstregulierte Lernen als Lernen in offenen Lernumgebungen fokussiert und in Zusammenhang mit dieser Untersuchung gesetzt. An dieser Stelle wird insbesondere auch die Bedeutung des Vorwissens und der Motivation für selbstregulierte Lernprozesse thematisiert.

#### **2.1.1 Wissensarten und die Qualität von Wissen**

*Wissensarten.* Lernen oder der Erwerb von Wissen ist das zentrale Element von Bildung. Der schulische Bildungsauftrag besteht schließlich darin, dass die Lehrenden Wissen vermitteln beziehungsweise Lerngelegenheiten für die Erarbeitung von Wissen geben, während die Lernenden dieses Wissen erwerben sollen. Auch wenn dieses Schema aus der Distanz betrachtet einfach und eingängig scheint, so offenbart dieser Prozess bei näherer Betrachtung eine große Komplexität. Allein die Frage: „Was ist Wissen?“ kann nicht einheitlich und allgemeingültig beantwortet werden. Da eine ausführliche Erörterung unterschiedlicher Konzeptualisierungen des Wissens und der Wissensqualität sehr umfangreich ist, sollen an dieser Stelle nur einführend die gängigsten und für diese Untersuchung relevanten Bezeichnungen und Konzepte vorgestellt werden.

In einem umfangreichen Beitrag zum Wissenserwerb im Sammelwerk „Pädagogische Psychologie“ (Wild & Möller 2010) gibt Renkl (2010) einen kognitionspsychologischen Überblick (Renkl, 2009). In Bezug auf eine Kategorisierung verschiedener Wissensarten besteht demnach weitestgehend ein Konsens über die Unterscheidung von deklarativen und prozeduralem Wissen. Nach Renkl meint deklaratives Wissen in erster Linie Faktenwissen. Dieses lässt sich verbalisieren oder verschriftlichen und zum Beispiel mit Hilfe eines Multiple-Choice-Tests messen. Dabei geht es um „wissen, dass“. Deklaratives Wissen lässt sich im einfachsten Sinne durch Auswendiglernen erwerben. Prozedurales Wissen hingegen bezieht sich auf „wissen, wie“ und wird auch oft als Handlungswissen bezeichnet. Im alltäglichen Sprachgebrauch wird diese Wissensart oftmals mit dem Begriff des Könnens gleichgesetzt. Beispielweise verfügt ein Schüler über deklaratives Wissen, wenn er weiß, dass ein Körper in einer Flüssigkeit schwimmt, sobald seine Dichte geringer ist als die der Flüssigkeit. Ein Schüler, der weiß, wie er durch ein Experiment diese Eigenschaft nachweisen kann, verfügt hingegen über prozedurales Wissen.

Süß (1996) hingegen merkt an, dass sich die Kategorien deklarativ und prozedural lediglich auf ein unterschiedliches Repräsentationsformat von Wissen beziehen, eben auf eine verbale und eine prozedurale Repräsentation (Süß, 1996). Demnach würde das „wissen, wie“ dem deklarativen Wissen zugeordnet werden können, sobald ein Schüler oder eine Schülerin diese Prozedur explizit verbalisieren kann. Unter prozeduralem Wissen wird implizites Wissen verstanden, welches sich ausschließlich in Handlungskompetenz äußert. Die soeben beschriebenen Wissensarten differenziert Süß in Sachwissen und Handlungswissen, wobei das „wissen, dass“ dem Sachwissen und das „wissen, wie“ dem Handlungswissen zugeordnet wird. Wissen wird also nicht einheitlich konzeptualisiert. Vielmehr unterscheiden sich die Bezeichnungen und Kategorien. Dem Leser soll an dieser Stelle deutlich werden, dass Wissen in einer ersten Differenzierung in zwei grundsätzliche Arten unterschieden werden kann. Die eine Art von Wissen meint Sachwissen, Faktenwissen, auswendig gelerntes Wissen, welches verbal oder schriftlich wiedergegeben werden kann. Die Andere meint Wissen, welches dazu befähigt, eine Handlung ausführen zu können. Für diese Untersuchung ist in erster Linie die erstgenannte Wissensart von Bedeutung.

Weiter lassen sich diese beiden Kategorien zusätzlich in Bezug auf die Domänenspezifität unterscheiden. Das bedeutet, dass Sach- und Handlungswissen weiter differenziert werden in domänenspezifisches und domänenübergreifendes Wissen (van

Berkum & de Jong, 1991). Im Hinblick auf die Schulpraxis lassen sich diese beiden Wissensarten anschaulich als Fachwissen und fächerübergreifendes Wissen umschreiben, wobei eine Domäne einem Fachgebiet entspricht (Süß, 1996). Die Grenzen sind dabei fließend. Im engeren Sinne ist das Themenwissen klar dem domänenspezifischen Wissen zuzuordnen. Dazu zählt beispielsweise das explizite Sachwissen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Hingegen kann beispielsweise das Wissen über mathematisches Rechenkalkül als domänenübergreifendes Wissen bezeichnet werden, da dieses in unterschiedlichen Domänen Anwendung findet (Zum Beispiel kann das rechnerische Lösen linearer Gleichungssysteme in den Domänen Mathematik und Physik genutzt werden).

Das metakognitive Wissen als eine weitere wichtige Wissenskategorie bezieht sich in erster Linie auf das „Wissen über das Wissen“ (Renkl, 2009). In Bezug auf Lernprozesse wird diese Wissensart auch als Wissen über den Wissenserwerb oder als Wissen über den Sinn von Lernstrategien bezeichnet, da es die Kenntnisse fachlicher und überfachlicher Lern- und Handlungsstrategien umfasst. Allgemein sind damit Kenntnisse und Fähigkeiten gemeint, welche sich, von einer Metaebene betrachtet, auf den eigenen Lernprozess beziehen und diesen steuern können. Auch hier wird zwischen deklarativ und prozedural, sowie zwischen domänenspezifisch und domänenübergreifend differenziert (Renkl, 2009).

Als deklaratives metakognitives Wissen gilt zum Beispiel das Kennen einer Lernstrategie. Prozedurales metakognitives Wissen bezieht sich auf das Anwenden und Nutzenkönnen von Lernstrategien. Beispielsweise verfügt eine Schülerin über deklaratives metakognitives Wissen, wenn sie die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle kennt und verbal wiedergeben kann (vgl. Kapitel 2.2.3: Nach der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle wird bei einem Experimentepaar immer nur der Wert einer einzigen Variablen variiert, während alle anderen Variablen in ihren Werten konstant gehalten werden. So kann eine Outputänderung exakt auf eine Inputänderung zurückgeführt werden (vgl. Künsting et al., 2008; Wirth, 2004).

Ein Schüler, der über prozedurales metakognitives Wissen verfügt, weiß, wie er diese Strategie beim selbstständigen Experimentieren einsetzen kann, um beispielsweise Hypothesen zu testen. Im Hinblick auf die zuvor erwähnte Domänenspezifität, handelt es sich bei diesem Beispiel um domänenspezifisches metakognitives Wissen. Als prominentes Beispiel domänenübergreifenden metakognitiven Wissens gelten allgemein

metakognitive Lernstrategien wie das Planen, Organisieren und Überwachen des eigenen Lernprozesses.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Wissen in einer ersten Differenzierung hinsichtlich des Repräsentationsformats in Sach- und Handlungswissen (beziehungsweise in deklaratives und prozedurales Wissen) unterschieden werden kann. Auf einer zweiten Ebene ist dann jeweils in Bezug auf die Domänenspezifität zu differenzieren. Metakognitives Wissen kann schließlich auf einer dritten Ebene hinsichtlich der Domänenspezifität und des Repräsentationsformats unterschieden werden. Die folgende Abbildung 1 visualisiert diesen Zusammenhang.

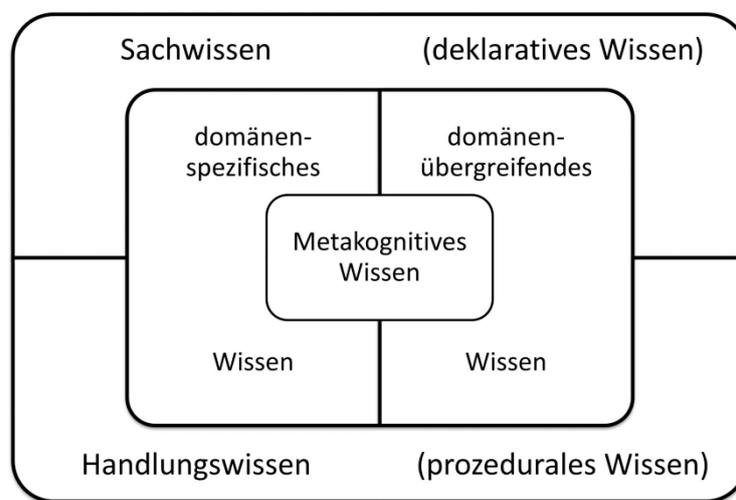


Abbildung 1. Überblick und Zusammenhang der verschiedenen Wissensarten

*Die Qualität von Wissen.* Schulleistungsstudien wie PISA oder TIMMS aber auch die bundesweiten Bildungsstandards machen deutlich, dass im Diskurs um den Erwerb von Wissen nicht nur die Wissensart oder die Quantität von Interesse ist, sondern dass zunehmend der Fokus auf der Anwendungsqualität des Wissens liegt. Das Erreichen von Kompetenz ist wohl das bekannteste Schlagwort in der aktuellen Debatte. Die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz (KMK) konkretisieren die in Bildungszielen formulierten Erwartungen, indem sie festlegen, über welche Kompetenzen Schülerinnen und Schüler bis zu einem bestimmten Zeitpunkt ihres Bildungsganges verfügen sollen. Dabei werden Kompetenzen zunächst allgemein als Dispositionen zur Bewältigung bestimmter Anforderungen beschrieben (Kultusministerkonferenz, 2005). Renkl (2010) definiert Kompetenz als eine mehrere Wissensarten umfassende und auf die Funktionalität von Wissen bezogene Konzeption (Renkl, 2009). Das neue Kerncur-

riculum für Hessen beschreibt den Begriff Kompetenz als eine Verbindung von Wissen und Können. Entscheidend sei dabei, dass das Wissen transferierbar ist und in alltäglichen Anwendungssituationen genutzt werden kann (Hessisches Kultusministerium, 2010). Damit wird die Anwendungsqualität des Wissens und Könnens klar in den Vordergrund gerückt. Wissen muss nutzbar sein.

Weiter richtet sich der Blick nicht nur auf einzelne Wissens Elemente, die sich zu einem Gesamtverständnis verknüpfen sollen, sondern auch auf weitere Bedingungen der erfolgreichen Bewältigung kognitiver Herausforderungen. Gemeint ist ein Zusammenwirken verschiedener Komponenten. Dazu zählen die genannten Wissensarten aber auch personale und soziale Dispositionen, Einstellungen und Haltungen (Hessisches Kultusministerium, 2010). Insbesondere nimmt das „fächerübergreifende Können“ eine wichtige Position im Konzept der Kompetenz ein. So ist anzunehmen, dass gerade die metakognitiven und domänenübergreifenden Kenntnisse, sowie transferierbares und prozedurales Wissen wichtige Komponenten des Kompetenzbegriffes sind. Das hessische Kultusministerium betont, dass dem Kompetenzaufbau eine besondere Bedeutung zukommt, da dieser den Lernenden ermöglicht, in der Schule, in ihrem privaten und auch in ihrem künftigen beruflichen Leben Herausforderungen anzunehmen und erfolgreich und verantwortungsvoll zu meistern (Hessisches Kultusministerium, 2010). Der Kompetenzerwerb gilt also auch als Grundlage lebenslanger Lernprozesse. Für das Lernen in der Schule bedeutet dies, dass der unterrichtliche Rahmen, die Aufgaben und Lernumgebungen so gestaltet sein müssen, dass den Schülerinnen und Schülern der Erwerb transferierbaren, intelligenten Wissens und das Ausbilden fachlicher und überfachlicher Kompetenzen ermöglicht werden kann.

### **2.1.2 Lernen in offenen Lernumgebungen**

Prenzel und Mandl (1991) zeigen, dass insbesondere offene Lernumgebungen den Erwerb nachhaltigen und transferierbaren Wissens, sowie die Ausbildung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen fördern können. Dabei unterstützt die Einbettung der Problem- oder Aufgabenstellung in einen übergeordneten Kontext zusätzlich das Aneignen von übertragbaren Kenntnissen (Prenzel & Mandl, 1991).

Offene Lernumgebungen sind vor allem dadurch charakterisiert, dass sie dem Lernenden mehr Freiräume zur Verfügung stellen. Im Sinne des Konstruktivismus lernt ein Schüler oder eine Schülerin in offenen Lernumgebungen, in dem Ziele und Gegenstände des Lernens selbstständig entdeckt werden und sich die Lernenden das Wissen

im Verlauf des Lernprozesses aktiv und selbstständig aneignen (Weinert, 1982). Entscheidend ist dabei, dass bestimmte Inhalte und Vorgaben gar nicht oder nur weit gefasst vorgegeben werden, sodass der Lernende weitestgehend selbst entscheiden kann, welchen Inhalt er sich auf welcher Weise zugänglich machen möchte. Je nach Problem- oder Aufgabenstellung kann also beispielsweise selbstständiges Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht offenes Lernen ermöglichen, sobald die Lernenden entsprechende Experimente eigenverantwortlich planen und zu testende Hypothesen festlegen.

Festzuhalten bleibt, dass Lernen in offenen Lernumgebungen die Selbstregulation des eigenen Lernprozesses ermöglicht aber auch gleichermaßen voraussetzt. Eine zentrale fächerübergreifende Kompetenz, welche durch das offene Lernen gefördert aber auch gleichermaßen gefordert wird ist das selbstregulierte Lernen.

### **2.1.3 Selbstreguliertes Lernen und die Bedeutung von Vorwissen und Motivation**

*Selbstreguliertes Lernen.* In Anbetracht der nationalen und internationalen Fachliteratur scheint der Begriff des selbstregulierten Lernens keiner einheitlichen Definition zu entsprechen. Es finden sich vielmehr unterschiedliche Konzeptualisierungen und Bezeichnungen. So werden im deutschen Sprachraum überwiegend Begriffe wie selbstgesteuertes Lernen, selbstreguliertes Lernen oder selbstbestimmtes Lernen verwendet, während im englischen Sprachgebrauch Begriffe wie self-directed learning oder self-regulated learning verwendet werden.

Obgleich unterschiedliche Konzeptualisierungen und Bezeichnungen verwendet werden, so lassen sich im Kern dieser theoretischen Konzepte Gemeinsamkeiten bestimmen. Nach Artelt, Demmrich und Baumert (2001) besteht Einigkeit in Hinblick auf die funktionale Bestimmung des selbstregulierten Lernens: *„Lernende, die ihr eigenes Lernen regulieren, sind in der Lage, sich selbstständig Ziele zu setzen, dem Inhalt und Ziel angemessene Techniken und Strategien auszuwählen und sie auch einzusetzen. Ferner halten sie ihre Motivation aufrecht, bewerten die Zielerreichung während und nach Abschluss des Lernprozesses und korrigieren – wenn notwendig – die Lernstrategie.“* (Artelt, Demmrich & Baumert, 2001, S. 297). Nach Baumert (2000) ist selbstreguliertes Lernen eine Form des Lernens, bei der die Lernenden in Abhängigkeit ihrer Lernmotivation selbstbestimmt eine oder mehrere Selbststeuerungsmaßnahmen ergreifen und den Fortgang des eigenen Lernprozesses selbst überwachen (Baumert et al., 2000). Auch die in der Einführung bereits vorgestellten Bildungsstandards für den na-

turwissenschaftlichen Unterricht bewerten die Fähigkeit der Selbstregulierung beim Lernen als bedeutsame überfachliche Kompetenz der schulischen Bildung und zählen diese Fähigkeit zu den verbindlichen Könnenserwartungen der Sekundarstufe I (Hessisches Kultusministerium, 2010). Demnach sollen Schülerinnen und Schüler die Fähigkeit erwerben, Lern- und Arbeitsprozesse selbstbestimmt und eigenverantwortlich regulieren zu können. Das bedeutet, dass die Lernenden den eigenen Lernprozess steuern und seine Ergebnisse angemessen reflektieren. Simons (1992) konkretisiert den Prozess des selbstregulierten Lernens als Abfolge kognitiver Arbeitsschritte und formuliert ähnliche Voraussetzungen an den Lernenden. Demnach müsse (1) das Lernen unter Nutzung vorhandenem Vorwissen vorbereitet, (2) die Lernhandlungen durchgeführt, (3) das Lernen mit Hilfe von Kontroll- und Eingreifstrategien reguliert, (4) die Lernleistung bewertet und (5) die Motivation und Konzentration aufrechterhalten werden (Simons, 1992).

Ein Konsens der vorgestellten Aspekte liegt schließlich darin, dass diesen unterschiedlichen Definitionen und Begriffsklärungen ein komplexer, selbstgesteuerter Lernprozess zugrunde liegt, welcher hohe kognitive Ansprüche an die Schülerinnen und Schüler stellt. Damit selbstreguliertes Lernen gelingt, müssen die Lernenden über die angesprochenen Strategien und Selbststeuerungsmaßnahmen verfügen und diese auch nutzen können um den eigenen Lernprozess zu organisieren, zu überwachen und unter Ergebnisreflektion anzupassen. Aber nicht nur das Kennen und Nutzenkönnen geeigneter Selbststeuerungsmaßnahmen charakterisiert erfolgreiches selbstreguliertes Lernen. Weiter hängt der Erfolg selbstgesteuerter Lernprozesse von vorhandenem domänen- oder bereichsspezifischem Vorwissen und der intrinsischen Motivation ab (Baumert et al., 2000; Renkl, 1996; Süß et al., 1993).

Im Bezug zu den unterschiedlichen Konzeptualisierungen lassen sich also zunächst drei wesentliche Komponenten des selbstregulierten Lernens identifizieren. Die erste Komponente ist das Kennen und Nutzenkönnen geeigneter Selbststeuerungsstrategien und –maßnahmen. Dazu gehören in erster Linie kognitive und metakognitive Lernstrategien. Die zweite Komponente ist die Motivation. Als dritte Komponente lässt sich das domänenspezifische Vorwissen festhalten. Um besser verstehen zu können, wie diese Komponenten miteinander interagieren und den selbstgesteuerten Lernprozess beeinflussen wird im Folgenden auf ein einschlägiges Modell von Boekaerts (1997) und Baumert (1999) verwiesen.

Boekaerts (1997) entwickelte ursprünglich ein theoretisches Modell des selbstregulierten Lernens, in dem drei Regulationssysteme differenziert werden. Die sieben aus der Theorie abgeleiteten Komponenten des selbstregulierten Lernens (Kognitive und metakognitive Lernstrategien, Motivation und Vorwissen) wurden dabei aufgegriffen. Boekaerts unterscheidet in ihrem Modell das kognitive und metakognitive vom motivationalen Regulationssystem. Baumert (1999) modifizierte das Rahmenmodell von Boekaerts leicht und fasste die kognitive und metakognitive Regulation zu einem System zusammen, nahm aber ansonsten keine Änderung an dem ursprünglichen Modell vor (Baumert et al., 2000).

<b>Kognitive/metakognitive Regulation</b>	<b>Motivationale Selbstregulation</b>
<i>Bereichsspezifisches Vorwissen</i>	<i>Motivationale Orientierung</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbstbezogene Kognitionen (Selbstkonzept der Begabung, Selbstwirksamkeit, Kontrollüberzeugungen)</li> <li>• Motivationale Präferenzen (Interesse, Aufgabenorientierung, Ichorientierung, intrinsische Motivation)</li> <li>• Prüfungsangst</li> <li>• Subjektive Theorien der Begabung</li> </ul>
<i>Kognitive Lernstrategien</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memorierstrategien</li> <li>• Tiefenverarbeitung</li> <li>• Transformation</li> </ul>	<i>Situationaler Motivationszustand</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufmerksamkeit, Anstrengung, Ausdauer</li> </ul>
<i>Metakognitive Strategien</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung und Zielrepräsentation</li> <li>• Überwachung (Monitoring)</li> <li>• Korrekturstrategien</li> </ul>	<i>Volitionale Merkmale der Handlungssteuerung</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschirmung gegen konkurrierende Intentionen</li> <li>• Umgang mit Erfolg und Mißerfolg</li> </ul>

Abbildung 2. Ein Modell des selbstregulierten Lernens. In Anlehnung an Baumert (1999).

Zur kognitiven und metakognitiven Regulation zählen die sieben benannten Komponenten domänenspezifisches Vorwissen, sowie kognitive und metakognitive Lernstrategien. Zu den kognitiven Lernstrategien gehören Memorierstrategien und Strategien der Tiefenverarbeitung und Transformation. Zu den metakognitiven Strategien zählen Strategien der Planung und Zielrepräsentation, der Überwachung, sowie Korrekturstrategien. Zur motivationalen Regulation zählen motivationale Orientierungen,

Merkmale des situationalen oder aktuellen Motivationszustands (wie Aufmerksamkeit, Anstrengung oder Ausdauer), sowie volitionale Komponenten der Handlungssteuerung, die dazu beitragen, dass eine einmal begonnene Handlung auch zielstrebig durchgehalten wird (Boekaerts, 1997).

Die entscheidende Aussage des Modells ist, dass die vorgestellten Systeme den Lernprozess steuern, indem sie miteinander interagieren und in wechselseitiger Abhängigkeit zueinander stehen. Damit selbstreguliertes Lernen gelingt, müssen die Voraussetzungen aller drei beziehungsweise zwei Systeme in ausreichendem Maße erfüllt sein. Defizite in einem der Regulationssysteme erschweren oder verhindern den Erfolg des selbstregulierten Lernens (Boekaerts, 1997). Damit betont das Modell die Herausforderung, den Schülerinnen und Schülern selbstreguliertes Lernen in der Unterrichtspraxis zu ermöglichen.

*Selbstreguliertes Lernen und Vorwissen.* Lernen ist ein kognitiver Prozess bei dem der Lernende aktiv neue Informationen in bestehende kognitive Strukturen einbettet. In ein bestehendes Netzwerk von zusammenhängenden Informationen werden neue Informationen integriert und mit verwandtem Wissen vernetzt (Piaget, Fatke & Kober, 2003). Lernen muss also als aktives Konstruieren von Wissen gesehen werden. Je mehr Wissen eine Person dabei besitzt, desto mehr neue Informationen kann sie in bereits bestehende kognitive Strukturen einbauen. Verfügt eine Person über ein hohes Maß an Vorwissen, kann diese viel dazulernen. Verfügt eine Person nur über ein geringes Maß an Vorwissen, kann diese nur wenig dazulernen. Dieses paradoxe Phänomen wird auch Matthäuseffekt genannt (Renkl, 1996). Renkl (1996) weist aber auch daraufhin, dass hierbei zwischen Themenwissen und Domänenwissen unterschieden werden muss. Besitzt eine Person bereits ein hohes Themenwissen, so kann diese zu demselben Thema nur wenig dazulernen. Am fruchtbarsten für einen hohen Lernerfolg ist demnach die Kombination aus hohem Domänenwissen und geringem Themenwissen (Renkl, 1996).

Empirische Untersuchungen belegen, dass Vorwissen allgemein der stärkste Prädiktor für eine hohe Lernleistung ist (Renkl, 1996). Dabei spielt das domänenspezifische Wissen eine besondere Rolle. Es konnte gezeigt werden, dass domänenspezifisches Vorwissen einen bedeutsameren Einfluss auf die Lernleistung hat, als ausgeprägte allgemeine Fähigkeiten wie zum Beispiel hohe Intelligenz. Eine Studie von Körkel und Weinart (1989) belegt, dass Domänenexperten mit niedrigen allgemeinen Fähigkeiten höhere Lernleistungen erzielten, als Domänenneulinge mit hohen allgemeinen Fähigkeiten.

ten (Renkl, 2009). Dabei scheint die Bedeutung bereichsspezifischen Wissens für den Lernerfolg umso größer ist, je größer die kognitiven Ansprüche der Lernsituation an den Lernenden sind. Es wird vermutet, dass die Schülerinnen und Schüler bei einfachen Anforderungen geringes Vorwissen noch durch hohe allgemeine Fähigkeiten, wie zum Beispiel Intelligenz, kompensieren können (Renkl, 1996).

Eine Studie von Süß et al. (1993) konnte die hohe Korrelation von domänenspezifischem Vorwissen und Lernerfolg beim selbstregulierten Lernen in einer computer-simulierten Lernumgebung nachweisen. Schülerinnen und Schüler erwarben dabei Wissen in der virtuellen Lernumgebung „Schneiderwerkstatt“. Dabei mussten die Lernenden Lernziele erreichen, indem sie selbstständig und selbstreguliert komplexe Mechanismen der Betriebswirtschaftslehre am Beispiel eines Textilunternehmens steuerten. Unter anderem wurde der Einfluss des deklarativen domänenspezifischen Sachwissens untersucht und nachgewiesen, dass bereichsspezifisches Wissen ein entscheidender Prädiktor für den Problemlöseerfolg ist (Süß et al., 1993).

*Selbstreguliertes Lernen und aktuelle Motivation.* Baumert betont, dass selbstreguliertes Lernen stark von der Bereitschaft zur Selbstaktivierung und damit von der Motivation der Lernenden abhängt (Baumert et al., 2000). In Betracht des zuvor präsentierten Rahmenmodells des selbstregulierten Lernens nach Boekaerts (1997) beziehungsweise Baumert (1999) wird ersichtlich, dass der motivationalen Regulation im Allgemeinen eine große Bedeutung für den Erfolg selbstregulierter Lernprozesse beigemessen wird. Es scheint durchaus plausibel, anzunehmen, dass erst ein hohes Maß an Motivation die Lernenden dazu befähigt, sich intensiv und konzentriert mit den hohen kognitiven Ansprüchen selbstregulierter Lernprozesse auseinander zu setzen.

Vollmeyer und Rheinberg (1998, 2006) haben mehrfach den Zusammenhang von Motivation und Lernerfolg beim selbstregulierten Lernen, insbesondere auch in computersimulierten Lernumgebungen, untersucht und zahlreiche theoretische und empirische Befunde liefern können. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen theoretischer Modelle und empirischer Untersuchungen ist demnach anzunehmen, dass der motivationale Zustand einer Person direkt vor beziehungsweise während des Lernprozesses ein starker Prädiktor für den Lernerfolg beim selbstregulierten Lernen ist (Vollmeyer & Rheinberg, 1998, 2006). Diese situationale Eingangsmotivation wird als *aktuelle Motivation* bezeichnet (Bachmann, 2010; Vollmeyer & Rheinberg, 1998, 2006). Sie resultiert aus einem Zusammenwirken von Person- und Situationsfaktoren: Mit Situations-

faktoren sind situationale Anregungen beziehungsweise Anreize der Lernumgebung gemeint. Dies können beispielsweise eine interessante Aufgabenstellung, ein ansprechendes Thema oder ein anregender Kontext der Lernumgebung sein. Als wichtiger Personenfaktor ist an erster Stelle die Motivstruktur einer Person aufzuführen. Diese umfasst feste, von der aktuellen Lernsituation unabhängige, motivationale Orientierungen der Person (vgl. Aspekte der motivationalen Regulation im Rahmenmodell des selbstregulierten Lernens nach Boekaerts (1997) beziehungsweise Baumert (1999)). Dazu zählt beispielsweise ein generelles Interesse am Thema. Aber auch selbstbezogene Aspekte wie ein positives Selbstkonzept oder die Selbstwirksamkeit bilden die Motivstruktur einer Person. Aus den Situations- und Personenfaktoren resultiert schließlich die aktuelle Motivation genau dann, wenn die situationalen Anregungen zur Motivstruktur der Person passen (Bachmann, 2010). Die folgende Abbildung 3 visualisiert diesen Zusammenhang.

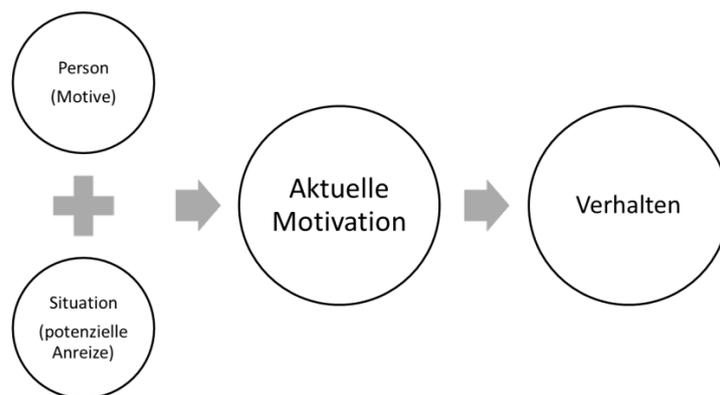


Abbildung 3. Das Grundmodell der „klassischen“ Motivationspsychologie. In Anlehnung an Rheinberg (2000).

Studien zur Lernwirksamkeit der Eingangsmotivation beim selbstregulierten Lernen von Bachmann (2010) stehen im Einklang mit den Ergebnissen von Vollmeyer und Rheinberg (1998, 2006) und belegen, dass die aktuelle Motivation, und nicht etwa die Motivstruktur, zusätzlich zum Vorwissen einen direkten Einfluss auf den Lernprozess hat und eine hohe Lernleistung erklären kann (Bachmann, 2010). Dabei hat eine hohe aktuelle Motivation offenbar nur indirekt Einfluss auf die Lernleistung beim selbstregulierten Lernen: Eine hohe Eingangsmotivation stimuliert das Spaß erleben (Flow – Erleben) (Vollmeyer & Rheinberg, 1998) und insbesondere auch die Metakognition (Bachmann, 2010) der Lernenden. In Bezug auf das Rahmenmodell von Boeka-

erts (1997) beziehungsweise Baumert (1999) kann angenommen werden, dass ein positives Erleben des Lernprozesses und eine hohe Metakognition das Interagieren der Regulationssysteme fördert und erfolgreiches selbstreguliertes Lernen begünstigen kann.

#### **2.1.4 Zusammenfassung**

*Kapitel 2.1.1* Mit Hilfe des Abschnitts konnte gezeigt werden, dass die Frage „Was ist Wissen?“ nicht trivial zu beantworten ist. Wissen muss differenziert betrachtet und unterschiedlich konzeptualisiert werden. Dabei scheint es keine einheitliche Definition zu geben. Dennoch ist festzuhalten, dass Wissen grundlegend in Sach- und Handlungswissen, domänenspezifisches und domänenübergreifendes und in metakognitives Wissen unterschieden werden kann. Die aktuelle Bildungsforschung macht deutlich, dass im Diskurs um den Erwerb von Wissen nicht nur die Wissensart oder die Quantität interessiert, sondern dass zunehmend der Fokus auf der Anwendungsqualität des Wissens liegt. Das Erreichen von Kompetenz ist wohl das bekannteste Schlagwort dieser Debatte. Kompetenz, eine Verbindung von Wissen und Können, ist dabei als eine auf die Funktionalität von Wissen bezogene Konzeption zu verstehen. Entscheidend ist, dass Wissen in alltäglichen Anwendungssituationen genutzt werden kann. Für die Bildungspraxis stellt sich folglich die Frage, wie Schülerinnen und Schüler in der Ausbildung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen unterstützt und gefördert werden können.

*Kapitel 2.1.2* Eine Lernform, die es den Lernenden ermöglichen kann, transferierbares und tieferes Wissen zu erwerben und darüber hinaus wichtige fachliche und überfachliche Kompetenzen auszubilden, ist das selbstständige Lernen in offenen Lernumgebungen. Charakteristisch für offene Lernprozesse ist, dass Schüler und Schülerinnen weitestgehend selbstbestimmt arbeiten, sich Ziele und Wege des Lernens eigenständig bereitlegen und Inhalte selbst entdecken. Beispielsweise kann Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht, insbesondere selbstständiges Experimentieren im Physikunterricht als selbstständiges Lernen in einer offenen Lernumgebung beschrieben werden, sobald die Rahmenbedingungen den Schülerinnen und Schülern notwendige Freiheitsgrade zur Verfügung stellen. Da aber das selbstständige Lernen in offenen Lernumgebungen hohe Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden stellt, können die komplexen Herausforderungen offener Lernprozesse auch zu einer Überforderung der Schülerinnen und Schüler führen. Schließlich müssen die Lernenden ausgehend von einer Basis strategischer und domänenspezifischer Kenntnisse ihren Lernprozess planen, durchführen, reflektiert überwachen und gegebenenfalls anpassen und op-

timieren können. Lernen in offenen Lernumgebungen ermöglicht die Regulation des eigenen Lernprozesses, setzt diese aber auch gleichermaßen voraus. Eine zentrale fächerübergreifende Kompetenz, welche durch das offene Lernen gefördert aber auch gleichermaßen gefordert wird, ist schließlich das selbstregulierte Lernen.

*Kapitel 2.1.3* Verschiedenen Konzeptualisierungen zum selbstregulierten Lernen liegt im Konsens ein komplexer, selbstgesteuerter Lernprozess zugrunde, welcher hohe kognitive Ansprüche an die Schülerinnen und Schüler stellt. Der Erfolg des selbstregulierten Lernens hängt dabei wesentlich von drei Komponenten ab: Vom domänenspezifischen Vorwissen, vom Wissen über kognitive und metakognitive Lernstrategien und der Kompetenz diese selbstreguliert und effizient anwenden zu können, sowie von der Motivation der Lernenden. Das einschlägige Rahmenmodell des selbstregulierten Lernens von Boekaerts (1997) beziehungsweise Baumert (1999) postuliert, dass selbstreguliertes Lernen nur dann erfolgreich sein kann, wenn die Voraussetzungen aller Komponenten in ausreichendem Maße erfüllt sind, da selbstgesteuerte Lernprozesse erst durch ein Interagieren dieser Komponenten ermöglicht werden. Das domänenspezifische Vorwissen ist dabei der stärkste Prädiktor für den Lernerfolg beim selbstregulierten Lernen. Dabei wird angenommen, dass die Bedeutung bereichsspezifischen Wissens für den Lernerfolg umso größer ist, je größer die kognitiven Ansprüche der Lernsituation an den Lernenden sind. In Bezug auf die Motivation der Lernenden ist anzunehmen, dass erst ein hohes Maß an Motivation die Lernenden dazu befähigt, sich intensiv und konzentriert mit den hohen kognitiven Ansprüchen selbstregulierter Lernprozesse auseinander zu setzen. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen theoretischer Modelle und empirischer Untersuchungen zum Zusammenhang von Motivation und Lernleistung ist davon auszugehen, dass der motivationale Zustand eines Lernenden direkt beziehungsweise während des Lernprozesses ein starker Prädiktor für den Lernerfolg beim selbstregulierten Lernen ist. Diese aktuelle Motivation stimuliert das positive Erleben des Lernprozesses sowie die Metakognition des Lernenden und fördert die Lernleistung beim selbstregulierten Lernen.

## 2.2 Wissenschaftlich entdeckendes Lernen durch Experimentieren

In diesem Kapitel wird der für die vorliegende Arbeit grundlegende Ansatz des wissenschaftlich entdeckenden Lernens durch Experimentieren (*Scientific Discovery Learning*) vorgestellt. Ausgehend von den Ursprüngen dieser Theorie wird im Kern dieses Kapitels das einschlägige *Scientific Discovery as Dual Search Modell* (SDDS-Modell) von Klahr und Dunbar (1988) vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein kognitionsanalytisches Modell, welches die Prozesse beim wissenschaftlich entdeckenden Lernen durch Experimentieren beschreibt und maßgeblichen Einfluss auf die weiteren Überlegungen dieser Untersuchung hatte. Dabei soll auch herausgearbeitet werden, welche Prozesse erfolgreiches selbstständiges Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht auszeichnen.

Schließlich wird der Bogen zum vorherigen Kapitel geschlagen: Anhand aufgeführter Überlegungen und empirischer Befunde sollen die hohen Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden beim wissenschaftlichen entdeckenden Lernen durch Experimentieren aufgeführt werden, sodass ersichtlich wird, dass wissenschaftlich entdeckendes Lernen durch Experimentieren selbstreguliertes Lernen fordert und gleichermaßen als eine domänenspezifische Form des selbstregulierten Lernens verstanden werden kann. Um diese Beziehung hervorzuheben werden in dieser Arbeit die Ansätze des selbstregulierten Lernens und des wissenschaftlich entdeckenden Lernens durch Experimentieren zum *selbstregulierten Experimentieren* zusammengeführt.

### 2.2.1 Entdeckendes Lernen

Bruner (1961) entwickelte erste Arbeiten zum entdeckenden Lernen (*discovery learning*), einer konstruktivistischen Lerntheorie der sechziger Jahre. Das entscheidende Credo dieser Theorie ist, dass die Schülerinnen und Schüler Wissen erwerben, indem sie selbstständig neue Informationen entdecken (van Joolingen & de Jong, 1997). Dies bedeutet, dass den Lernenden keine Informationen offen präsentiert werden. Vielmehr müssen diese Informationen selbstständig erschlossen werden, indem Schülerinnen und Schüler Inhalte aus unterschiedlichen Quellen herausziehen, Annahmen aufstellen und überprüfen und diese strategisch herausgefundenen Informationen darlegen.

Entstanden ist diese Theorie im Sinne des Konstruktivismus als Gegenpol eines instruktionalen Frontalunterrichts. Als klassisches Beispiel gilt der Vergleich von textbasiertem Lernen und entdeckendem Lernen. Beim Lernen mit Texten liegen die Infor-

mationen in der Regel offen vor. Lernende müssen lediglich diese Informationen aus den Texten herausfiltern, sich merken und gegebenenfalls auf andere Inhaltsbereiche anwenden können. Selbstregulative Prozesse werden bei dieser Art des Lernens nur wenig benötigt. Beim entdeckenden Lernen hingegen müssen die Informationen durch einen systematischen und selbstregulierten Lernprozess erarbeitet werden (de Jong & Njoo, 1992). Beispielweise kann das Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht dem entdeckenden Lernen zugeordnet werden. Durch das Experimentieren, genauer durch das Bilden und Testen von Hypothesen mit Hilfe geeigneter Experimente, generieren die Schülerinnen und Schüler Informationen, die ihnen vor dem Experimentieren nicht zugänglich waren. Sie haben diese Informationen entdeckt. Entdeckendes Lernen kann aber auch textbasiert geschehen. Beispielweise würden dann Informationen aus mehreren Texten, Grafiken oder Datentabellen unter Nutzung kognitiver und metakognitiver Lernstrategien entnommen, kombiniert und dargelegt werden müssen (van Joolingen & de Jong, 1997).

In Bezug zum vorherigen Kapitel kann konstatiert werden, dass entdeckendes Lernen und das Lernen in offenen Lernumgebungen in einer engen Beziehung zueinander stehen. Das selbstständige Erarbeiten durch selbstreguliertes Lernen ist ein zentrales Element beider Ansätze. Der Fokus entdeckenden Lernens liegt allerdings nicht auf der Offenheit der Lernumgebung, sondern eben auf dem entdeckenden Element. Aber wie das Lernen in offenen Lernumgebungen kann auch das entdeckende Lernen aufgrund der notwendigen Selbstregulation und der aktiven Wissenskonstruktion tiefes, transferierbares und flexibles Wissen, sowie die Ausbildung wichtiger fachlicher und überfachlicher Kompetenzen fördern (de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Nigam, 2004).

Wenngleich der Ansatz von Bruner bereits zentrale Aspekte eines kompetenzorientierten Unterrichts beinhaltet, geriet diese Theorie zunächst in den Hintergrund der Bildungsforschung. Lehr- und Lernmethoden waren im Allgemeinen noch nicht weit genug entwickelt, um entdeckendes Lernen im Unterricht adäquat und konsequent umzusetzen. Erst durch die Entwicklung computersimulierter Lernumgebungen wurde dem entdeckenden Lernen neue Beachtung geschenkt. Diese ermöglichten es entdeckendes Lernen im Unterricht unkomplizierter, weniger zeitintensiv aber dennoch anschaulich zu realisieren. Insbesondere wurde die große Bedeutung virtueller Lernumgebungen für das entdeckende Lernen beim wissenschaftlichen Arbeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht erkannt (van Joolingen & de Jong, 1997).

Das entdeckende Lernen durch selbstständiges Experimentieren am Computer ist dabei von zentraler Bedeutung. Virtuelle Lernumgebungen konnten ein System oder Prozess künstlichen oder natürlichen Ursprungs simulieren und ermöglichten den Schülerinnen und Schülern, aufgestellte Annahmen und Hypothesen mit Hilfe geeigneter Experimente oder Versuche zu überprüfen (de Jong & van Joolingen, 1998).

### 2.2.2 Scientific Discovery Learning

Simon und Lea (1974) entwarfen das *Zwei-Räume-Modell*, ein kognitionsanalytisches Modell, welches das entdeckende Lernen beim wissenschaftlichen Arbeiten in naturwissenschaftlichen Domänen modellieren und erklären sollte. Sie prägten dabei den Begriff des *scientific discovery* (van Joolingen & de Jong, 1997). Während entdeckendes Lernen (*discovery learning*) im Allgemeinen nicht auf bestimmte Fachgebiete oder Lernumgebungen beschränkt ist, bezieht sich das wissenschaftliche Entdecken (*scientific discovery*) auf das entdeckende Lernen in naturwissenschaftlichen Domänen. Klahr und Dunbar (1988) modifizierten diesen Ansatz und entwickelten auf Basis des Zwei-Räume-Modells von Simon und Lea das einflussreiche *Scientific Discovery as Dual Search-Modell* (SDDS), welches auch für den empirischen Teil der vorliegenden Arbeit eine maßgebliche Bedeutung besitzt. Klahr und Dunbar prägten dabei die Theorie des wissenschaftlich entdeckenden Lernens (*Scientific Discovery Learning*) als eine spezielle Form des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren in naturwissenschaftlichen Domänen.

*Das Zwei-Räume-Modell von Simon und Lea.* Simon und Lea (1974) beschrieben *scientific discovery* als einen Problemlöseprozess in zwei miteinander verbundenen Problemräumen: Dem Regelraum und dem Instanzenraum (Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997). Der Regelraum umfasst dabei die auf die Variablen der Lernumgebung anwendbaren Regeln einer Domäne beziehungsweise Prozeduren zur Konstruktion von Regeln. Ausgehend von einer Suche im Regelraum stellen die Lernenden zunächst Annahmen oder Hypothesen auf. Diese werden anschließend gegen Daten aus dem Instanzenraum getestet. Der Instanzenraum beinhaltet dabei alle Daten oder Zustände der Variablen einer Lernumgebung und repräsentiert damit auch den Wissenszustand des Lernenden. Dieser Prozess soll an einem einfachen Beispiel veranschaulicht werden: Angenommen, Lernende hätten die Aufgabe, für eine lineare Gleichung „ $x+y+z=6$ “ den Zahlenwert der Variablen „ $x$ “ zu ermitteln. Dann wären Gleichung

chungen wie beispielsweise „ $x=1$ “ oder „ $x=3$ “ als Regeln zu verstehen. Nach einer Suche im Regelraum könnten die Lernenden dann eine Hypothese formulieren, beispielsweise „ $x=3$ “. Diese Hypothese müsste anschließend gegen Daten aus dem Instanzenraum getestet werden. Dies könnten beispielsweise Wertetupel sein, wie „ $y=2, z=3$ “ oder „ $y=1, z=4$ “. Die Lernenden würden in diesem Fall zu dem Ergebnis kommen, dass die Hypothese „ $x=3$ “ nicht korrekt sein kann. Diese Schlussfolgerung initiiert eine erneute Suche im Regelraum, sodass letztendlich die Annahme „ $x=1$ “ getestet und verifiziert werden kann.

Nach diesem kognitionsanalytischen Zwei-Räume-Modell ist erfolgreiches Experimentieren schließlich dadurch gekennzeichnet, dass auf eine Suche im Regelraum eine Suche im Instanzenraum folgt. Das entscheidende Element ist, dass die Informationen aus dem einen Raum das Handeln in dem anderen Raum beeinflussen (Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997). Schülerinnen und Schüler erwerben also erst dann Wissen durch wissenschaftliches Entdecken, wenn sie Hypothesen theoriegeleitet aufstellen und diese anschließend mit passenden Daten überprüfen. Mit dem Fortschritt computersimulierter Lernumgebungen und der Intensivierung der kognitionsanalytischen Forschung zum selbstständigen Experimentieren in naturwissenschaftlichen Domänen wurde das Zwei-Räume Modell von Simon und Lea weiterentwickelt.

*Das Scientific Discovery as Dual Search-Modell (SDDS) von Klahr und Dunbar.* Klahr und Dunbar (1988) untersuchten, wie auch Simon und Lea, den Prozess des wissenschaftlich entdeckenden Lernens, insbesondere das Lernen durch Experimentieren. Klahr und Dunbar haben die Ansätze des *scientific discovery* weiter ausgearbeitet und das *Scientific Discovery as Dual Search-Modell* (SDDS-Modell) entwickelt. Dieses Modell beschreibt wissenschaftlich entdeckendes Lernen, ähnlich wie das Zwei-Räume-Modell von Simon und Lea, als eine duale Suche, also als eine Suche in zwei Problemräumen (Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997). Dabei sprechen Klahr und Dunbar nicht von einem Regel- und einem Instanzenraum, sondern von einem Hypothesen- und einem Experimenterraum (*hypotheses space/experiment space*) (Klahr & Dunbar, 1988).

Wie auch Simon und Lea, beschreiben Klahr und Dunbar wissenschaftlich entdeckendes Lernen als einen Lernprozess, bei dem die Lernenden Annahmen oder Hypothesen formulieren und gegen Daten testen. Entscheidend ist dabei aber die Notwendigkeit, Experimente durchzuführen (van Joolingen & de Jong, 1997). Im Sinne des entde-

ckenden Lernens, postulieren Klahr und Dunbar, dass Daten oder Informationen nicht offen zugänglich sein dürfen, sondern erst durch geeignete Experimente entdeckt werden müssen und prägen damit den Begriff des *Scientific Discovery Learning* als spezielle Form des selbstreguliert-entdeckenden Lernens im naturwissenschaftlichen Unterricht (de Jong & Njoo, 1992; de Jong & van Joolingen, 1998; de Jong et al., 1998; van Joolingen & de Jong, 1997). *Scientific Discovery Learning* wird demnach in erster Linie durch das Aufstellen von Hypothesen und das Durchführen von Experimenten charakterisiert.

Bei der *Suche im Hypothesenraum* generieren Schülerinnen und Schüler zunächst Annahmen über Zusammenhänge von Variablen der Lernumgebung oder treffen Annahmen über Effekte von Veränderungen bestimmter Werte einer Variablen auf die Werte anderer Variablen. Eine Variable ist dabei ein Konzept oder Begriff, der in einem Inhaltsbereich beobachtbar ist (van Joolingen & de Jong, 1997). Relevante Variablen des Inhaltsbereiches „Auftrieb in Flüssigkeiten“ sind zum Beispiel Masse, Volumen, Auftriebskraft oder Gewichtskraft. Beim Aufstellen von Annahmen werden idealerweise Formulierungen wie „je...desto...“ oder „wenn...dann...“ verwendet, denn die Annahmen über Zusammenhänge zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen eines Inhaltsbereiches müssen durch Experimente klar verifizierbar oder zu falsifizierbar sein. Beispiele für mögliche Hypothesen zum für die vorliegende Arbeit besonders relevanten Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ wären „Je größer das Volumen eines Körpers bei konstant bleibender Masse ist, desto geringer ist seine Dichte“ oder „Wenn die Dichte eines Körpers in einer Flüssigkeit größer ist als die Dichte dieser Flüssigkeit, dann sinkt der Körper“. Dabei spielt das domänenspezifische Vorwissen eine bedeutsame Rolle, da erst ein gewisses Maß an Vorwissen das Aufstellen geeigneter Annahmen und Hypothesen ermöglicht.

Auf eine Suche im Hypothesenraum kann dann eine *Suche im Experimenterraum* folgen. Die Lernenden müssen nun nach geeigneten Experimenten suchen, mit denen sich die zuvor bestimmten Annahmen überprüfen lassen. Entscheidend ist dabei, dass die Lernenden systematische und strategische Experimente durchführen, welche die Annahmen exakt testen. Das bedeutet, Experimente müssen so gewählt werden, dass beobachtbare Ausprägungen abhängiger Variablen genau auf bestimmte Änderungen bestimmter unabhängiger Variablen zurückzuführen sind. Erst dann können Annahmen korrekt überprüft und als allgemein gültige Regeln verifiziert werden. Von elementarer Bedeutung ist dabei das Nutzen geeigneter *Experimentierstrategien* (Chen & Klahr,

1999; de Jong et al., 1998; van Joolingen & de Jong, 1997) (vgl. Kapitel 2.2.3 Experimentierstrategien). Auch bei der Suche im Experimenterraum spielt das domänenspezifische Vorwissen eine bedeutende Rolle, da mögliches Wissen über Variablen oder Zusammenhänge von Variablen das Planen von strategischen Experimenten begünstigen kann.

*Durch die Interaktion beider Räume*, also durch das Zusammenwirken einer erfolgreichen *Suche im Hypothesenraum* und einer erfolgreichen *Suche im Experimenterraum*, können die Lernenden schließlich *gültige Regeln* der Domäne oder des Inhaltsbereiches ableiten und die selbstständig entdeckten Informationen in ihre Wissensbasis integrieren (Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997). Ein Beispiel für eine gültige Regel des Inhaltsbereiches „Auftrieb in Flüssigkeiten“ wäre, „Sobald die Dichte eines Körper kleiner ist als die Dichte einer Flüssigkeit, schwimmt der Körper darin“.

Die Ergebnisse zweier Studien zur empirischen Überprüfung des SDDS – Modells belegten, dass das Aufstellen und Testen von Hypothesen dabei keiner festzulegenden Reihenfolge entsprechen muss (Klahr & Dunbar, 1988). Erwachsene Probanden hatten in zwei unterschiedlichen Lernumgebungen („Big Trak“ und „Milk Truck Problem“) die Aufgabe, mit Hilfe geeigneter Experimente zunächst unbekannte Informationen zu entdecken. Diese beiden Untersuchungen zeigten, dass es offensichtlich personenspezifische Bevorzugungen bei der Herangehensweise gab. Eine Personengruppe (theorists) begann ihre Suche unter Nutzung ihres Vorwissens mit der Generierung von Hypothesen im Hypothesenraum, die anschließend im Experimenterraum überprüft wurden. Eine andere Personengruppe (experimenters) begann die Suche hingegen mit experimentellen Variationen im Experimenterraum. Anschließend wurden auf Basis der durchgeführten Experimente passende Theorien im Hypothesenraum entwickelt (Klahr & Dunbar, 1988). Die Studien von Klahr und Dunbar belegen, dass wissenschaftlich entdeckendes Lernen durch Experimentieren nicht zwangsläufig mit einer Suche im Hypothesenraum beginnen muss. Annahmen können theoriebasiert getroffen aber auch auf Basis experimenteller Variationen im Experimenterraum formuliert werden. Dabei folgen Bilden und Testen von Hypothesen keiner festzulegenden Reihenfolge. Beispielsweise formulieren Lernende auf Basis ihres Vorwissens eine Annahme und testen diese durch geeignete Experimente. Durch das Experimentieren werden Informationen generiert, welche zwar die vorherige Annahme widerlegen aber zum Entwickeln einer neuen Theorie führen. So kann auf Basis dieser Experimente eine neue Hypothese for-

muliert und mit Hilfe weiterer Experimente überprüft werden. Die folgende Abbildung 4 stellt mögliche Prozesse des Bildens und Testens von Hypothesen grafisch dar.

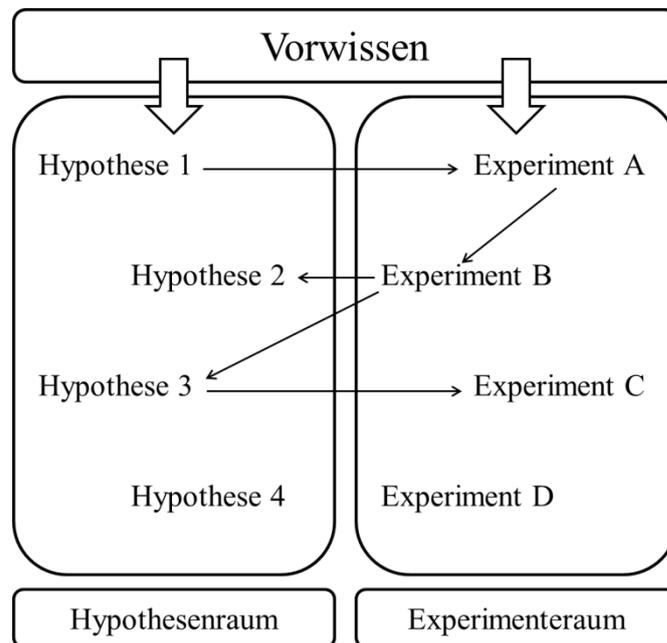


Abbildung 4. Prozesse des SDDS-Modells. In Anlehnung an Gößling (2010).

Folglich beschreibt das *Scientific Discovery as Dual Search* – Modell wissenschaftlich entdeckendes Lernen durch Experimentieren (*Scientific Discovery Learning*) als Suche in zwei miteinander interagierenden Räumen, dem Hypothesenraum und dem Experimenterraum. Dabei wird schließlich angenommen, dass gerade die Interaktion zwischen dem Aufstellen von Hypothesen und dem Testen mittels strategisch durchzuführender Experimente für den Lernerfolg beim wissenschaftlich entdeckenden Lernen verantwortlich ist (Gößling, 2010; Klahr & Dunbar, 1988). Dies konnte unter anderem auch von Gößling (2010) empirisch belegt werden (Gößling, 2010). Demnach beschreibt der SDDS-Ansatz drei grundlegende, miteinander verbundene Prozesse des *Scientific Discovery Learning*: Das Aufstellen von Hypothesen unter Nutzung des Vorwissens, das Testen von Hypothesen durch geeignete strategische Experimente und schließlich auch das Evaluieren der Ergebnisse (van Joolingen & de Jong, 1997).

### 2.2.3 Strategien des Experimentierens im Rahmen des Scientific Discovery Learning

Wie bereits im vorherigen Kapitel angesprochen, fordert das wissenschaftlich entdeckende Experimentieren das systematische und strategische Testen zuvor bestimmter Hypothesen. Nach dem theoriebasierten oder experimentell begründeten Aufstellen einer zu prüfenden Hypothese (*Suche im Hypothesenraum*), müssen die Lernenden Experimente entwerfen, welche die getroffene Annahme exakt testen (*Suche im Experimenterraum*). Das bedeutet, Experimente müssen so gewählt werden, dass beobachtbare Ausprägungen abhängiger Variablen genau auf bestimmte Änderungen bestimmter unabhängiger Variablen zurückzuführen sind. Von elementarer Bedeutung ist dabei das Nutzen geeigneter Experimentierstrategien.

*Strategie der isolierenden Variablenkontrolle.* Die isolierende Variablenkontrolle (IVK) (im Englischen Control of Variables Strategy (CVS) (Chen & Klahr, 1999)) ist grundlegend charakterisierend für das systematische und strategische Vorgehen beim wissenschaftlich entdeckenden Lernen durch Experimentieren (Chen & Klahr, 1999; Wirth & Leutner, 2005) und gilt im Sinne des SDDS – Modells als zentrale Strategie der Suche im Experimenterraum (Klahr & Dunbar, 1988).

Die IVK-Strategie zielt darauf ab, den Zusammenhang zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen zu untersuchen. Dazu wird in mindestens zwei aufeinanderfolgenden Experimenten die Ausprägung genau einer unabhängigen Variablen variiert, während alle anderen unabhängigen Variablen in ihrer Ausprägung konstant gehalten werden (vgl. „*IVK-between*“ Künsting et al., 2008). So kann eine potenzielle Veränderung in der Ausprägung der abhängigen Variablen eindeutig auf die einzig variierte unabhängige Variable zurückgeführt werden (Chen & Klahr, 1999).

Um beispielsweise unter Nutzung der isolierenden Variablenkontrolle systematisch und strategisch zu testen, ob ein Körper in einer Flüssigkeit sinkt, sobald die Dichte des Körpers größer ist als die Dichte der Flüssigkeit, könnten Schülerinnen und Schüler wie folgt vorgehen. In eine Flüssigkeit wird zunächst ein solcher Körper gegeben, welcher eine kleinere Dichte als die Flüssigkeit aufweist. In dieselbe Flüssigkeit wird anschließend ein neuer Körper gegeben, welcher eine größere Dichte als die Flüssigkeit besitzt. Die unabhängige Variable wäre in diesem Beispiel die Dichte des Körpers und die abhängige Variable die Auftriebskraft. Die unabhängige Variable wird also variiert (Dichte Körper größer/kleiner als Dichte Flüssigkeit) und die Ausprägung der abhängi-

gen Variablen wird beobachtet (Schwimmen oder Sinken des Körpers). Beim ersten Versuch werden die Lernenden beobachten können, dass der Körper schwimmt; beim zweiten Versuch, dass der Körper sinkt. Da keine weitere unabhängige Variable, außer der Dichte des Körpers, verändert wurde, kann die Ausprägung der abhängigen Variablen exakt auf die Variation der unabhängigen Variablen zurückgeführt werden. Anstatt der Dichte des Körpers hätte sich umgekehrt auch die Dichte der Flüssigkeit als unabhängige Variable isoliert variieren lassen.

Empirische Untersuchungen zur Lernwirksamkeit der IVK-Strategie beim wissenschaftlich entdeckenden Lernen durch Experimentieren belegen eindeutig, dass die Anwendung der isolierenden Variablenkontrolle einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg hat (Chen & Klahr, 1999; Göbbling, 2010; Künsting et al., 2008; Wirth, Thillmann, Marschner, Göbbling & Künsting, 2011). In Bezug auf die für die Untersuchung der vorliegenden Arbeit genutzte virtuelle Lernumgebung zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ sind insbesondere die Untersuchungen von Künsting et al. (2008), Göbbling (2010) und Wirth et al. (2011) hervorzuheben, da diese Studien unter Nutzung derselben, beziehungsweise einer nahezu identischen computerbasierten Lernumgebung, einen positiven Effekt der IVK – Nutzung auf den Lernerfolg messen konnten (Göbbling, 2010; Künsting et al., 2008; Wirth et al., 2011).

*Isolierende Relationenkontrolle.* Göbbling (2010) stellte fest, dass es neben der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle ein weiteres Verfahren gibt, mit dem in der für die vorliegende Arbeit genutzten virtuellen Lernumgebung Hypothesen exakt getestet werden können. Im Sinne der isolierenden Relationenkontrolle (IRK) wird eine Relation zwischen zwei Variablen gezielt geprüft, indem bei aufeinanderfolgenden Experimenten die Relation zwischen den Variablen konstant gehalten wird, während alle weiteren Variablen in ihren Ausprägungen variiert werden. Dies ist möglich, da die computerbasierte Lernumgebung nur eine begrenzte Anzahl an Variablen bereitstellt.

Um beispielsweise unter Nutzung der isolierenden Variablenkontrolle zu testen, ob ein Körper immer im Wasser schwebt, wenn die Dichte des Wassers der Dichte des Körpers entspricht, könnten Lernende wie folgt vorgehen. In einem ersten Experiment wird ein beliebiger Körper gewählt, dessen Dichte der Dichte des Wassers entspricht. Die Lernenden werden beobachten können, dass dieser Körper schwebt. In folgenden Experimenten wird diese Relation konstant gehalten, das bedeutet, dass die Dichte des gewählten Körpers immer der Dichte des Wassers entsprechen muss. Die Variablen Volumen und Masse werden aber in allen möglichen Ausprägungen variiert. Da die

Lernenden bei jedem dieser Experimente beobachten werden, dass der Körper schwebt, unabhängig von dem Volumen oder der Masse, kann die Hypothese angenommen werden.

*Extremwertvariation.* Integriert in die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle kann die Strategie der Extremwertvariation das Identifizieren von Zusammenhängen zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen vereinfachen und die Eindeutigkeit generierter Ergebnisse erhöhen (Wirth & Leutner, 2005). Dazu wird in mindestens zwei aufeinanderfolgenden Experimenten die Ausprägung genau einer unabhängigen Variablen so variiert, dass dieser zunächst ein sehr niedriger (hoher) und anschließend ein sehr hoher (niedriger) Wert zugewiesen wird. So kann eine potenzielle Veränderung in der Ausprägung der abhängigen Variablen einfacher und eindeutiger identifiziert werden, beispielsweise dann, wenn eine geringe Variation der unabhängigen Variablen nur eine geringe und schwer identifizierbare Änderung der abhängigen Variablen auslöst. Um wie im soeben aufgeführten Beispiel den Einfluss der Dichte eines Körpers auf die Auftriebskraft des Körpers in einer Flüssigkeit isoliert und extremvariiert zu überprüfen, müsste im ersten Experiment ein Körper mit einer sehr kleinen (der kleinsten) Dichte in eine Flüssigkeit gegeben werden. In einem darauf folgenden Experiment müsste anschließend ein neuer Körper mit einer sehr großen (der größten) Dichte in dieselbe Flüssigkeit gegeben werden.

*Systematische Ordnung von Experimenten.* Wirth et al. (2005) bemerken, dass systematisch aufeinander aufbauendes Experimentieren die Eindeutigkeit der generierten Informationen erhöhen kann (Wirth & Leutner, 2005). Das systematische Ordnen von Experimenten meint dabei die Planung und Durchführung ganzer Sequenzen von zueinander in Beziehung stehenden Experimenten (Künsting, 2007). Angenommen es wären beim obigen Beispiel zwei Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Dichten vorhanden (beispielsweise Wasser und Öl). Dann müsste idealerweise der Einfluss der Variablen „Art der Flüssigkeit“ ausgeschlossen beziehungsweise eliminiert werden, indem dieselben Experimente wiederholt unter Nutzung beider Flüssigkeiten jeweils getrennt voneinander durchgeführt werden. Es müsste also eine Sequenz von zwei zueinander in Beziehung stehenden Experimentepaaren entworfen werden. Erst dann kann sichergestellt werden, dass die Annahme unabhängig von der gewählten Flüssigkeit gültig ist.

#### 2.2.4 Aspekte der Selbstregulation beim Scientific Discovery Learning

De Jong und van Joolingen (1997) fanden heraus, dass mit wachsender Komplexität der Lernumgebungen auch die Anforderungen an die Lernenden stiegen. Sie untersuchten in mehreren empirischen Studien das wissenschaftlich entdeckende Lernen durch Experimentieren in realen und in komplexen realitätsnahen computerbasierten Lernumgebungen und formulierten auf Grundlage der Theorie von Klahr und Dunbar (1988) „*An extended dual search model of scientific discovery learning*“ (de Jong et al., 1998; van Joolingen & de Jong, 1997), eine erweiterte Version des SDDS - Modells, welche eine detailliertere Analyse wissenschaftlich entdeckenden Lernens durch Experimentieren ermöglicht.

Auf Basis ihrer Untersuchungen beschrieben de Jong und van Joolingen den Prozess des wissenschaftlich entdeckenden Lernens (*Scientific Discovery Learning*) als Aufeinanderfolge mehrerer *transformativer* und *regulativer Prozesse*. Die transformativen Prozesse sind dabei notwendig, um direkt Informationen zu generieren und Wissen zu konstruieren (Das Aufstellen von Hypothesen, das Testen von Hypothesen durch geeignete Experimente, das Evaluieren der Ergebnisse) (van Joolingen & de Jong, 1997). De Jong und van Joolingen betonen, dass dabei von einem komplexen, *zyklischen und asymmetrischen* Verlauf der Suche im Hypothesenraum, der Suche im Experimenterraum und der daraus resultierenden Formulierung gültiger Regeln ausgegangen werden muss (de Jong & Njoo, 1992; de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997). Das systematische Planen und Ausführen der transformativen Prozesse bedarf ein hohes Maß an selbstregulativer Kompetenz der Lernenden (de Jong & Njoo, 1992; de Jong et al., 1998; van Joolingen & de Jong, 1997). Folglich sind neben den transformativen Prozessen regulative Prozesse, wie das Planen und Überwachen des eigenen Lernprozesses von zentraler Bedeutung für das Gelingen wissenschaftlich entdeckenden Lernens in beziehungsreichen Lernumgebungen (van Joolingen & de Jong, 1997). Je offener und beziehungsreicher die Lernumgebungen dabei sind, desto größer sind die Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden (van Joolingen & de Jong, 1997). Die wachsenden Ansprüche erschweren das systematische und strategische Ausführen der transformativen Prozesse und können zu einer Überforderung der Schülerinnen und Schüler führen (Kempf & Künsting, eingereicht; Künsting, 2007; Künsting et al., 2008; Künsting et al., 2011; Thillmann, 2007; Wirth et al., 2008).

Studien zum wissenschaftlich entdeckenden Lernen in komplexen und realitätsnahen Simulationen belegen, dass Schülerinnen und Schüler wenig selbstreguliert und überwiegend unsystematisch vorgehen (Chen & Klahr, 1999; de Jong & van Joolingen, 1998). Häufig misslingt den Lernenden das Aufstellen einer korrekten Beziehung zwischen Hypothese und Experiment sowie das Interpretieren der durch Experimente generierten Daten (de Jong & Njoo, 1992; de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Dunbar, 1988).

Das Aufstellen von zu prüfenden Hypothesen ist ein komplizierter Prozess, der eine entscheidende Rolle für den Lernerfolg spielt (de Jong & van Joolingen, 1998). Hypothesen dürfen nicht zu allgemein oder zu kompliziert formuliert werden, denn schließlich müssen diese eindeutig durch ein passendes Experiment exakt prüfbar sein (de Jong & Njoo, 1992). De Jong und Njoo (1993) konnten beispielsweise belegen, dass selbst Studenten große Probleme haben, in komplexen Lernumgebungen korrekte und vor allem durch Experimente exakt prüfbare Hypothesen aufzustellen (de Jong & Njoo, 1992; de Jong & van Joolingen, 1998).

Nach dem Aufstellen einer zu prüfenden Hypothese müssen passende Experimente geplant und die dadurch generierten Daten interpretiert werden. Studien belegen, dass Schülerinnen und Schüler aber oftmals große Probleme dabei haben, zu einer getroffenen Annahme ein passendes Experiment zu entwerfen (de Jong & Njoo, 1992). So kommt es häufig dazu, dass Lernende Experimente planen, welche die aufgestellte Hypothese gar nicht testen. Ebenfalls nutzen Lernende nur selten geeignete Experimentierstrategien, um Annahmen und Hypothesen gezielt zu überprüfen (Chen & Klahr, 1999; de Jong & van Joolingen, 1998; de Jong et al., 1998; Künsting et al., 2008). Gerade bei leistungsschwachen Schülerinnen und Schülern konnte beispielsweise das Anwenden der IVK-Strategie nur selten beobachtet werden (de Jong & Njoo, 1992). Vielmehr variieren die Lernenden die Werte mehrerer unabhängiger Variablen gleichzeitig, sodass eine Änderung in der Ausprägung einer abhängigen Variablen nicht exakt auf die Wertevariation einer unabhängigen Variablen zurückgeführt werden kann. Darüber hinaus konnte mehrfach beobachtet werden, dass Schülerinnen und Schüler ausschließlich Experimente suchen, welche eine formulierte Hypothese verifizieren, anstatt diese zu widerlegen (de Jong & van Joolingen, 1998). Scheinbar gibt es auch das Phänomen, dass Hypothesen trotz widersprüchlicher Daten nicht verworfen werden, da die Lernenden diese so verinnerlicht haben, dass Experimente keine Überzeugung liefern und Gegenbeispiele nur schwer akzeptiert werden (de Jong & van Joolingen, 1998).

Gerade leistungsschwache Schülerinnen und Schüler, welche über ein geringes Maß an domänenspezifischem Vorwissen und selbstregulativen Kompetenzen verfügen, sind schließlich nicht in der Lage, eine korrekte Beziehung zwischen Hypothese und Experiment herzustellen, die durch Experimente generierten Daten korrekt zu interpretieren und ziehen falsche Schlüsse aus ihren Beobachtungen (de Jong & Njoo, 1992; de Jong & van Joolingen, 1998). So kommt es häufig zu einem falschen Verifizieren oder Widerlegen bereits getroffener Annahmen (Klahr & Dunbar, 1988). Dadurch übernehmen die Schülerinnen und Schüler falsche Zusammenhänge und verinnerlichen auf Basis ihrer Experimente möglicherweise falsche inhaltspezifische Regeln. So ist zu konstatieren, dass wissenschaftlich entdeckendes Lernen in komplexen Lernumgebungen bei leistungsschwachen Schülerinnen und Schülern nur wenig und möglicherweise auch falsches Wissen generieren kann.

### **2.2.5 Selbstreguliertes Experimentieren**

Die bereits in Kapitel 2 vorgestellten wesentlichen Elemente theoretischer Ansätze zum selbstregulierten Lernen in offenen Lernumgebungen finden sich im Ansatz des wissenschaftlich entdeckenden Lernens durch Experimentieren wieder: Schülerinnen und Schüler arbeiten weitestgehend selbstbestimmt, legen sich Ziele und Wege des Lernens eigenständig bereit und entdecken Inhalte im Zuge eines selbstgeplanten und eigenständig überwachten Lernprozesses.

Der Ansatz des selbstregulierten Lernens in offenen Lernumgebungen besitzt allerdings einen lernformübergreifenden Charakter, während der Ansatz des wissenschaftlich entdeckenden Lernens durch Experimentieren als *eine spezielle Form des selbstregulierten Lernens in naturwissenschaftlichen Domänen* zu verstehen ist. So charakterisiert beispielsweise die Konzeptualisierung selbstregulierten Lernens nach Simons (1992) in einer allgemeinen Weise die kognitiven und metakognitiven Prozesse wissenschaftlich entdeckenden Lernens: (1) das Lernen unter Nutzung vorhandenem Vorwissen vorbereitet, (2) die Lernhandlungen durchführen, (3) das Lernen mit Hilfe von Kontroll- und Eingreifstrategien regulieren, (4) die Lernleistung bewerten und (5) die Motivation und Konzentration aufrechterhalten (vgl. Prozesse des wissenschaftlich entdeckenden Lernens: *Das Aufstellen von Hypothesen unter Nutzung des Vorwissens, das Testen von Hypothesen durch geeignete Experimente, das Evaluieren der Ergebnisse*. Kapitel 2.2.2). Der Ansatz des selbstregulierten Lernens beinhaltet daher eher allgemeine, domänen- und lernformübergreifende Lern- und Regulationsstrategien und wird

auch als *fächerübergreifende Kompetenz* verstanden (Baumert et al., 2000), während im Ansatz des wissenschaftlich entdeckenden Lernens neben allgemeinen kognitiven und metakognitiven Fähigkeiten insbesondere das selbstgesteuerte *Aufstellen und Testen von Hypothesen* als zentrale Strategie des selbstreguliert-entdeckenden Lernprozesses gesehen werden muss. Als konkrete kognitive Lernstrategien sind in diesem Zusammenhang Experimentierstrategien, wie beispielsweise *die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle* zu benennen.

Beiden Forschungsansätzen ist schließlich die selbstständige und aktiv konstruierte Erschließung neuen Wissens und die damit verbundene Selbstregulation des eigenen Lernprozesses gemein (vgl. Wirth & Leutner, 2005). Unter der Prämisse, dass eine experimentelle Lernumgebung den Schülerinnen und Schülern selbstbestimmtes Experimentieren ermöglicht, fordert wissenschaftlich entdeckendes Lernen selbstreguliertes Lernen. Je offener und beziehungsreicher die Lernumgebungen dabei sind, desto größer sind die Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden und desto entscheidender sind selbstregulative Prozesse für den Lernerfolg (vgl. Kapitel 2.2.2 van Joolingen & de Jong, 1997).

Die in der folgenden Untersuchung genutzte virtuelle Lernumgebung zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ ist durchaus als komplexe realitätsnahe Simulation zu verstehen, welche den Schülerinnen und Schülern selbstreguliertes Lernen ermöglicht (vgl. Kapitel 4). Um in erster Linie den hoch selbstregulativen Prozess dieser Lernform zu betonen, aber auch aus ökonomischen Gründen wird die in der vorliegenden Arbeit zu untersuchende Lernform, das wissenschaftlich entdeckende Lernen durch Experimentieren in einer offenen Lernumgebung, fortan als *„selbstreguliertes Experimentieren“* bezeichnet.

## **2.3 Zusammenfassung**

*Kapitel 1 und Kapitel 2.1.1.* Im Verständnis einer modernen Bildung gehört es zu den zentralen Aufgaben der Schule, den Schülerinnen und Schülern den Erwerb nachhaltigen Wissens sowie grundlegender fachlicher und überfachlicher Kompetenzen zu ermöglichen. Diese gelten als Voraussetzung einer erfolgreichen Berufsausbildung und einer aktiven Teilhabe am gesellschaftlichen Leben. Der Erwerb *naturwissenschaftlicher Kompetenzen* spielt dabei eine zentrale Rolle, denn erst eine umfassende naturwissenschaftliche Grundbildung ermöglicht das Verstehen und Deuten der alltäglichen Umwelt und ist gerade in technologisch und industriell hoch entwickelten Staaten von

wachsender Bedeutung. Der Begriff Kompetenz ist dabei als eine auf die Funktionalität von Wissen bezogene Konzeption zu verstehen: Die in der Schule erworbenen Kenntnisse müssen in alltäglichen Anwendungssituationen genutzt werden können. Das Ausbilden metakognitiver, prozeduraler und domänenübergreifender Kenntnisse sind daher zentrale Komponenten einer kompetenzorientierten Bildung.

*Kapitel 2.1.2 und Kapitel 2.1.3.* Eine Lernform, die es den Lernenden ermöglichen kann, nachhaltiges und transferierbares Wissen zu erwerben und darüber hinaus wichtige fachliche und überfachliche Kompetenzen auszubilden ist das *selbstregulierte Lernen in offenen Lernumgebungen*. Charakteristisch für selbstregulierte Lernprozesse ist, dass Schülerinnen und Schüler weitestgehend selbstbestimmt arbeiten, Ziele und Gegenstände einer Lernumgebung selbstständig entdecken und sich das Wissen im Verlauf des Lernprozesses aktiv und selbstständig aneignen. Dabei müssen die Lernenden ausgehend von einer Basis strategischer und domänenspezifischer Kenntnisse ihren Lernprozess eigenständig planen, überwachen und regulieren. Der Erfolg des selbstregulierten Lernens hängt dabei wesentlich von drei Komponenten ab: Vom domänenspezifischen Vorwissen, vom Wissen über kognitive und metakognitive Lernstrategien sowie der Kompetenz diese selbstreguliert anwenden zu können und der Motivation der Lernenden. Selbstreguliertes Lernen kann nur dann erfolgreich sein, wenn die Voraussetzungen aller Komponenten in ausreichendem Maße erfüllt sind, da selbstgesteuerte Lernprozesse erst durch ein Interagieren dieser Komponenten ermöglicht werden (vgl. *Rahmenmodell des selbstregulierten Lernens* (Baumert et al., 2000; Boekaerts, 1997). Das *domänenspezifische Vorwissen* ist dabei der stärkste Prädiktor für den Lernerfolg. Es wird angenommen, dass die Vorhersagekraft des bereichsspezifischen Wissens auf den Lernerfolg mit zunehmender Komplexität der Lernumgebung steigt. In Bezug auf die Motivation der Lernenden ist anzunehmen, dass insbesondere die *aktuelle Motivation*, der motivationale Zustand direkt vor beziehungsweise während des Lernprozesses, ein starker Prädiktor für den Lernerfolg beim selbstregulierten Lernen ist.

*Kapitel 2.2.* Als eine spezielle Form des selbstregulierten Lernens in offenen Lernumgebungen kann das wissenschaftlich entdeckende Lernen durch Experimentieren (*Scientific Discovery Learning*) verstanden werden. Dieses kann einen tieferen kognitiven Prozess bei den Lernenden stimulieren und zu weitaus mehr Lernerfolg im Sinne einer naturwissenschaftlichen Kompetenzausbildung beitragen, als beispielsweise lehrerzentriertes und instruktional angeleitetes Experimentieren.

*Kapitel 2.2.2.* Klahr und Dunbar (1988) entwickelten auf Basis des *Zwei – Räume – Modells* von Simon und Lea (1974) (*Scientific Discovery*) das einflussreiche *Scientific Discovery as Dual Search – Modell* (SDDS). Klahr und Dunbar prägten dabei die Theorie des wissenschaftlich entdeckenden Lernens (*Scientific Discovery Learning*) als eine spezielle Form des selbstreguliert – entdeckenden Lernens durch Experimentieren und beschrieben den wissenschaftlich entdeckenden Lernprozess als eine duale Suche in zwei Problemräumen, dem *Hypothesenraum* und dem *Experimenterraum*. Bei der Suche im Hypothesenraum treffen Lernende auf Basis ihres Vorwissens Annahmen über Zusammenhänge von Variablen einer Lernumgebung und formulieren zu prüfende Hypothesen. Auf eine Suche im Hypothesenraum kann dann eine Suche im Experimenterraum folgen. Die Lernenden müssen nun nach geeigneten Experimenten suchen und im Sinne des entdeckenden Lernens (*Discovery Learning*) durch Experimentieren Daten oder Informationen generieren, welche die zuvor getroffenen Annahmen prüfen. Entscheidend ist dabei, dass die Lernenden systematische und strategisch experimentieren, sodass beobachtbare Ausprägungen abhängiger Variablen genau auf bestimmte Änderungen bestimmter unabhängiger Variablen zurückzuführen sind. Das Anwenden geeigneter *Experimentierstrategien*, wie beispielsweise *der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle* (IVK) hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf den Lernerfolg (vgl. *Kapitel 2.2.3*). Durch die *Interaktion beider Räume*, also durch das Zusammenwirken einer erfolgreichen Suche im Hypothesenraum und einer erfolgreichen Suche im Experimenterraum, können die Lernenden schließlich gültige Regeln einer Domäne oder eines Inhaltsbereiches formulieren und die selbstständig entdeckten Informationen in ihre Wissensbasis integrieren. Das wissenschaftlich entdeckende Lernen durch Experimentieren beinhaltet also drei zentrale Prozesse: Das Aufstellen von Hypothesen auf Basis des Vorwissens, das Testen von Hypothesen durch geeignete Experimente und das Evaluieren der Ergebnisse.

*Kapitel 2.2.4.* Das Aufstellen und Testen von Hypothesen muss dabei keiner festzulegenden Reihenfolge entsprechen. Vielmehr ist von einem komplexen, zyklischen und asymmetrischen Verlauf auszugehen. Hypothesen können beispielsweise theoriebasiert getroffen aber auch auf Basis experimenteller Variationen im Experimenterraum formuliert werden. Je offener und beziehungsreicher eine Lernumgebung ist, desto größer sind dabei die Ansprüche an die *Selbstregulation* der Lernenden. Das systematische Planen und Ausführen *transformativer Prozesse* (das Aufstellen von Hypothesen, das Testen von Hypothesen durch geeignete Experimente, das Evaluieren der Ergebnisse)

bedarf ein hohes Maß an *regulativen Prozessen* (das Planen und Überwachen des eigenen Lernprozesses) (vgl. „*An extended dual search model of scientific discovery learning*“ van Joolingen & de Jong, 1997). Daher ist anzunehmen, dass gerade leistungsschwache Schülerinnen und Schüler, welche nur über ein geringes Maß an domänenspezifischem Vorwissen und selbstregulativen Kompetenzen verfügen, nicht in der Lage sind, eine korrekte Beziehung zwischen Hypothese und Experiment herzustellen und die durch Experimente generierten Daten korrekt zu interpretieren. Diese Schülerinnen und Schüler ziehen möglicherweise falsche Schlüsse aus ihren Beobachtungen und übernehmen falsche Zusammenhänge und Regeln.

### **3 Fragestellung**

Die als Bildungsziel formulierte Entwicklung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen als elementarer Bestandteil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung und der dazu gelegte Schwerpunkt auf das entdeckende Lernen durch Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht (Kapitel 1, vgl. auch Hessisches Kultusministerium, 2010; Kultusministerium Hessen; Kultusministerium Hessen, 2010) stehen im Kontrast zu den Erkenntnissen der empirischen Bildungsforschung:

Die bisherige empirische Forschung zum selbstregulierten Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht belegt einerseits, dass selbstreguliertes Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht einen tieferen kognitiven Prozess bei den Lernenden stimulieren und zu weitaus mehr Lernerfolg im Sinne einer naturwissenschaftlichen Kompetenzausbildung beitragen kann als lehrerzentriertes, instruktional und operational angeleitetes Experimentieren bei dem der naturwissenschaftliche Zugang der Schülerinnen und Schüler nur singular durch eigenes Erschließen von Inhalten und Zusammenhängen erfolgt (Kapitel 2.1.1, Kapitel 2.1.2, vgl. auch de Jong & Njoo, 1992; de Jong & van Joolingen, 1998; de Jong et al., 1998; Klahr & Nigam, 2004; Künsting, 2007; Künsting et al., 2008; Seidel et al., 2006; van Joolingen & de Jong, 1997; Wirth et al., 2011).

Andererseits belegen Forschungsergebnisse aber auch, dass der Lernerfolg beim selbstregulierten Experimentieren oftmals ausbleibt, da die hohen Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden insbesondere bei leistungsschwachen Schülerinnen und Schülern, welche nur über ein geringes Maß an domänenspezifischem Vorwissen und selbstregulativen Kompetenzen verfügen, zu einer Überforderung führen können (Kapi-

tel 2.1.3, Kapitel 2.2.4, Kapitel 2.2.5, vgl. auch de Jong & Njoo, 1992; de Jong et al., 1998; Kempf & Künsting, eingereicht; Künsting, 2007; Künsting et al., 2011; Thillmann, 2007; van Joolingen & de Jong, 1997; Wirth et al., 2008).

Ein übergeordnetes Ziel der empirischen Forschung zum selbstregulierten Experimentieren sollte daher die Entwicklung adäquater Unterstützungsmaßnahmen sein. Diese sollten sich nach Möglichkeit an den individuellen Bedürfnissen der Schülerinnen und Schüler orientieren um eine möglichst effektive und an die Lernreife angepasste Unterstützung zu realisieren. In diesem Zusammenhang ist es beispielsweise wichtig zu wissen, ob und inwieweit sich jahrgangstypische Förderbedürfnisse nachweisen lassen und auf welche Faktoren diese möglicherweise zurückzuführen sind.

Eine Forschungslücke besteht bislang allerdings darin, dass nicht hinreichend untersucht wurde, wie systematisch Lernende beim selbstregulierten Experimentieren in der Sekundarstufe I vorgehen, welche Variablen dabei lernrelevant sind und inwieweit sich diesbezüglich Unterschiede zwischen verschiedenen Jahrgangsstufen ergeben.

Die vorliegende Arbeit soll zum Schließen dieser Forschungslücke beitragen, indem exemplarisch das selbstregulierte Experimentieren der gymnasialen Jahrgangsstufen 8 und 9 in einer virtuellen Lernumgebung (Kapitel 4) untersucht wird (die Durchführung wird detailliert in Kapitel 5.4 vorgestellt). Dabei soll zum einen der Einsatz konkreter Experimentierstrategien (IVK- und IRK-Strategie, Kapitel 2.2.3) und zum anderen die systematische Interaktion zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen (Interaktion im Sinne des SDDS-Modells, Kapitel 2.2.2) als Indikatoren systematischen Experimentierens analysiert werden. Als mögliche lernrelevante Variablen werden das deklarative Vorwissen sowie die aktuelle Motivation (Kapitel 2.1.3) untersucht.

Um die Aktionen „Anwenden von Experimentierstrategien“ und „systematische Interaktion zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen“ im folgenden Verlauf dieser Arbeit hinreichend voneinander abgrenzen zu können und um gleichermaßen die Notation zu vereinfachen, wird im Folgenden das Anwenden der IVK- und der IRK-Strategie synonym mit der Bezeichnung *strategisches Experimentieren* verwendet. Die systematische Interaktion zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen als Interaktion im Sinne des SDDS-Modells von Klahr und Dunbar (1988) (Kapitel 2.2.2) wird im Folgenden synonym mit der Bezeichnung *systematische Interaktion* verwendet. Beide Aktionen werden als Indikatoren *systematischen Experimentierens* verstanden und im Folgenden auch als *Strategiemaße* bezeichnet.

Das Forschungsziel dieser Untersuchung ist zum einen, Unterschiede in Bezug auf das strategische und systematische Vorgehen beim selbstregulierten Experimentieren zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 9 aufzudecken und zum anderen mögliche Zusammenhänge mit den Variablen Vorwissen, Motivation und Lernerfolg zu identifizieren. Die Ergebnisse dieser Studie können schließlich dazu beitragen, lernreifeorientierte Unterstützungsmaßnahmen zu entwickeln, damit selbstreguliertes Experimentieren erfolgreicher in der Schulpraxis umgesetzt werden kann.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich für die vorliegende Arbeit folgende Forschungsfragen:

- 1) *Wie systematisch gehen die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 8 und 9 beim selbstregulierten Experimentieren vor?*
- 2) *Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem systematischen Vorgehen beim selbstregulierten Experimentieren und dem Lernerfolg?*
- 3) *Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem systematischen Vorgehen beim selbstregulierten Experimentieren und den Variablen Vorwissen und Motivation?*
- 4) *Lassen sich in Bezug auf die Fragen 1)-3) Unterschiede zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 9 nachweisen?*

#### **4 Computerbasierte Lernumgebung**

Um das selbstregulierte Experimentieren zuverlässig und valide untersuchen zu können, wird in der vorliegenden Arbeit eine computerbasierte Lernumgebung in Form einer interaktiven Simulation des physikalischen Inhaltsbereichs zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ eingesetzt. Diese wurde ursprünglich von Künsting (2007) und Thillmann (2007) entwickelt und mehrfach zur Untersuchung selbstregulierter Lernprozesse eingesetzt (Künsting, 2007; Künsting et al., 2008; Thillmann, 2007). Basierend auf den Erkenntnissen dieser Studien konnte die computerbasierte Lernumgebung von Gößling (2010) überarbeitet und hinsichtlich ihrer Funktionalität und Validität optimiert werden. Auch diese Version wurde bereits mehrfach erprobt (Gößling, 2010; Wirth et al., 2011). Insbesondere wurden die für die vorliegende Arbeit genutzten Daten im Rahmen der DFG-Studie ELWmeta (Der Einfluss von Lernzielspezifität auf die Wirksamkeit me-

takognitiver Lernhilfen) unter Einsatz der optimierten Lernumgebung erfasst (Kempff & Künsting, eingereicht).

Der physikalische Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ ist dabei zentraler Bestandteil der Lehrpläne für das Fach Physik der gymnasialen Sekundarstufe I in Hessen. Die Themen „Volumen, Masse und Dichte“ als Eigenschaften von Körpern werden bereits in der Klassenstufe 7 verbindlich unterrichtet. Am Ende der Jahrgangsstufe 8 werden diese Eigenschaften erstmals in Zusammenhang mit dem Inhalt „Auftrieb“ thematisiert. Das Thema „Vom Druck und Auftrieb“ gehört dabei zu den verbindlichen Unterrichtsinhalten der Jahrgangsstufe 8 und kann fakultativ in der Jahrgangsstufe 9 wiederholt werden (Kultusministerium Hessen; Kultusministerium Hessen, 2010). Die curriculare Validität der computerbasierten Lernumgebung wurde zudem durch eine Kooperation mit Experten der Physikdidaktik sowie unter Zuhilfenahme von Schulbüchern gesichert (Künsting, 2007).

Die virtuelle Lernumgebung wurde auf Basis des *Scientific Discovery as Dual Search* – Modells von Klahr und Dunbar (1988) (Kapitel 2.2.2) entwickelt. Das bedeutet, dass den Lernenden sowohl der *Hypothesenraum* als auch der *Experimenterraum* grafisch und funktionell zur Verfügung steht. Die Lernumgebung ermöglicht den Schülerinnen und Schülern somit selbstreguliertes Experimentieren im Sinne des wissenschaftlich entdeckenden Lernens (*Scientific Discovery Learning*) durch das Aufstellen von Hypothesen, die mittels strategisch durchzuführender Experimente getestet werden können. Eine fiktive Figur (Herr Dr. Senkwürfel) führt die Lernenden dabei durch die Lernumgebung und erteilt auch die Lernaufträge. Die Lernumgebung ist dabei durchaus als „Realitätsnahe Simulation moderat komplexer Experimentierumgebungen“ (Wirth & Leutner, 2005) zu verstehen und schafft die Voraussetzungen für offenes, dynamisches und interaktives Lernen.

#### **4.1 Hypothesenraum als Flipchart**

*Gestaltung des Hypothesenraums.* Der Hypothesenraum der computerbasierten Lernumgebung wird den Schülerinnen und Schülern als Flipchart präsentiert und als „Ideentafel“ bezeichnet (vgl. Abbildung 5, rechter Abschnitt). Auf dem Flipchart befinden sich bereits 13 Karteikarten auf denen relevante Konzepte des physikalischen Inhaltsbereiches „Auftrieb in Flüssigkeiten“ notiert sind (Masse ( $m$ ), Volumen ( $V$ ), Form, Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) sowie Eintauchtiefe des Körpers als reine unabhängige Variablen, Dichte des Körpers ( $\rho_K$ ), Auftriebs- und Gewichtskräfte ( $F_A$ ,  $F_G$ ,  $F_o$ ,  $F_u$ ) als so-

wohl unabhängige als auch abhängige Variablen, steigen, schweben, sinken als reine abhängige Variablen).

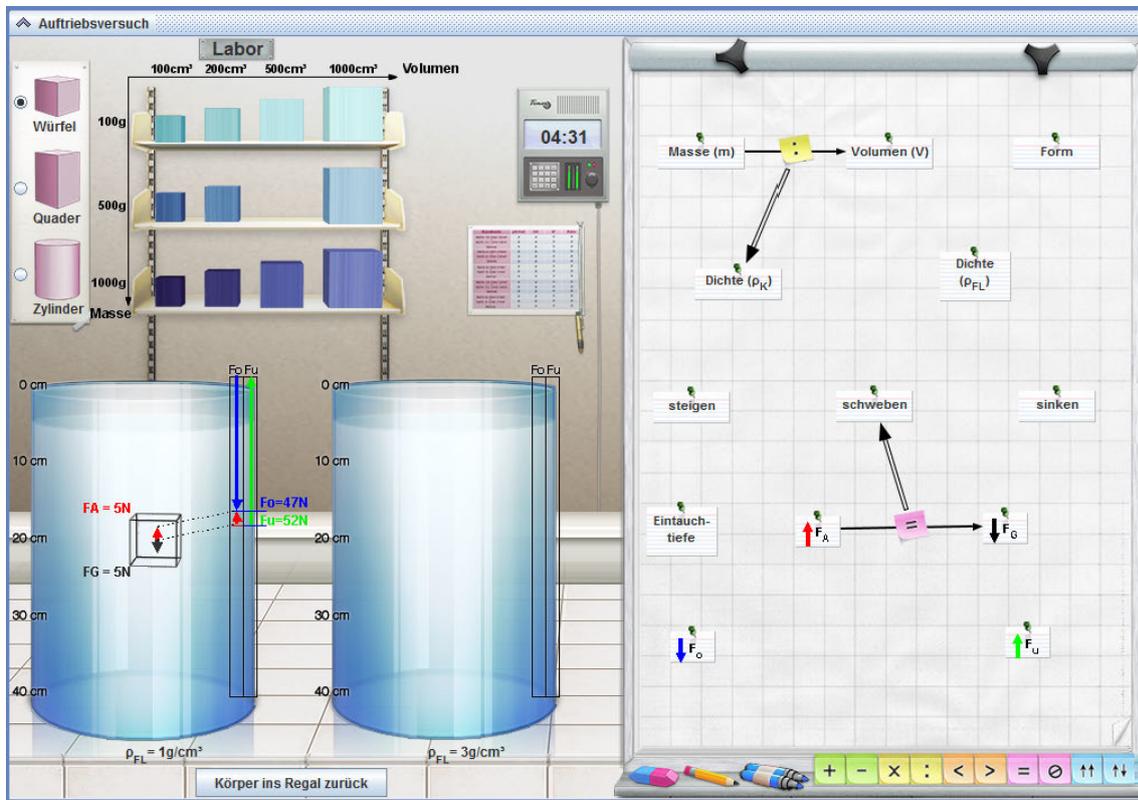


Abbildung 5. Screenshot der computerbasierten Lernumgebung

Unter dem Flipchart befindet sich eine Materialleiste mit 10 als Klebezettel gestalteten Labels, einem Bleistift, einem doppelten Stift und einem Radiergummi. Die ersten vier Labels können zur Darstellung der mathematischen Operationen *Addition*, *Subtraktion*, *Multiplikation* und *Division* (+, -, x, :), die folgenden drei Labels zur Darstellung mathematischer Relationen (<, >, =) verwendet werden. Die letzten drei Labels dienen der Formulierung halb-quantitativer Beziehungen zwischen zwei Variablen (Göbbling, 2010). Dazu gehören die beiden Symbole für eine positive und eine negative lineare Beziehung („je größer, desto größer“ und „je größer, desto kleiner“) sowie ein Symbol für einen nicht vorhandenen Zusammenhang. Der Bleistift kann von den Schülerinnen und Schülern zur Darstellung von Zusammenhängen genutzt werden (beispielsweise „Dichte des Körpers ( $\rho_K$ ) = Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ )“ vgl. Abbildung 6, oben). Den doppelten Stift können Lernende verwenden, um ein aus einem Zusammenhang resultierendes Ergebnis darzustellen (beispielsweise „Dichte des Körpers ( $\rho_K$ ) = Dichte der

Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) → schweben“ vgl. Abbildung 6, unten). Alle Materialien des Flipcharts können von den Lernenden zur Darstellung von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Konzepten der Lernumgebung genutzt werden. Die Bedeutung der unterschiedlichen Label und deren Verwendungsmöglichkeiten werden den Schülerinnen und Schülern zuvor in einem virtuellen Trainingsprogramm zur Nutzung der Ideentafel erläutert (für eine detaillierte Beschreibung des virtuellen Trainingsprogramms siehe Gößling (2010) S.55 ff.).

*Formulieren von Hypothesen und notieren von Regeln.* Der als Flipchart gestaltete Hypothesenraum soll den Lernenden im Sinne des SDDS – Modells von Klahr und Dunbar (1988) das Aufstellen zu prüfender Annahmen und Hypothesen ermöglichen und dient darüber hinaus der Formulierung gültiger Regeln auf Basis bereits geprüfter Hypothesen. Dies bedeutet, dass die Lernenden den Flipchart nutzen können, um bereits experimentell begründete Annahmen festzuhalten und um Annahmen oder Hypothesen zu formulieren, die noch mittels strategisch durchzuführender Experimente zu testen sind.

Um einfache Zusammenhänge zwischen zwei der 13 auf Karteikarten notierten Konzepte zu notieren, müssen die Lernenden zwei dieser Konzepte mit dem Bleistift verbinden und dieser Verbindung anschließend eines der Label zuweisen. Dazu ist es notwendig, den Bleistift durch einen einfachen Mausklick zu aktivieren und anschließend mit gedrückter Maustaste die beiden Karteikarten auf dem Flipchart miteinander zu verbinden. Zwischen diesen beiden Karteikarten erscheint ein Beziehungspfeil, in dessen Mitte sich ein leeres Quadrat befindet. Der Verbindung kann nun ein Zusammenhang zugewiesen werden, indem die Lernenden mit gedrückter Maustaste eines der Label aus der Materialleiste auf das leere Quadrat des Pfeils ziehen. Der doppelte Stift kann verwendet werden, um ein aus einem solchen Zusammenhang resultierendes Ergebnis darzustellen. Dazu müssen die Lernenden den doppelten Stift mit einem einfachen Mausklick aktivieren und anschließend mit gedrückter linker Maustaste das Label des Zusammenhangs mit einem auf den Karteikarten notierten Konzept verbinden. Zwischen dem Beziehungspfeil und dem gewählten Konzept erscheint ein doppelter Ergebnis-pfeil. Die Ergebnisse beider Aktionen sind in Abbildung 6 zu sehen.

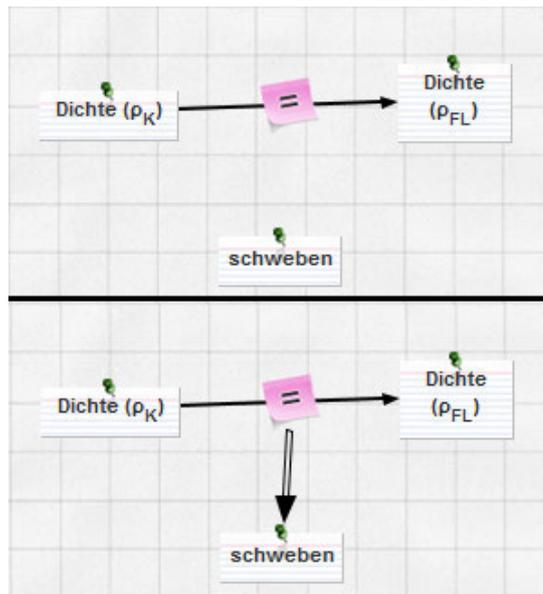


Abbildung 6. Notieren von Zusammenhängen auf dem Flipchart

Um Zusammenhänge oder Ergebnisse von Zusammenhängen zu löschen, muss das Radiergummi mit einem einfachen Maus-Klick aktiviert werden und mit gedrückter linker Maustaste von einer Karteikarte oder dem Label zu der zweiten Karteikarte gezogen werden. Dadurch verschwindet der dargestellte Pfeil wieder. Die eingezeichneten Pfeile auf dem Flipchart blinken zunächst schwach auf, um dem Lerner zu signalisieren, dass dieser Zusammenhang noch überprüft werden muss. Durch einen doppelten Mausklick auf das Label kann der Lernende das Blinken des Pfeils stoppen. Damit signalisiert der Lernende, dass der dargestellte Zusammenhang überprüft und als korrekt erachtet wurde. Schließlich besteht auch die Möglichkeit, ein Label auf einem Pfeil durch ein anderes Label zu ersetzen, indem mit gedrückter Maustaste das neue Label auf das alte Label gezogen wird.

## 4.2 Experimenterraum als Labor

*Gestaltung des Experimenterraums.* Der Experimenterraum der computerbasierten Lernumgebung ist als Simulationen eines realen Experimentiersettings zu verstehen und wird den Schülerinnen und Schülern als Labor präsentiert, indem Experimente durchgeführt und die Ergebnisse beobachtet werden können (vgl. Abbildung 5, linker Abschnitt). In der Mitte des Labors befinden sich zwei identische, nebeneinanderstehende, gläserne und mit Wasser gefüllte Gefäße. Visuell unterscheiden sich diese beiden Gefäße nicht voneinander. Allerdings beinhaltet das erste Gefäß Süßwasser, während das

zweite Gefäß mit Salzwasser gefüllt ist, sodass sich die Flüssigkeiten beider Gefäße hinsichtlich ihrer Flüssigkeitsdichte ( $\rho_{FL}$ ) unterscheiden. Über diesen Gefäßen befindet sich ein Regal mit zwölf sich in Masse ( $m$ ) und Volumen ( $V$ ) unterscheidenden Körpern, die sich als Würfel, Quader oder Kreiszyylinder wählen lassen, aber keine konkrete Materialbezeichnung besitzen. Dabei sind die Körper so angeordnet, dass Volumen (von links nach rechts) und Masse (von oben nach unten) jeweils in vier Schritten zunehmen. Rechts neben dem Regal befindet sich eine Protokolltabelle, welche es den Lernenden ermöglicht, die Angaben und Daten der letzten drei Experimente erneut einzusehen. Die Lernenden können nachlesen, welche Form, welche Masse und welches Volumen der ausgewählte Körper hatte und darüber hinaus auch einsehen, welches Gefäß ausgewählt wurde und wie sich der Körper in diesem verhielt. Schließlich ist oberhalb der Protokolltabelle noch eine Uhr zu finden, anhand der die Lernenden die noch verbleibende Zeit zum Experimentieren ablesen können.

*Experimentieren im Labor.* Im Sinne des wissenschaftlich entdeckenden Lernens durch Experimentieren (*Scientific Discovery Learning*) ermöglicht das Labor als Experimenterraum den Lernenden das Entdecken und Generieren neuer Informationen mit Hilfe geeigneter Experimente. Diese können dann die auf dem Flipchart bereits notierten Zusammenhänge testen und zum Formulieren neuer Annahmen inspirieren.

Um Experimente im Labor durchzuführen, müssen die Lernenden einen Körper aus dem Regal auswählen und diesen per „drag-and-drop“-Funktion mit der Maus in eines der beiden Gefäße ziehen. Eine Animation simuliert anschließend das reale Verhalten des Körpers, das Sinken, Steigen oder Schweben, in der gewählten Flüssigkeit. Darüber hinaus werden den Lernenden die auf den Körper wirkenden Kräfte angezeigt.

### **4.3 Verhaltensbasierte Maße**

Alle Eingriffe, welche die Lernenden in der computerbasierten Lernumgebung vornehmen, werden unmittelbar von der Software in ein Logfile gespeichert. Basierend auf dem Ansatz des *Scientific Discovery as Dual Search* – Modells von Klahr und Dunbar (1988) wurden Verhaltensindikatoren systematischen Experimentierens entwickelt und in Form von eindeutigen Algorithmen in ein Computerprogramm implementiert. Anhand dieser Algorithmen ist es möglich, die Logfiledaten computerbasiert auszulesen und strategisches und systematisches Experimentieren der Schülerinnen und Schüler zu identifizieren. So kann der Einsatz konkreter Experimentierstrategien sowie das systematische Interagieren zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen zuverlässig,

valide und ohne störende Eingriffe in den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler zeitökonomisch untersuchen werden. Das logfilebasierte Auslesen der Schülerhandlungen im Rahmen der virtuellen Lernumgebung zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ wurde mehrfach erprobt und hat sich als durchaus valide erwiesen (Göbbling, 2010; Kempf & Künsting, eingereicht; Künsting, 2007; Künsting et al., 2008; Künsting et al., 2011; Thillmann, 2007; Wirth et al., 2011). Im Folgenden werden die für die vorliegende Arbeit relevanten Algorithmen vorgestellt und hinreichend ausgeführt. Für eine ausführlichere Darstellung der verhaltensbasierten Algorithmen und deren Erfassung siehe Göbbling (2010).

*Erfassung des strategischen Experimentierens.* Wie bereits in Kapitel 3 aufgeführt, wird die Bezeichnung „strategisches Experimentieren“ synonym mit der Anwendung der IVK- und IRK- Strategie verwendet. Zur Erfassung des strategischen Experimentierens wurden daher Algorithmen entwickelt, welche zum einen die *Strategie der isolierenden Variablenkontrolle* und zum andere auch die *Strategie der isolierenden Relationenkontrolle* (Kapitel 2.2.3) identifizieren. Ausgehend von der bereits in Kapitel 2.2.3 aufgeführten Operationalisierung der IVK-Strategie im Sinne des *IVK-between-Ansatzes* (Künsting et al., 2008) wird ein „IVK-Experiment“ genau dann registriert, wenn bei zwei aufeinanderfolgenden Experimenten die Ausprägung genau einer unabhängigen Variablen variiert, während alle anderen unabhängigen Variablen in ihrer Ausprägung konstant gehalten werden. Der verhaltensbasierte Algorithmus zur Erfassung der Strategie der isolierenden Relationenkontrolle registriert ein „IRK-Experiment“ genau dann, wenn bei zwei aufeinanderfolgenden Experimenten die Werte der Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) und der Dichte des Körpers ( $\rho_K$ ) konstant gehalten, die Werte der Variablen Masse ( $m$ ) und Volumen ( $V$ ) aber variiert werden. Darüber hinaus registriert die Software auch alle Experimente, bei denen weder die IVK-Strategie noch die IRK-Strategie eingesetzt wurde. Als Maß des strategischen Experimentierens kann schließlich zum einen die absolute Anzahl an durchgeführten IVK- und IRK- Experimenten herangezogen werden, zum anderen kann aber auch der relative Anteil aller IVK- und IRK-Experimente an allen Experimenten betrachtet werden.

*Erfassung der systematischen Interaktion.* Wie bereits in Kapitel 3 aufgeführt, wird die Bezeichnung „systematische Interaktion“ synonym mit der systematischen Interaktion zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen im Sinne des SDDS-Modells von

Klahr und Dunbar (1988) verwendet. Diesem Ansatz zur Folge ist erfolgreiches selbst-reguliertes Experimentieren durch eine Interaktion zwischen einer erfolgreichen Suche im Hypothesenraum und einer erfolgreichen Suche im Experimenterraum charakterisiert. Hypothesen müssen gebildet und mittels strategisch durchzuführender Experimente getestet werden um gültige Regeln formulieren und Wissen konstruieren zu können (vgl. Kapitel 2.2.2 und Kapitel 2.2.4). Daher wurde ein Algorithmus entwickelt, sodass genau dann eine „Interaktion“ registriert wird, wenn ein Lernender entweder zuerst einen Zusammenhang auf dem Flipchart notiert und anschließend ein passendes strategisches Experiment durchführt oder wenn ein Lerner zuerst ein strategisches Experiment durchführt und anschließend einen passenden Zusammenhang auf dem Flipchart notiert. Ein Zusammenhang auf dem Flipchart wird dabei genau dann registriert, wenn zwei Konzepte mit einem Beziehungspfeil verbunden werden oder wenn zu einem bestehenden Zusammenhang ein Ergebnis Pfeil hinzugefügt wird. Als Maß der systematischen Interaktion kann schließlich die absolute Anzahl aller Interaktionen, der relative Anteil aller Interaktionen an allen Experimenten oder der relative Anteil aller Interaktionen an allen notierten Zusammenhängen herangezogen werden.

## **5 Studie**

In diesem Kapitel wird nun die durchgeführte Untersuchung ausführlich vorgestellt und die daraus resultierenden Ergebnisse detailliert präsentiert. Das Ziel dieser Untersuchung ist zum einen, Unterschiede in Bezug auf das systematische Vorgehen beim selbstregulierten Experimentieren zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 9 aufzudecken und zum anderen mögliche Zusammenhänge mit den Variablen Vorwissen, Motivation und Lernerfolg zu identifizieren.

Dazu werden zunächst die bereits in Kapitel 3 theoriebasiert hergeleiteten Fragestellungen in Form von zu prüfenden Hypothesen expliziert (Kapitel 5.1). Anschließend sollen die Stichprobe, die eingesetzten Instrumente und die konkrete Durchführung der Erhebung vorgestellt werden (Kapitel 5.2, 5.3 und 5.4). Schließlich können die erhobenen Daten untersucht und die formulierten Hypothesen getestet werden (Kapitel 5.5).

## 5.1 Hypothesen

### 5.1.1 Herleitung der Hypothesen

Basierend auf der in Kapitel 2 aufgeführten Theorie kann angenommen werden, dass Schülerinnen und Schüler mit hohem Vorwissen, insbesondere mit hohem *domänen- und inhaltspezifischen Vorwissen* erfolgreicher selbstreguliert Experimentieren als Lernende mit geringem Vorwissen. Diese Annahme kann dahingehend begründet werden, dass domänenspezifisches Vorwissen allgemein ein entscheidender Prädiktor für den Lernerfolg ist und insbesondere in Lernumgebungen, in denen hohe Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden gestellt werden als entscheidende Voraussetzung für einen erfolgreichen Lernprozess gilt (Kapitel 2.1.3). Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass domänen- und inhaltspezifisches Vorwissen insbesondere den Erfolg beim selbstregulierten Experimentieren fördert, da erst ein ausreichendes Vorwissen das Aufstellen geeigneter Annahmen und Hypothesen ermöglicht (Kapitel 2.2.2).

In Bezug auf die Frage, ob und inwieweit sich Unterschiede in Bezug auf das systematische Experimentieren zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 9 ergeben, kann angenommen werden, dass die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 9 systematischer experimentieren als die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 8. Diese Annahme lässt sich dahingehend begründen, dass die Lernenden der Jahrgangsstufe 9 aufgrund ihrer längeren Schulerfahrung häufiger Gelegenheit hatten, domänen- und inhaltspezifisches Vorwissen zu erwerben. Darüber hinaus ist auch annehmbar, dass die Lernenden des 9. Jahrgangs häufiger Gelegenheit hatten, kognitive und metakognitive Lernstrategien und insbesondere auch Experimentierstrategien zu trainieren und selbstregulative Kompetenzen auszubilden. Auch diese Komponenten gelten als wichtige Voraussetzungen für erfolgreiches selbstreguliertes Experimentieren (Kapitel 2.2.4).

In Bezug auf die *aktuelle Motivation* ist anzunehmen, dass Schülerinnen und Schüler mit einer hohen aktuellen Motivation systematischer Experimentieren als Lernende mit einer geringen aktuellen Motivation. Diese Annahme lässt sich zum einen dadurch begründen, dass selbstreguliertes Experimentieren stark von der Bereitschaft zur Selbstaktivierung abhängt und erst ein hohes Maß an Motivation die Lernenden dazu befähigt, sich intensiv und konzentriert mit den hohen kognitiven Ansprüchen des selbstregulierten Experimentierens auseinander zu setzen. Zum anderen ist anzunehmen, dass eine hohe aktuelle Motivation die Metakognition der Lernenden und damit

eine zentrale Komponente des selbstregulierten Experimentierens stimuliert (Kapitel 2.1.3, Kapitel 2.2.4).

Schließlich ist in Bezug auf das *systematische Vorgehen beim selbstregulierten Experimentieren* ein eindeutig positiver Zusammenhang mit dem Lernerfolg zu erwarten. Die Anwendung konkreter Experimentierstrategien, insbesondere das Anwenden der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle und das systematische Interagieren zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen gelten als elementare Prozesse des selbstregulierten Experimentierens (Kapitel 2.2.2) und konnten sich bereits mehrfach als eigenständige Prädiktoren für den Lernerfolg erweisen (Kapitel 2.2.2, Kapitel 2.2.3).

### **5.1.2 Formulierung der Hypothesen**

Basierend auf den soeben aufgeführten Überlegungen und den in Kapitel 3 bereits hergeleiteten Forschungsfragen lassen sich folgende Hypothesen formulieren:

- H1 Die Schülerinnen und Schüler der neunten Jahrgangsstufe experimentieren systematischer als die Schülerinnen und Schüler der achten Jahrgangsstufe.
  - a) Lernende der neunten Jahrgangsstufe nutzen häufiger die IVK-Strategie und die IRK-Strategie als Lernende der achten Jahrgangsstufe.
  - b) Lernende der neunten Jahrgangsstufe wenden häufiger die systematische Interaktion zwischen dem Aufstellen und Testen von Hypothesen an als die Lernenden der achten Jahrgangsstufe.
- H2 Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der aktuellen Motivation und dem systematischen Experimentieren.
  - a) Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der aktuellen Motivation und dem strategischen Experimentieren.
  - b) Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der aktuellen Motivation und der systematischen Interaktion.
- H3 Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem deklarativen inhaltspezifischen Vorwissen und dem systematischen Experimentieren.
  - a) Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem deklarativen Vorwissen und dem strategischen Experimentieren

- b) Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem deklarativen Vorwissen und der systematischen Interaktion.
- H4 Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem systematischen Experimentieren und dem Wissenszuwachs.
- a) Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem strategischen Experimentieren und dem Wissenszuwachs.
  - b) Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der systematischen Interaktion und dem Wissenszuwachs.

## 5.2 Stichprobe

Die Untersuchung erfolgte an vier Kasseler Gymnasien mit insgesamt neun teilnehmenden Klassen der Jahrgangsstufen 8 und 9. Insgesamt nahmen  $N = 244$  Schülerinnen und Schüler an der Untersuchung teil (Durchschnittsalter:  $M = 13.68$ ,  $SD = 0.78$  ; 49% weiblich). Die Schülerinnen und Schüler verteilten sich dabei auf vier achte Klassen ( $N = 104$  ; 52% weiblich) und vier neunte Klassen ( $N = 85$  ; 46% weiblich).

Die Auswahl der Jahrgangsstufen begründet sich unter anderem dadurch, dass das Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ Bestandteil des Lehrplans der Sekundarstufe I ist und in seiner Komplexität als angemessen gelten kann. Um zu vermeiden, dass ein zu hohes themenspezifisches Vorwissen die Effekte der Untersuchung beeinflusst, wurde bei der Auswahl der einzelnen Schulklassen explizit darauf geachtet, dass die Schülerinnen und Schüler noch keinen Unterricht zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ erhalten hatten.

## 5.3 Instrumente

### 5.3.1 Systematisches Experimentieren

Das *systematische Experimentieren* wird mittels der bereits in Kapitel 4 vorgestellten virtuellen Lernumgebung zum Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ erfasst. Entsprechend der bereits in Kapitel 3 und Kapitel 4.3 aufgeführten Definition, wird als Maß des *strategischen Experimentierens* die Summe aller durchgeführten IVK-Experimente und aller durchgeführten IRK-Experimente berechnet. Um eine hinreichende Aussage über die Anwendungsqualität treffen zu können, wird neben der absoluten Anzahl aller durchgeführten strategischen Experimente ebenfalls der relative Anteil aller strategi-

schen Experimente an allen durchgeführten Experimenten berechnet. Die Maße des strategischen Experimentierens beziehen sich ausschließlich auf Aktionen im Labor (Experimenterraum) und berücksichtigen nicht die Interaktion mit notierten Zusammenhängen auf dem virtuellen Flipchart (Hypothesenraum).

Als Maß der systematischen Interaktion wird entsprechend der bereits aufgeführten Definition (Kapitel 3, Kapitel 4.3) die Summe aller angewandten systematischen Interaktionen zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen berechnet. Um auch in Bezug auf die systematische Interaktion eine hinreichende Aussage über die Anwendungsqualität treffen zu können, soll neben dem absoluten Maß sowohl der relative Anteil aller Interaktionen an allen Experimenten als auch der relative Anteil aller Interaktionen an allen notierten Zusammenhängen berechnet werden.

Das Maß des strategischen Experimentierens erwies sich in vorangegangenen Studien als valide und reliabel (Göbbling, 2010; Künsting, 2007; Künsting et al., 2008; Künsting et al., 2011). Das Maß der Interaktion erwies sich in vorangegangenen Studien hinsichtlich der Validität auf Grund geringer Nutzung ( $1.8 \leq M \leq 2.3$ ) als schwierig und konnte eine ausreichende bis gute Reliabilität aufweisen (Göbbling, 2010).

### **5.3.2 Deklaratives inhaltspezifisches Wissen (WET)**

Zur Erfassung des *deklarativen inhaltspezifischen Wissens* zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ sowohl vor als auch nach dem selbstregulierten Experimentieren wurde ein papier- und computerbasierter Multiple-Choice-Test (WET) mit insgesamt 12 Items in einer Prätest- und einer Posttestversion eingesetzt (siehe Anhang). Dieser wurde ursprünglich von Künsting (2007) und Thillmann (2008) entwickelt und hinsichtlich der Validität von Göbbling (2010) optimiert und erprobt. Im Sinne eines inhaltsvaliden Tests repräsentieren die 12 Items die in der Lernphase explorierbaren Relationen (Göbbling, 2010; Künsting, 2007). Alle Items wurden den Lernenden dabei in einem Multiple-Choice-Format mit fünf Antwortalternativen dargeboten, wobei die fünfte Antwortkategorie „weiß ich nicht“ die Ratewahrscheinlichkeit einschränken soll. Ein Beispielitem der eingesetzten Skala lautet: „Würfel A hat eine Masse von 100g und ein Volumen von  $200\text{cm}^3$ . Würfel B hat eine Masse von 500g und ein Volumen von  $200\text{cm}^3$ . Welche der folgenden Aussagen stimmt? a) Die Dichte des Würfels A ist größer als die Dichte des Würfels B. b) Die Dichte des Würfels A ist kleiner als die Dichte des Würfels B. c) Die Auftriebskraft des Würfels A ist größer als die Auftriebskraft des Würfels B. d) Die Auftriebskraft des Würfels A ist kleiner als die Auftriebskraft des Würfels B. e) Weiß

ich nicht.“. Der Score für das deklarative domänen- und inhaltspezifische Wissen errechnet sich jeweils für die Prä- und Posttestversion aus dem prozentualen Anteil korrekt beantworteter Items. Als *Lernerfolg* wurde der um das Vorwissen bereinigte deklarative domänen- und inhaltspezifische Wissenszuwachs berechnet. Dabei handelt es sich um den residualen Lerngewinn, also um das standardisierte Residuum, welches sich aus der regressionsanalytischen Vorhersage des Wissens im Posttest durch das Wissen im Prätest errechnet.

In vorangegangenen Studien wurden unterschiedliche aber vergleichbare Versionen des überarbeiteten WET eingesetzt. Diese unterschieden sich hinsichtlich der Anzahl eingesetzter Items und orientierten sich an der Zeitökonomie der jeweiligen Studie. In allen Untersuchungen wies der WET eine gute bis hohe Reliabilität sowie eine angemessene Schwierigkeit auf (Göbbling, 2010:  $.77 \leq \alpha \leq .87$ ; Kempf & Künsting, eingereicht:  $.77 \leq \alpha \leq .82$ ). Auch in dieser Untersuchung wies sowohl die Prätestversion als auch die Posttestversion des WET eine akzeptable bis gute Reliabilität auf ( $.69 \leq \alpha_{\text{Prätest}} \leq .79$ ;  $.81 \leq \alpha_{\text{Posttest}} \leq .83$ ).

### **5.3.3 Aktuelle Motivation (AMT)**

Zur Erfassung der aktuellen Motivation wurde der „Fragebogen zur aktuellen Motivation“ (FAM) von Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001) computerbasiert eingesetzt. Eine Skala aus 9 Items kontrollierte die aktuelle Motivation nach dem Trainingsprogramm und direkt vor dem selbstregulierten Experimentieren in der virtuellen Lernumgebung. Die Lernenden müssen dabei ihre aufgabenspezifische Motivation selbst einschätzen. Ein Beispielitem der eingesetzten Skala lautet: „Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.“. Die Lernenden müssen Aussagen wie diese auf einer siebenstufigen Likert-Skala (1 = „trifft nicht zu“ bis 7 = „trifft zu“) bewerten. Der Fragebogen zur aktuellen Motivation wies in dieser Untersuchung eine gute Reliabilität auf ( $.84 \leq \alpha \leq .85$ ).

## **5.4 Durchführung**

Die für die vorliegende Untersuchung genutzten Daten wurden im Rahmen des DFG-Projekts ELWmeta (Der Einfluss von Lernzielspezifität auf die Wirksamkeit metakognitiver Lernhilfen) unter der Leitung von Prof. Dr. Josef Künsting im Jahr 2011 an der Universität Kassel erhoben (Kempf & Künsting, eingereicht). In dieser Studie wurden

in einem experimentellen 2x2-Design mögliche Interaktionseffekte zwischen den experimentell variierten Faktoren „metakognitive Lernhilfen“ und „Lernzielspezifität“ und dem Faktor Jahrgangsstufe auf die Lernwirksamkeit untersucht.

Die Erhebungen wurden in Absprache mit den Schulen an vier Gymnasien von geschulten Mitarbeitern des DFG-Projekts ELWmeta durchgeführt. Da alle erforderlichen Materialien, insbesondere die Laptopcomputer, seitens des Projekts zur Verfügung gestellt wurden, war es möglich, den Aufwand für die Schulen gering zu halten und den schulischen Tagesablauf kaum zu beeinträchtigen. An jedem der vier Gymnasien wurde identisch vorgegangen.

Die Untersuchung wurde in drei Erhebungstermine aufgeteilt (Abbildung 7). Bereits eine Woche vor der Hauptuntersuchung wurden das deklarative inhaltsspezifische Vorwissen (WET Prätest), die kognitiven Grundfähigkeiten und das Strategiewissen papierbasiert erfasst. Um der Fragestellung des Projekts ELWmeta nachzugehen, wurden die Schülerinnen und Schüler am Tag der Hauptuntersuchung innerhalb des experimentellen 2x2 Designs mit den Faktoren „metakognitive Lernhilfen“ (mit vs. ohne Lernhilfen) und „Lernzielspezifität“ (spezifische vs. unspezifische Lernziele) und innerhalb ihrer jeweiligen Jahrgangsstufen einer der vier Experimentalgruppen randomisiert zugewiesen. Zwei der vier Experimentalgruppen erhielten eine 20-minütige metakognitive Förderung. Innerhalb dieser zwei Gruppen wurde der experimentelle Faktor „Lernzielspezifität“ variiert (Abbildung 7). Die Darbietung der spezifischen und unspezifischen Zielvorgaben erfolgte softwarebasiert während der Lernphase in der virtuellen Lernumgebung.

Alle Lernenden arbeiteten anschließend autonom an ihren Laptopcomputern und erwarben selbstreguliert-experimentierend Wissen in der in Kapitel 4 bereits vorgestellten virtuellen Lernumgebung zum Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Die fiktive Figur „Herr Dr. Senkwürfel“ führte die Schülerinnen und Schüler visuell und auditiv durch ein animiertes, 20-minütiges Trainingsprogramm und erläuterte den Lernenden die Funktionsweise und den Umgang mit dem virtuellen Labor. Direkt nach dem computerbasierten Trainingsprogramm wurden die aktuelle Motivation (AMT) und die aktuellen Emotionen selbstauskunfts-basiert erfasst. Anschließend begann die 20-minütige Lernphase. Die Schülerinnen und Schüler erhielten dabei unterschiedliche Lernziele und sollten entsprechend ihrer Arbeitsaufträge systematisch experimentieren und Zusammenhänge explorieren. Eine softwarebasierte Erfassung verhaltensorientierter Algorithmen identifizierte dabei das systematische und strategische Vorgehen beim selbst-

regulierten Experimentieren (Kapitel 4.3). Abschließend bearbeiteten die Lernenden den Posttest zum deklarativen inhaltspezifischen Wissen (WET Posttest), sodass der um das Vorwissen bereinigte Wissenszuwachs in Beziehung zum systematischen und strategischen Experimentieren gesetzt werden kann. Außerdem wurden im Rahmen der Studie ELWmeta nach der Lernphase im Labor zusätzlich Instrumente zur Erfassung des Cognitive Loads, der aktuellen Motivation und der aktuellen Emotionen und zur Erfassung des Handlungswissens eingesetzt (Abbildung 7). Für eine ausführlichere Darstellung der eingesetzten Instrumente siehe beispielsweise (Kempf & Künsting, eingereicht). Insgesamt dauerte die Hauptuntersuchung etwa 90 Minuten.

Nach einem Zeitraum von etwa drei Wochen folgte jeweils eine dritte Erhebung um die Nachhaltigkeit des Lernerfolgs zu überprüfen. Die Abbildung 7 stellt das ursprüngliche Untersuchungsdesign der experimentellen Studie grafisch dar.

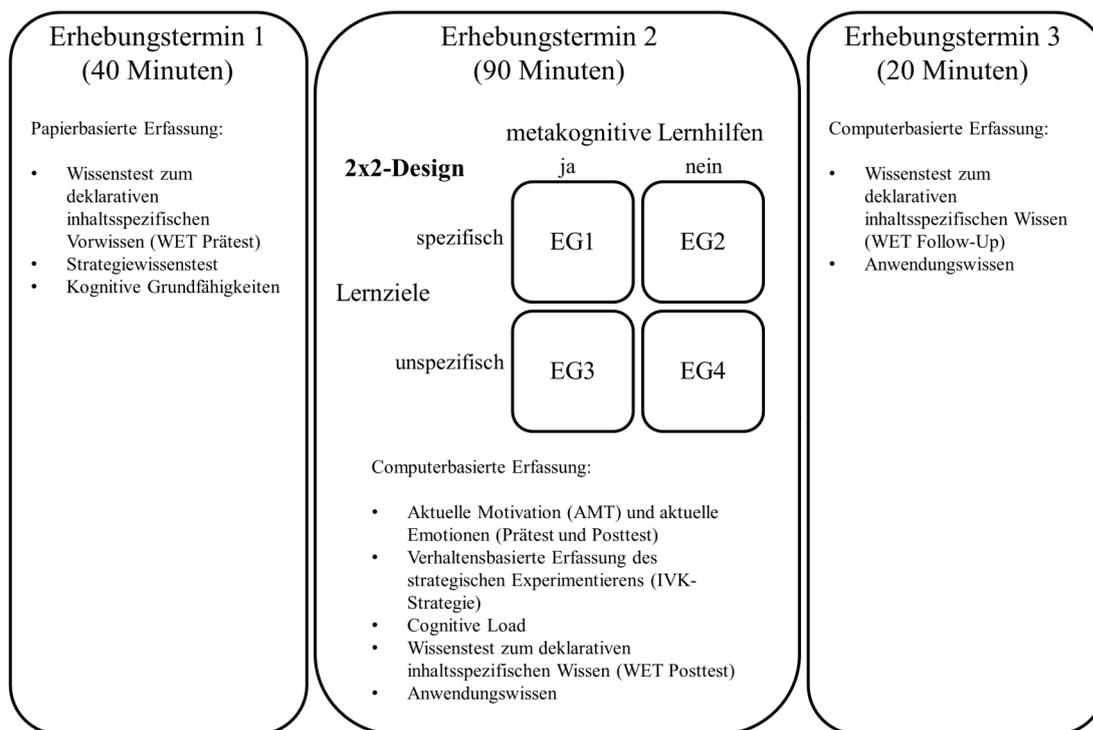


Abbildung 7. Untersuchungsdesign ELWmeta

Eingebettet in die Studie ELWmeta nutzt die vorliegende Arbeit die erhobenen Daten, verfolgt aber eine andere Fragestellung. Da die Schülerinnen und Schüler im Rahmen des experimentellen 2x2-Designs innerhalb ihrer Jahrgangsstufen randomisiert den Ex-

perimentalgruppen zugeordnet wurden, kann die Jahrgangsstufe in der vorliegenden Arbeit als quasi-experimenteller Faktor betrachtet und unabhängig von den experimentell variierten Faktoren untersucht werden. Um die in Kapitel 5.1 formulierten Hypothesen zu testen werden außerdem ausschließlich diejenigen Variablen untersucht, die mit Hilfe der in Kapitel 5.2 aufgeführten Instrumente gemessen wurden (deklaratives Vorwissen, Motivation und Lernerfolg). Die folgende Abbildung 8 stellt das vereinfachte Design der vorliegenden Untersuchung zusammenfassend dar.

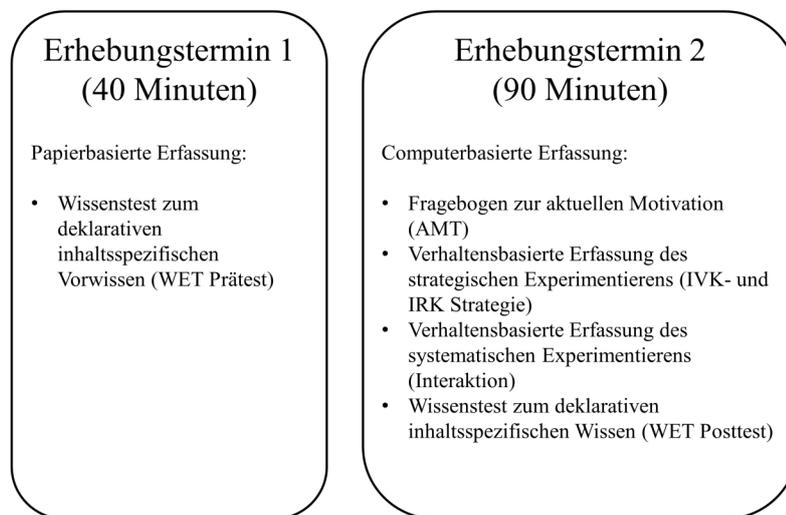


Abbildung 8. Vereinfachtes Untersuchungsdesign der vorliegenden Arbeit

## 5.5 Ergebnisse

In diesem Kapitel sollen nun die Befunde der durchgeführten Analysen präsentiert und schließlich zur Testung der bereits formulierten Hypothesen herangezogen werden. Im folgenden Abschnitt wird daher zunächst beschrieben, auf welcher Weise die Hypothesen genau getestet werden sollen. Anschließend wird in Kapitel 5.5.2 die durchgeführte Bereinigung der Stichprobe vorgestellt und begründend erläutert. Das Kapitel 5.5.3 gibt im Anschluss einen Überblick über die erhobenen Daten der gesamten Stichprobe. Dabei werden in erster Linie die deskriptiven Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung vorgestellt. Schließlich werden die aufgestellten Hypothesen getestet und die Befunde zusammenfassend dargestellt.

### 5.5.1 Statistisches Vorgehen

In einem *ersten Schritt* soll die Unterschiedshypothese H1 getestet werden. Dazu sollen Unterschiede in Bezug auf das systematische Experimentieren (strategisches Experimentieren und systematische Interaktion) zwischen den Stichproben der Jahrgangsstufen 8 und 9 identifiziert und auf ihre Signifikanz untersucht werden (Kapitel 5.5.3). Um Unterschiede aufzudecken, sollen die Ergebnisse einer deskriptiven Untersuchung der eingesetzten Instrumente und Strategienmaße vorgestellt und im Sinne einer Gegenüberstellung der beiden Teilstichproben analysiert werden. Um festzustellen, ob sich die Mittelwerte der untersuchungsrelevanten Variablen in den Teilstichproben statistisch signifikant voneinander unterscheiden, sollen *t*-Tests zwischen unabhängigen Stichproben durchgeführt werden. Statistische Bedeutsamkeit erlangen Signifikanzniveaus in der vorliegenden Arbeit ab einem *p*-Wert von  $p < .05$ . Dies bedeutet, dass dieser Arbeit ein Konfidenzniveau von 95% zugrunde gelegt wurde.

Die Ergebnisse der *t*-Tests sollen schließlich varianzanalytisch abgesichert werden. Daher soll in einer ersten varianzanalytischen Untersuchung eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) mögliche Unterschiede in den Variablen des systematischen Experimentierens zwischen den beiden Teilstichproben überprüfen, indem der Haupteffekt des quasi-experimentellen Faktors Klassenstufe auf das systematische Experimentieren geprüft wird. Mit diesem Verfahren kann, im Gegensatz zu einem *t*-Test zwischen unabhängigen Stichproben, die Wirkung von mehreren Variablen aufeinander gleichzeitig berechnet werden. So kann der Alpha-Inflation vorgebeugt werden, die bei der Berechnung vieler nacheinander durchgeführter *t*-Tests auftreten kann (Bortz & Schuster, 2010). In einer zweiten varianzanalytischen Untersuchung soll mittels einer multivariaten Kovarianzanalyse (MANCOVA) der um die Motivation und um das Vorwissen bereinigten Effekt des Faktors Klassenstufe auf das systematische Experimentieren untersucht werden.

In einem *zweiten Schritt* sollen die Zusammenhangshypothesen H1, H2 und H3 getestet werden. Dazu sollen mögliche Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen und der Motivation und den Variablen des systematischen Experimentierens mittels einer Korrelationsanalyse identifiziert und ausführlich vorgestellt werden. Schließlich sollen Unterschiede in den Zusammenhängen zwischen den Teilstichproben anschließend im Sinne einer deskriptiven Gegenüberstellung untersucht werden.

### 5.5.2 Bereinigung der Stichprobe

Bei der deskriptiven Analyse zeigte sich, dass die Datenqualität einiger Schülerinnen und Schüler nicht zufriedenstellend war. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Lage- und Streuungsparameter der während der Lernphase im virtuellen Labor registrierten Aktionen.

Tabelle 1. Lage- und Streuungsparameter der gesamten Stichprobe

Maß	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Q</i> <sub>0,25</sub>	<i>Q</i> <sub>0,50</sub>	<i>Q</i> <sub>0,75</sub>
Strategisches Experimentieren	0	76	11.21	10.17	4	9	15
Interaktion	0	9	3.02	2.11	2	3	4
Notierte Zusammenhänge	0	28	8.44	4.97	6	8	11
Durchgeführte Experimente	0	121	21.08	17.86	9	16	27

Besonders auffällig ist das extrem hohe Maximum aller durchgeführten Experimente ( $Max = 121$ ) im Vergleich zum Mittelwert  $M = 21.08$  oder im Vergleich zum Median  $Q_{0,50} = 16$ . Ebenfalls fallen die hohen Standardabweichungen aller Maße auf. In Bezug auf die berechneten Quartile kann eine hohe positive Schiefe der Häufigkeitsverteilung festgestellt werden: Etwa 75% der Lernenden führten zwischen  $Min = 0$  und  $Q_{0,75} = 27$  Experimente während der Lernphase durch, während bei etwa 25% der Lernenden zwischen  $Q_{0,75} = 27$  und  $Max = 122$  Experimente gemessen wurden. Die Häufigkeitsverteilung der registrierten Aktionen weicht mit zunehmender Anzahl durchgeführter Experimente somit stark von normalverteilten Daten ab.

Es scheint nicht plausibel zu sein, dass einige Lernende derart viele Experimente durchführen, um Lernziele zu erreichen und Zusammenhänge zu explorieren. Die extrem hohe Anzahl durchgeführter Experimente einiger Schülerinnen und Schüler kann daher auf eine nicht repräsentative Teilnahme an der Untersuchung hindeuten. Während der Testungen konnten Schüleraktivitäten beobachtet werden, die diese Annahme stützen: Einige Schülerinnen und Schüler zeigten nur wenig Interesse an einer ernsthaften Teilnahme an dem Projekt und erzeugten offensichtlich nicht repräsentative Daten, in-

dem sie die virtuelle Lernumgebung zweckentfremdet und rein motorisch bedienen, ohne dabei das Erreichen vorgegebener Lernziele zu verfolgen. Darüberhinaus konnte bei der Durchsicht aller erhobener Daten festgestellt werden, dass die Datensätze derjenigen Schülerinnen und Schüler, die extrem viele Experimente durchführten, ungewöhnlich viele Missings aufweisen. Auch diese Tatsache könnte ein Indiz dafür sein, dass diese Lernenden kein Interesse an einer ernsthaften Teilnahme an dem Projekt hatten.

Schließlich besteht die Gefahr, dass die durch extrem häufiges Experimentieren erzeugten Daten die Stichprobe verzerren, was das Zustandekommen nicht repräsentativer Ergebnisse begünstigen kann. Beispielsweise kann es passieren, dass bei extrem vielen durchgeführten Experimenten auch entsprechend mehr ungewollt strategische Experimente durchgeführt wurden. So wird zum Beispiel eine Schülerin, die 121 Experimente insgesamt durchführte, auch entsprechend mehr unbeabsichtigte IVK-Experimente durchgeführt haben, im Vergleich zu Schülerinnen und Schülern mit deutlich weniger durchgeführten Experimenten insgesamt.

Aufgrund des möglichen negativen Einflusses auf die Datenqualität wurden Ausreißer identifiziert, deren Anzahl durchgeführter Experimente über dem 1,5-fachen des Interquartilabstandes lag. So konnten  $N = 12$  Schülerinnen und Schüler identifiziert werden, welche mehr als 54 Experimente durchführten ( $N_{8. \text{ Jahrgang}} = 7$ ;  $N_{9. \text{ Jahrgang}} = 5$ ). Dies entspricht in etwa 5% der gültigen Fälle. Alle folgenden Analysen beziehen sich auf die bereinigte Stichprobe.

Um dennoch die Vergleichbarkeit zu bewahren, werden in den folgenden deskriptiven und korrelativen Tabellen sowohl die Werte der bereinigten Stichprobe als auch die Werte der nicht bereinigten Stichprobe in Klammern aufgeführt. Haben sich Werte durch das Bereinigen der Stichprobe nicht verändert, so wird auf das Aufführen in Klammern verzichtet.

### 5.5.3 Deskriptiver Überblick

*Deklaratives Wissen (WET)*. Bei einer verbleibende Gesamtstichprobe von  $N = 213$  zeigte sich, dass die Schwierigkeit des eingesetzten Wissenstest (WET) mit einem Mittelwert von  $M = .27$  ( $SD = .23$ ) im Prätest relative hoch und einem Mittelwert von  $M = .41$  ( $SD = .27$ ) im Posttest fast mittelschwer ist (Tabelle 2). Der Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass sich der Wissenstest insbesondere bei den Schülerinnen und Schülern der achten Jahrgangsstufe als schwierig erwies ( $N = 103$ ,  $M_{\text{Prätest}} = .18$ ,  $M_{\text{Posttest}} = .33$ ). Bei

einer verbleibenden Stichprobe der neunten Jahrgangsstufe von  $N = 110$  zeigte sich hingegen eine angemessene Schwierigkeit des Wissenstests mit einem Mittelwert von  $M = .35$  ( $SD = .24$ ) im Prätest und einem Mittelwert von  $M = .48$  ( $SD = .26$ ) im Posttest (Tabelle 4). Die Reliabilität, die im Sinne der internen Konsistenz mittels Cronbachs Alpha geprüft wurde, weist für den Wissenstest sowohl über die gesamte Stichprobe als auch über die jeweiligen Stichproben der Jahrgangsstufen zufriedenstellende bis gute Werte auf ( $.69 \leq \alpha \leq .83$ ).

Mit Hilfe eines  $t$ -Tests zwischen unabhängigen Stichproben kann gezeigt werden, dass die Schülerinnen und Schüler der neunten Jahrgangsstufe über ein hoch signifikant höheres Vorwissen als die Schülerinnen und Schüler der achten Jahrgangsstufe verfügen ( $t(200) = 5.81, p < .001, d = 0.82$ ). Um den Wissenszuwachs ermitteln zu können, wurde zum einen die einfache Mittelwertdifferenz aus Post- und Prätest ( $\Delta$ Post-Prätest) und zum anderen der um das Vorwissen bereinigte Wissenszuwachs (residualer Lerngewinn) berechnet. Die Lernenden beider Jahrgangsstufen konnten während der 20-minütigen Lernphase in der virtuellen Lernumgebung Wissen erwerben ( $\Delta$ Post-Prätest<sub>8.Jahrgang</sub>: .15,  $\Delta$ Post-Prätest<sub>9.Jahrgang</sub>: .13). Der Wissenszuwachs als einfache Mittelwertdifferenz ist in den Jahrgangsstufen 8 und 9 je signifikant und praktisch bedeutsam (8. Jahrgang:  $t(103) = 5.91, p < .001, d = 0.63$ ; 9. Jahrgang:  $t(84) = 4.92, p < .001, d = 0.56$ ). Allerdings lässt sich weder für die Mittelwertdifferenz noch für den residualen Lerngewinn ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Jahrgangsstufen nachweisen. Die Schülerinnen und Schüler der achten Jahrgangsstufe konnten im Mittel ebenso viel Wissen erwerben wie die Schülerinnen und Schüler der neunten Jahrgangsstufe.

*Aktuelle Motivation (AMT)*. Sowohl bei der gesamten Stichprobe als auch bei den Stichproben der jeweiligen Jahrgangsstufen konnte eine durchschnittliche aktuelle Motivation gemessen werden ( $.60 \leq M \leq .61$ , vgl. Tabellen 2-4). In Bezug auf die gemessene aktuelle Motivation gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lernenden der achten Jahrgangsstufe und den Lernenden der neunten Jahrgangsstufe. Die Reliabilität im Sinne interner Konsistenz weist für die Erfassung der aktuellen Motivation (AMT) sowohl für die gesamte Stichprobe als auch für die jeweiligen Stichproben der Jahrgangsstufen gute Werte auf ( $.84 \leq \alpha \leq .85$ ).

Table 2. Deskriptive Statistik der gesamten Stichprobe

Instrument	<i>M</i>	<i>SD</i>	$\alpha$	Items
Deklaratives Wissen (WET-Prätest)	.27 (.26)	.23 (.22)	.78 (.77)	12
Deklaratives Wissen (WET-Posttest)	.41 (.40)	.27	.82 (.80)	12
Aktuelle Motivation (AMT)	.61 (.60)	.16 (.17)	.84 (.85)	9

*N* = 213 (225). Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.

Table 3. Deskriptive Statistik der 8. Jahrgangsstufe

Instrument	<i>M</i>	<i>SD</i>	$\alpha$	Items
Deklaratives Wissen (WET-Prätest)	.19 (.18)	.18	.69 (.70)	12
Deklaratives Wissen (WET-Posttest)	.34 (.33)	.26	.83 (.82)	12
Aktuelle Motivation (AMT)	.61	.17	.85	9

*N* = 103 (110). Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.

Table 4. Deskriptive Statistik der 9. Jahrgangsstufe

Instrument	<i>M</i>	<i>SD</i>	$\alpha$	Items
Deklaratives Wissen (WET-Prätest)	.35 (.33)	.24	.79 (.77)	12
Deklaratives Wissen (WET-Posttest)	.48 (.47)	.26	.81 (.80)	12
Aktuelle Motivation (AMT)	.60	.16	.84	9

*N* = 110 (115). Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.

*Systematisches Experimentieren.* In Bezug auf die *Gesamtstichprobe* ( $N = 213$ , Tabelle 5) konnten im Mittel  $M = 9.88$  strategische Experimente registriert werden. Dies entspricht in etwa einem Anteil von 54% an allen durchgeführten Experimenten ( $M = 18.18$ ;  $SD = 12.34$ ). Die Schülerinnen und Schüler nutzen dabei fast ausschließlich die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle (IVK) ( $M = 9.53$ ). Bei etwa 52% aller durchgeführten Experimente und bei etwa 96% aller strategischen Experimente nutzen die Schülerinnen und Schüler die IVK-Strategie. Die Strategie der isolierenden Relationenkontrolle (IRK) wurde nur selten genutzt ( $M = .36$ ). Bei etwa 2% aller durchgeführten Experimente und bei etwa 4% aller strategischen Experimente nutzten die Lernenden die IRK-Strategie.

Obwohl der Flipchart von den Schülerinnen und Schülern zum Notieren von Zusammenhängen in der Häufigkeit zufriedenstellend genutzt wurde ( $M = 8.77$ ), konnte die Interaktion im Sinne des systematischen Bildens und Testens von Hypothesen nur selten registriert werden ( $M = 3.12$ ). Zu etwa 17% aller durchgeführten Experimente wurde eine passende Hypothese notiert und zu etwa 36% aller notierten Zusammenhänge wurde ein passendes Experiment durchgeführt.

*Tabelle 5.* Strategiemäße der gesamten Stichprobe

Maß	<i>M</i>	<i>SD</i>	Anteil an Experimenten	Anteil an Notizen
IVK-Strategie	9.53 (10.77)	7.25 (9.83)	52% (51%)	-
IRK-Strategie	.36 (.44)	0.65 (0.80)	2%	-
Strategisches Experimentieren	9.88 (11.21)	7.40 (10.17)	54% (53%)	-
Interaktion	3.12 (3.02)	2.10 (2.11)	17% (14%)	36%
Notierte Zusammenhänge	8.77 (8.44)	4.84 (4.97)	-	-
Durchgeführte Experimente	18.18 (21.08)	12.34 (17.86)	-	-

*N = 213 (227). Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.*

#### 5.5.4 Befunde zur Unterschiedshypothese H1

In Bezug auf die absolute Anzahl strategisch durchgeführter Experimente unterscheiden sich die *Stichproben der jeweiligen Jahrgangsstufen* nicht signifikant voneinander ( $M_{8. \text{Jahrgang}} = 9.98$ ,  $M_{9. \text{Jahrgang}} = 9.80$ , Tabelle 6 und Tabelle 7). Da die Achtklässler im Mittel aber signifikant mehr Experimente insgesamt durchführten als die Neuntklässler ( $\Delta M = 3.34$ ;  $t(198) = 2.00$ ,  $p < .05$ ,  $d = 0.27$ ) ist in Bezug auf den relativen Anteil strategischer Experimente an allen durchgeführten Experimenten festzustellen, dass die Neuntklässler häufiger strategisch experimentierten als die Achtklässler (8. Jahrgang: 50%, 9. Jahrgang: 59%). Mit einem  $t$ -Test zwischen unabhängigen Stichproben kann ein marginal signifikanter Unterschied ( $t(213) = 1.88$ ,  $p < .065$ ,  $d = 0.26$ ) zwischen den beiden Jahrgangsstufen nachgewiesen werden.

In Bezug auf die systematische Interaktion zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen ist mittels eines  $t$ -Tests für unabhängige Stichproben festzustellen, dass die Lernenden der neunten Jahrgangsstufe ( $M = 3.48$ ) signifikant öfter systematisch interagierten als die Lernenden der achten Jahrgangsstufe ( $M = 2.74$ ) ( $t(213) = 2.61$ ,  $p < .05$ ). Im Einklang mit diesem Ergebnis zeigen die deskriptiven Statistiken der Strategiemasse, dass die Neuntklässler mehr Zusammenhänge ( $\Delta M = .64$ ) auf dem virtuellen Flipchart festhielten und deutlich häufiger zu durchgeführten Experimenten passende Hypothesen notierten als die Achtklässler (8. Jahrgang: 14%, 9. Jahrgang: 21%).

Tabelle 6. Strategiemaße der 8. Jahrgangsstufe

Maß	<i>M</i>	<i>SD</i>	Anteil an Ex- perimenten	Anteil an No- tizen
IVK-Strategie	9.69 (11.16)	7.50 (10.86)	49% (47%)	-
IRK-Strategie	.29 (.39)	0.63 (0.88)	2%	-
Strategisches Experimentieren	9.98 (11.55)	7.68 (11.24)	50% (49%)	-
Interaktion	2.74 (2.68)	1.96	14% (11%)	35% (36%)
Notierte Zusam- menhänge	7.74 (7.44)	4.41 (4.49)	-	-
Durchgeführte Experimente	19.90 (23.57)	13.56 (20.22)	-	-

*N* = 104 (111). Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.

Tabelle 7. Strategiemaße der 9. Jahrgangsstufe

Maß	<i>M</i>	<i>SD</i>	Anteil an Ex- perimenten	Anteil an No- tizen
IVK-Strategie	9.38 (10.40)	7.00 (8.77)	57% (56%)	-
IRK-Strategie	.42 (.48)	0.65 (0.72)	3%	-
Strategisches Experimentieren	9.80 (10.88)	7.15 (9.07)	59% (58%)	-
Interaktion	3.48 (3.35)	2.16 (2.20)	21% (18%)	36%
Notierte Zusam- menhänge	9.74 (9.39)	5.05 (5.24)	-	-
Durchgeführte Experimente	16.56 (18.71)	10.89 (14.97)	-	-

*N* = 111 (116). Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.

In einer ersten Analyse soll eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) die Ergebnisse der bereits durchgeführten *t*-Tests für unabhängige Stichproben prüfen. Dazu werden die Klassenstufe als fester Faktor und die Variablen strategisches Experimentieren und systematische Interaktion als abhängige Variablen berücksichtigt. Die Ergebnisse der MANOVA stehen im Einklang mit den bereits aufgeführten Erkenntnissen. Bei einer verbleibenden Stichprobe von  $N = 213$  ( $N_8. \text{ Jahrgang} = 103$ ;  $N_9. \text{ Jahrgang} = 110$ ) ist der Haupteffekt des quasi-experimentellen Faktors Klassenstufe auf das strategische Experimentieren ( $F_{(1,211)} = 4.00$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .02$ ) und auf die systematische Interaktion ( $F_{(1,211)} = 6.06$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .03$ ) signifikant. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass der Haupteffekt des Faktors Klassenstufe auf die aktuelle Motivation und den Wissenszuwachs nicht signifikant ist.

In einer zweiten varianzanalytischen Untersuchung soll eine multivariate Kovarianzanalyse (MANCOVA) zum einen den Einfluss des deklarativen Vorwissens und der aktuellen Motivation auf das systematische Experimentieren prüfen. Zum anderen soll mit dieser zweiten Analyse der um das Vorwissen und um die aktuelle Motivation bereinigte Effekt der Klassenstufe auf die abhängigen Variablen untersucht werden. Dazu werden die Klassenstufe als fester Faktor, das deklarative Vorwissen und die aktuelle Motivation als Kovariaten und das strategische Experimentieren, die systematische Interaktion sowie das gemessene Wissen im WET Posttest als abhängige Variablen berücksichtigt. Erwartungsgemäß resultiert in der Gesamtstichprobe ein signifikanter Effekt des deklarativen Vorwissens auf das strategische Experimentieren ( $F_{(1,209)} = 9.42$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .04$ ). Allerdings zeigt sich in der multivariaten Kovarianzanalyse kein signifikanter Einfluss des deklarativen Vorwissens auf die systematische Interaktion. In Bezug auf die aktuelle Motivation kann weder ein signifikanter Einfluss auf das strategische Experimentieren noch auf die systematische Interaktion festgestellt werden.

Weiter zeigt sich, dass der um das Vorwissen und die Motivation bereinigte Einfluss der Klassenstufe weder einen signifikanten Effekt auf das strategische Experimentieren noch auf die systematische Interaktion besitzt. Allerdings ist zu vermuten, dass die Klassenstufe einen *tendenziellen* Einfluss auf die systematische Interaktion hat, da die Schülerinnen und Schüler des neunten Jahrgangs signifikant öfter die systematische Interaktion nutzen, diese aber offensichtlich nicht auf das höhere Vorwissen zurückzuführen ist. Möglicherweise kann dieser Einfluss nicht gemessen werden, da nur wenige Interaktionen registriert wurden oder da die absolute Anzahl an durchgeführten Interak-

tionen im Vergleich zu einem relativen Anteil keine hinreichende Aussage über die Qualität der Interaktionsnutzung treffen kann.

Daher soll in weiteren Kovarianzanalysen der um das Vorwissen und die Motivation bereinigte Einfluss der Klassenstufe auf den relativen Anteil der systematischen Interaktionen sowohl an allen durchgeführten Experimenten als auch an allen strategischen Experimenten untersucht werden. Es zeigt sich ein tendenziell signifikanter Effekt der Klassenstufe auf den Anteil der Interaktionen an allen Experimenten ( $F_{(1,206)} = 3.39, p < 0.07, \eta^2 = .02$ ) und schließlich ein signifikanter Effekt des Faktors Klassenstufe auf den Anteil der Interaktionen an allen strategischen Experimenten ( $F_{(1,209)} = 6.28, p < 0.05, \eta^2 = .03$ ). Auf Grundlage dieser Analysen kann schließlich vermutet werden, dass weitere Merkmale, die mit der Klassenstufe variieren, einen etwas größeren Einfluss auf die systematische Interaktion beim selbstregulierten Experimentieren haben könnten, als das deklarative inhaltspezifische Vorwissen, das mit dem WET in dieser Studie gemessen wurde. Neben Kompetenzunterschieden beim selbstregulierten Lernen im Allgemeinen und beim selbstregulierten Experimentieren im Speziellen könnten beispielsweise auch domänenspezifische Vorwissensunterschiede, die vom themenspezifischen WET nicht erfasst werden, zu diesen Merkmalen zählen.

*Bezug zur Fragestellung.* Der deskriptive Überblick gab erste Hinweise auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Bezug auf das systematische Experimentieren zwischen den Jahrgängen 8 und 9. In einer ersten inferenzstatistischen Analyse konnte mit Hilfe von  $t$ -Tests gezeigt werden, dass die Lernenden des neunten Jahrgangs signifikant häufiger die systematische Interaktion zwischen dem Aufstellen und Testen von Hypothesen anwenden als die Lernenden des achten Jahrgangs. Darüberhinaus nutzen die Lernenden des neunten Jahrgangs den virtuellen Flipchart im Mittel öfter und notieren zu Experimenten häufiger passende Hypothesen als die Lernenden des achten Jahrgangs. In Bezug auf die Anwendung konkreter Experimentierstrategien konnte zunächst kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Jahrgangsstufen ermittelt werden. In einer zweiten inferenzstatistischen Analyse wurde der Haupteffekt des quasi-experimentellen Faktors Klassenstufe auf die Variablen des systematischen Experimentierens berechnet. Die Ergebnisse dieser multivariaten Varianzanalyse sprechen dafür, dass die Lernenden des neunten Jahrgangs sowohl signifikant häufiger strategisch experimentieren als auch signifikant häufiger die systematische Interaktion anwenden als die Lernenden des achten Jahrgangs. Die Hypothesen H1a und H1b können somit ange-

nommen werden. Allerdings ist anzunehmen, dass die Schülerinnen und Schüler des neunten Jahrgangs nicht ausschließlich wegen ihres höheren inhaltsspezifischen Vorwissens systematischer experimentieren als die Lernenden des achten Jahrgangs. In Folge einer zweiten varianzanalytischen Untersuchung ist anzunehmen, dass das inhaltsspezifische Vorwissen zwar das strategische Experimentieren begünstigt, die systematische Interaktion aber eher von weiteren jahrgangstypischen Merkmalen abhängt.

### 5.5.5 Befunde zu den Zusammenhangshypothesen H2, H3 und H4

Im Folgenden soll nun genauer untersucht werden ob und inwiefern die Strategiemeße mit den Variablen *Vorwissen*, *Motivation* und *Lernerfolg* zusammenhängen und inwiefern sich zwischen den Jahrgängen 8 und 9 Unterschiede ergeben.

Um die Hypothesen H2, H3 und H4 zu prüfen und um einschätzen zu können, welche Variablen des systematischen Experimentierens miteinander zusammenhängen, wurden entsprechende Korrelationen berechnet. Die Tabelle 8 beinhaltet die Interkorrelationen aller diesbezüglich lernrelevanten Variablen *in der gesamten Stichprobe*.

Erwartungsgemäß korreliert das gemessene deklarative Vorwissen positiv mit dem Einsatz konkreter Experimentierstrategien ( $r = .26, p < .01$ ) und der systematischen Interaktion zwischen dem Aufstellen und Testen von Hypothesen ( $r = .14, p < .05$ ). Hervorzuheben ist an dieser Stelle auch, dass zwischen dem deklarativen Vorwissen und dem Anteil der Interaktionen an allen durchgeführten Experimenten, als ein gewisses Qualitätsmaß des Experimentierens, ein positiver Zusammenhang gemessen wurde ( $r = .18, p < .01$ ). Das deklarative Vorwissen und der Anteil der Interaktionen an allen notierten Zusammenhängen korrelieren allerdings nicht.

Zwischen dem deklarativen Vorwissen und der Mittelwertdifferenz aus dem Post- und Prätest (WET) kann ein signifikant negativer Zusammenhang gemessen werden ( $r = -.35, p < .01$ ). Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der bereits vorgestellten Theorie, da der Wissenstest (WET) hauptsächlich themenspezifisches Wissen erfasst (Kapitel 2.1.3).

Besitzt ein Schüler beispielsweise ein sehr fundiertes und sehr hohes domänenspezifisches Vorwissen ohne direkte Themenentsprechung, aber mit hoher Themenrelevanz für den WET, könnte er dadurch in der Lage sein, entsprechend viele Items bereits im WET der Prätestversion korrekt zu lösen. Dann verbliebe entsprechend weniger Wissenszuwachs, der nach der Lernphase mit dem WET als Posttestversion noch ge-

messen werden kann, da der Schüler aufgrund seines hohen Vorwissens einen Großteil der Items auch vorher schon lösen konnte.

Außerdem zeigt sich ein schwacher, aber statistisch signifikant positiver Zusammenhang zwischen dem deklarativen Vorwissen und der Anzahl an notierten Zusammenhängen auf dem Flipchart ( $r = .14, p < .05$ ).

Wie erwartet, kann auch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der aktuellen Motivation und dem residualen Lerngewinn ermittelt werden ( $r = .20, p < .01$ ). Allerdings korreliert die aktuelle Motivation in der Gesamtstichprobe weder mit dem strategischen Experimentieren noch mit der systematischen Interaktion.

Das strategische Experimentieren korreliert positiv sowohl mit dem residualen Lerngewinn ( $r = .32, p < .01$ ) als auch mit der Mittelwertdifferenz aus dem WET Post- und Prätest ( $r = .20, p < .01$ ). Ebenfalls theoriekonform konnte eine positive Korrelation zwischen dem strategischen Experimentieren und der Interaktion gemessen werden ( $r = .34, p < .01$ ). Schließlich müssen im Sinne einer systematischen Interaktion getroffene Annahmen oder Hypothesen mittels strategisch durchzuführender Experimente geprüft werden.

Für die systematische Interaktion konnte kein signifikanter Zusammenhang mit den Lernerfolgsmaßen gemessen werden. Dieses Ergebnis ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die systematische Interaktion zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen insgesamt nur sehr selten ( $M = 3.12$ ) und bei vielen Schülerinnen und Schülern gar nicht gemessen wurde. Allerdings korreliert die systematische Interaktion positiv mit dem Notieren von Zusammenhängen auf dem virtuellen Flipchart ( $r = .37, p < .01$ ).

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
1. Strategisches Experimentieren	1									
2. Interaktion	.34** (.32**)	1								
3. Anteil Interaktion an Experimenten	.53** (.52**)	.49** (.51**)	1							
4. Anteil Interaktion an Notizen	.29** (.25**)	.64** (.61**)	.16*	1						
5. Aktuelle Motivation (AMT)	.10 (.11)	-.04 (-.05)	.02 (.01)	.02	1					
6. Deklaratives Vorwissen (WET-Prätest)	.26** (.25**)	.14* (.15*)	.18**	-.01 (.02)	.17* (.15*)	1				
7. Residualer Lerngewinn	.32** (.33**)	.09 (.07)	.11	.13 (.10)	.20**	-	1			
8. Differenz WET Post-Prätest	.20** (.21**)	.03 (.01)	.04	.12 (.08)	.12 (.13)	-.35** (-.36**)	.93**	1		
9. Notierte Zusammenhänge	.10	.37** (.42**)	.44** (.48)**	-.21** (-.18**)	.05 (.03)	.14* (.15*)	-.04 (-.05)	-.09 (-.05)	1	
10. Durchgeführte Experimente	-.13 (-.14*)	.08 (-.10)	-.57** (-.55**)	.27** (.13)	.01 (.04)	-.11 (-.10)	.02	.06 (.02)	-.34** (-.43**)	1

\*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.

Tabelle 8. Interkorrelationen in der gesamten Stichprobe

Bei der Berechnung der Interkorrelationen der jeweiligen *Jahrgangsstufen 8 und 9* zeigten sich einige Differenzen in den Zusammenhängen relevanter Variablen des selbstregulierten Experimentierens zwischen den beiden Stichproben (Tabelle 9 und Tabelle 10).

In den Stichproben beider Jahrgangsstufen konnte eine positive Korrelation zwischen dem deklarativen Vorwissen und dem Einsatz konkreter Experimentierstrategien berechnet werden ( $r_{8. \text{ Jahrgang}} = .26, p < .01$  ;  $r_{9. \text{ Jahrgang}} = .22, p < .05$ ). Allerdings ist dieser Zusammenhang bei den Schülerinnen und Schülern des achten Jahrgangs hoch signifikant. In gleicher Weise konnte in den Stichproben beider Jahrgangsstufen eine negative Korrelation zwischen dem Vorwissen und der Mittelwertdifferenz aus dem WET Post- und Prätest ermittelt werden ( $r_{8. \text{ Jahrgang}} = -.25, p < .05$  ;  $r_{9. \text{ Jahrgang}} = -.43, p < .01$ ). Im Vergleich zu den Achtklässlern wurde bei den Neuntklässlern indes ein hoch signifikanter Zusammenhang gemessen.

Das deklarative Vorwissen in der Gesamtstichprobe hängt schwach aber signifikant mit der systematischen Interaktion zusammen ( $r = .14, p < .05$ ), während weder in der Stichprobe der Achtklässler noch in der Stichprobe der Neuntklässler diesbezüglich ein signifikanter Zusammenhang gemessen werden konnte.

In Bezug auf die aktuelle Motivation konnte bei den Achtklässlern eine positive Korrelation zwischen der aktuellen Motivation und dem Einsatz konkreter Experimentierstrategien berechnet werden ( $r = .23, p < .05$ ), während bei den Neuntklässlern diesbezüglich kein Zusammenhang festgestellt werden konnte. Allerdings konnte bei den Neuntklässlern eine positive Korrelation zwischen der aktuellen Motivation und dem residualen Lerngewinn gemessen werden ( $r = .25, p < .01$ ), während sich in der Stichprobe des achten Jahrgangs diesbezüglich kein Zusammenhang ergab.

Wie auch in der gesamten Stichprobe zeigten sich schließlich zum einen in beiden Jahrgangsstufen signifikante bis hoch signifikante positive Korrelationen zwischen dem Einsatz konkreter Experimentierstrategien und den Lernerfolgsmäßen (residualer Lerngewinn:  $r_{8. \text{ Jahrgang}} = .30, p < .01$  ;  $r_{9. \text{ Jahrgang}} = .31, p < .01$  ; Differenz WET Post-Prätest:  $r_{8. \text{ Jahrgang}} = .22, p < .05$  ;  $r_{9. \text{ Jahrgang}} = .20, p < .05$ ) und zum anderen keine nachweisbaren Zusammenhänge zwischen dem Lernerfolg und der systematischen Interaktion.

Tabelle 9. Interkorrelationen 8. Jahrgang

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. Strategisches Experimentieren	1					
2. Interaktion	.31** (.28**)	1				
3. Aktuelle Motivation (AMT)	.23* (.25**)	.13 (.08)	1			
4. Deklaratives Vorwissen (WET-Prätest)	.26** (.22*)	.17	.21* (.15)	1		
5. Residualer Lerngewinn	.30** (.33**)	.10 (.07)	.16 (.18)	-	1	
6. Differenz WET Post-Prätest	.22* (.26**)	.05 (.02)	.09 (.12)	-.25* (-.29**)	.96**	1

\*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.

Tabelle 10. Interkorrelationen 9. Jahrgang

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. Strategisches Experimentieren	1					
2. Interaktion	.35** (.34**)	1				
3. Aktuelle Motivation (AMT)	-.03	-.17 (-.16)	1			
4. Deklaratives Vorwissen (WET-Prätest)	.22*	.03 (.05)	.19*	1		
5. Residualer Lerngewinn	.31** (.30**)	.05 (.04)	.25** (.23*)	-	1	
6. Differenz WET Post-Prätest	.20* (.18)	.03 (.01)	.15 (.13)	-.43** (-.44**)	.92**	1

\*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; Die Werte in den Klammern beziehen sich auf die nicht bereinigte Stichprobe. Unveränderte Werte wurden nicht erneut aufgeführt.

*Bezug zur Fragestellung.* Sowohl in der Gesamtstichprobe als auch in der Stichprobe der neunten Jahrgangsstufe konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der aktuellen Motivation und dem systematischen Experimentieren festgestellt werden. Allerdings korrelieren die aktuelle Motivation und das strategische Experimentieren in der Stichprobe des 8. Jahrgangs. Die Hypothese H2 muss in Betracht dieser Ergebnisse verworfen werden.

Sowohl in der gesamten Stichprobe als auch in den Stichproben der jeweiligen Jahrgangsstufen konnten positive Korrelationen zwischen dem deklarativen Vorwissen

und dem Einsatz konkreter Experimentierstrategien gemessen werden. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass die Hypothese H3a gültig ist. In Bezug auf einen Zusammenhang zwischen dem deklarativen Vorwissen und der systematischen Interaktion ist allerdings festzustellen, dass diesbezüglich in den Stichproben der Jahrgangsstufen kein Zusammenhang erkennbar ist, obwohl in der Gesamtstichprobe eine signifikante Korrelation festgestellt wurde. Die Hypothese H3b kann daher nicht verifiziert werden.

Sowohl in der gesamten Stichprobe als auch in den jeweiligen Stichproben der Jahrgangsstufen konnten positive Korrelationen zwischen dem Einsatz konkreter Experimentierstrategien und den Lernerfolgsmaßen berechnet werden. Dieses Ergebnis spricht für die Gültigkeit der Hypothese H4a. Allerdings konnte weder in der gesamten Stichprobe noch in den Stichproben der Jahrgangsstufen ein Zusammenhang zwischen den Lernerfolgsmaßen und der systematischen Interaktion zwischen dem Bilden und Testen von Hypothesen nachgewiesen werden. Die Hypothese H4b muss in Bezug auf die vorliegenden Daten zunächst verworfen werden.

### **5.5.6 Zusammenfassung**

*Zusammenfassend* kann schließlich angenommen werden, dass die Hypothesen H1 gültig ist. Die Schülerinnen und Schüler der neunten Jahrgangsstufe experimentieren strategischer und systematischer selbstreguliert als die Schülerinnen und Schüler der achten Jahrgangsstufe. Vermutlich ist dafür nicht alleine das höhere deklarative inhaltspezifische Vorwissen der Lernenden des neunten Jahrgangs verantwortlich. Den Untersuchungen zur Folge ist anzunehmen, dass insbesondere die systematische Interaktion von weiteren jahrgangstypischen Merkmalen beeinflusst wird. Die Hypothese H2 muss auf Grundlage der vorliegenden Untersuchung verworfen werden. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der aktuellen Motivation und dem systematischen Experimentieren festgestellt werden. Die Hypothese H3 kann auf Basis der vorliegenden Ergebnisse nur teilweise gestützt werden. Es konnte zwar ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem deklarativen Vorwissen und dem strategischen Experimentieren gemessen werden, allerdings war kein Zusammenhang zwischen dem deklarativen Vorwissen und der systematischen Interaktion zu messen. Daher wird die Hypothese H3a angenommen, die Hypothese H3b muss verworfen werden. Schließlich sprechen die Ergebnisse der durchgeführten Analysen auch nur teilweise für die Gültigkeit der Hypothese H4. Es konnte zwar ein Zusammenhang zwischen dem strategischen Experimentieren und dem Wissenszuwachs gemessen werden, allerdings konnte die korrelative

Analyse keinen Zusammenhang zwischen der systematischen Interaktion und dem Wissenszuwachs aufzeigen. Daher wird die Hypothese H4a angenommen und die Hypothese H4b verworfen.

## **6 Zusammenfassende Diskussion**

### **6.1 Zusammenfassung**

Den Ausgangspunkt dieser Arbeit bildete die Diskrepanz zwischen der als Bildungsziel formulierten Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenzen durch selbstreguliertes Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht und des beobachteten geringen Lernerfolgs (Kapitel 1). Dieser ist im Konsens bisheriger Forschungsergebnisse zum selbstregulierten Experimentieren im Wesentlichen auf die hohen kognitiven Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden zurückzuführen, da das selbstregulierte Experimentieren die selbstständige Steuerung einer komplexen Abfolge transformativer Prozesse fordert (Kapitel 2.2.4). Gerade leistungsschwache Schülerinnen und Schüler sind daher oftmals nicht in Lage sinnvolle Hypothesen aufzustellen, strategische Experimente durchzuführen und aus deren Interaktion gültige Regeln abzuleiten.

Das übergeordnete Ziel aller Forschungsbemühungen zum selbstregulierten Experimentieren sollte daher in der Entwicklung unterstützender Maßnahmen liegen, die erfolgreiches Experimentieren fördern und sich nach Möglichkeit an der individuellen Lernreife der Schülerinnen und Schüler orientieren. Eine Forschungslücke besteht bislang allerdings darin, dass das selbstregulierte Experimentieren noch nicht hinreichend in Bezug auf mögliche Unterschiede zwischen einzelnen Jahrgangsstufen untersucht wurde. Die vorliegende Arbeit hatte daher das Ziel, Unterschiede im selbstregulierten Experimentieren zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 9 der gymnasialen Sekundarstufe I zu identifizieren und mögliche Zusammenhänge mit lernrelevanten Variablen aufzudecken. Die Ergebnisse dieser Studien sollen schließlich einen Beitrag zur Entwicklung lernreifeorientierter Unterstützungsmöglichkeiten liefern, damit selbstreguliertes Experimentieren erfolgreich in der Schulpraxis umgesetzt werden kann.

Die zentrale Forschungsfrage dieser Studie war, ob und inwieweit sich Unterschiede in der Nutzung konkreter Experimentierstrategien und in Bezug auf das systematische Vorgehen beim selbstregulierten Experimentieren zwischen den Jahrgangsstu-

fen 8 und 9 ergeben und in welcher Weise das systematische und strategische Experimentieren mit dem Lernerfolg, dem Vorwissen und der Motivation zusammenhängt.

Um dieser Forschungsfrage nachgehen zu können, wurde das selbstregulierte Experimentieren von  $N = 244$  Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Jahrgangsstufen 8 und 9 untersucht. Dazu wurde auf eine bereits erprobte interaktive Simulation des physikalischen Inhaltsbereichs „Auftrieb in Flüssigkeiten“ zurückgegriffen (Kapitel 4). Konzeptionell basierend auf dem SDDS-Modell von Klahr und Dunbar (1988) (Kapitel 2.2.2) ermöglicht diese computerbasierte Lernumgebung selbstreguliertes Experimentieren im Sinne des *Scientific Discovery Learning* durch das Aufstellen von Hypothesen, die mittels strategisch durchzuführender Experimente getestet werden können (Kapitel 2). Alle Eingriffe der Schülerinnen und Schüler wurden dabei in Logfile-Daten geschrieben. Basierend auf dem Ansatz des SDDS-Modells wurden Verhaltensindikatoren systematischen und strategischen Experimentierens in Form von eindeutigen Algorithmen entwickelt, sodass strategische und systematische Aktionen der Lernenden softwarebasiert erkannt und ausgelesen werden konnten (Kapitel 4.3). Darüberhinaus wurde das deklarative domänen- und inhaltspezifische Wissen sowohl vor als auch nach dem Lernen papier- und computerbasiert mittels eines inhaltsvaliden Multiple-Choice-Tests erfasst (Kapitel 5.3.2). Die aktuelle Motivation wurde selbstauskunftsba- siert direkt vor der Lernphase im virtuellen Labor gemessen (Kapitel 5.3.3).

Es wurde angenommen, dass die Schülerinnen und Schüler des neunten Jahrgangs aufgrund ihres einjährigen Lernvorsprungs über ein höheres domänen- und inhaltspezifisches Vorwissen verfügen als die Lernenden des achten Jahrgangs. Da das Vorwissen als wichtiger Prädiktor selbstregulierter Lernprozesse gilt (Kapitel 2.1.3) und insbesondere für das selbstregulierte Experimentieren von Bedeutung ist (Kapitel 2.2.2) wurde zum einen erwartet, dass die Neuntklässler öfter konkrete Experimentierstrategien nutzen als die Achtklässler (IVK- und IRK-Strategie, Kapitel 2.2.3) und zum anderen auch häufiger zu formulierten Hypothesen passende Experimente durchführen oder häufiger zu explorativen Experimenten passende Zusammenhänge notieren als die Achtklässler (Interaktion im Sinne des SDDS-Modells, Kapitel 2.2.2). Ebenfalls wurde angenommen, dass neben dem gemessenen Vorwissen auch die Motivation mit dem systematischen Experimentieren zusammenhängt.

Die Ergebnisse der deskriptiven und korrelativen Untersuchungen, sowie die Ergebnisse der Varianzanalysen konnten die formulierten Hypothesen überwiegend aber nicht gänzlich stützen (Kapitel 5.5).

Für die beiden Jahrgangsstufen 8 und 9 konnte ein gut mittelstarker und signifikanter Wissenszuwachs aufgrund des selbstregulierten Experimentierens in der virtuellen Lernumgebung gemessen werden. Dabei unterscheiden sich die Wissenszuwächse der einzelnen Jahrgangsstufen nicht signifikant voneinander. Die Schülerinnen und Schüler des neunten Jahrgangs konnten im Mittel ebenso viel Wissen erwerben wie die Lernenden des achten Jahrgangs.

Weiter konnte gezeigt werden, dass die Neuntklässler erwartungsgemäß über ein signifikant höheres domänen- und inhaltspezifisches Vorwissen verfügen als die Achtklässler. Die Schülerinnen und Schüler des neunten Jahrgangs erreichten im Mittel etwa ein Viertel des möglichen Leistungsscore im Wissenstest (WET) und lagen damit durchschnittlich zehn Prozentpunkte über dem gemessenen Vorwissen der Achtklässler.

Ebenfalls erwartungskonform konnte ermittelt werden, dass die Neuntklässler strategischer und systematischer selbstreguliert Experimentieren als die Achtklässler. Die Schülerinnen und Schüler des neunten Jahrgangs nutzen öfter die IVK- und IRK-Strategie und wenden signifikant häufiger die systematische Interaktion zwischen dem Aufstellen und Testen von Hypothesen an. Allerdings ist anzunehmen, dass dies nicht allein auf das höhere deklarative Vorwissen der Neuntklässler zurückzuführen ist. Es konnte zwar ein Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem strategischen Experimentieren ermittelt werden, allerdings zeigte sich diesbezüglich kein Zusammenhang mit der systematischen Interaktion. Die Ergebnisse der Varianzanalysen stützen diese Annahme und deuten daraufhin, dass weitere Merkmale, die mit der Klassenstufe variieren, einen etwas größeren Einfluss auf die systematische Interaktion beim selbstregulierten Experimentieren haben könnten, als das deklarative inhaltspezifische Vorwissen.

In Bezug auf die aktuelle Motivation der Schülerinnen und Schüler konnte unerwartet gezeigt werden, dass die aktuelle Motivation und der Einsatz konkreter Experimentierstrategien zwar in der Stichprobe des achten Jahrgangs korrelieren, sich diesbezüglich aber kein Zusammenhang in der Stichprobe des neunten Jahrgangs ergab. Bei den Lernenden des neunten Jahrgangs konnte jedoch eine positive Korrelation zwischen der aktuellen Motivation und dem residualen Lerngewinn gemessen werden, während diesbezüglich kein Zusammenhang bei den Lernenden des achten Jahrgangs zu messen war.

Schließlich konnte auch der Zusammenhang zwischen dem strategischen und systematischen Vorgehen beim selbstregulierten Experimentieren und dem Lernerfolg

nur teilweise bestätigt werden. Während der Einsatz konkreter Experimentierstrategien und der Wissenszuwachs sowohl in der Gesamtstichprobe als auch in den jeweiligen Stichproben der Jahrgangsstufen korrelieren lässt sich weder in der gesamten Stichprobe noch in den Jahrgangsstichproben ein Zusammenhang zwischen der systematischen Interaktion und dem Wissenszuwachs nachweisen.

## **6.2 Diskussion**

Die vorliegende Arbeit leistet einen wichtigen Forschungsbeitrag zum selbstregulierten Experimentieren in naturwissenschaftlichen Domänen. Dieser ist darin begründet, dass die durchaus theoriekonformen Ergebnisse dieser Studie dazu beitragen, theoretische Erkenntnisse zum selbstregulierten Experimentieren zu überprüfen, Unterschiede in Bezug auf das selbstregulierte Experimentieren zwischen verschiedenen Jahrgangsstufen aufzudecken und die theoretische Grundlage zur Entwicklung praktischer lernreifeorientierter Unterstützungsmöglichkeiten zu festigen.

### **6.2.1 Theoretische Implikationen und Perspektiven.**

*Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn.* Die Ergebnisse sprechen dafür, dass der Einsatz konkreter Experimentierstrategien, wie beispielsweise der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle, auch in computerbasierten Lernumgebungen und unabhängig von der jeweiligen Jahrgangsstufe als eigenständiger Prädiktor für den Lernerfolg zu berücksichtigen ist. Theoriekonform deuten die Ergebnisse der durchgeführten Analysen auch daraufhin, dass das deklarative domänen- und inhaltspezifische Vorwissen als ein wichtiger Prädiktor für den Einsatz konkreter Experimentierstrategien fungiert.

Der zentrale theoretische Nutzen der vorliegenden Untersuchung besteht allerdings darin, dass Unterschiede in Bezug auf das selbstregulierte Experimentieren zwischen den Jahrgängen 8 und 9 aufgedeckt werden konnten. Darüberhinaus liefern die Ergebnisse der durchgeführten Analysen auch erste Erklärungsansätze für die erforschten Differenzen zwischen den beiden Jahrgängen.

Es konnte gezeigt werden, dass die Achtklässler im Mittel seltener konkrete Experimentierstrategien nutzen und ebenfalls auch seltener die systematische Interaktion zwischen dem Aufstellen und Testen von Hypothesen anwenden. Dabei ist anzunehmen, dass das geringere deklarative domänen- und inhaltspezifische Vorwissen als wichtiger Prädiktor für den Einsatz konkreter Experimentierstrategien verantwortlich für das weniger strategische Experimentieren bei den Achtklässlern ist. Allerdings

konnte gezeigt werden, dass diesbezüglich kein Zusammenhang zur systematischen Interaktion festzustellen ist. Das häufigere systematische Interagieren der Neuntklässler ist daher wahrscheinlich nicht auf das höhere deklarative Vorwissen zurückzuführen. Auch die aktuelle Motivation kann an dieser Stelle nicht zur Erklärung herangezogen werden, da die Schülerinnen und Schüler beider Jahrgänge im Mittel etwa gleich motiviert waren. Folglich müssen andere jahrgangsspezifische Faktoren dazu geführt haben, dass die Lernenden des neunten Jahrgangs systematischer experimentierten als die Lernenden des achten Jahrgangs. Aufgrund ihrer fortgeschrittenen Lernreife ist davon auszugehen, dass die Lernenden des neunten Jahrgangs über ausgeprägtere selbstregulative Kompetenzen sowie über ein höheres metakognitives Strategiewissen verfügten als die Lernenden des achten Jahrgangs. Auf Basis bereits aufgeführter Theorie (Kapitel 2.1.3, Kapitel 2.2.4) wäre daher durchaus annehmbar, dass eben diese Faktoren für das erfolgreichere systematische Bilden und Testen von Hypothesen der Neuntklässler verantwortlich waren.

Weiter konnte gezeigt werden, dass die aktuelle Motivation mit dem strategischen Experimentieren der Achtklässler korreliert, jedoch nicht mit dem residualen Lerngewinn. Bei den Neuntklässlern wurde Gegenzug gemessen. In Bezug auf bereits aufgeführte Theorie (Kapitel 2.1.3, Kapitel 2.2.4) ist annehmbar, dass die Schülerinnen und Schüler des achten Jahrgangs stärker auf die metakognitive Stimulation der aktuellen Motivation (vgl. Kapitel 2.1.3) angewiesen waren als die Lernenden des neunten Jahrgangs. Allerdings waren die Achtklässler möglicherweise nicht immer in der Lage, aus strategischen Experimenten auch korrekte Schlüsse zu ziehen, sodass der Lernerfolg trotz hoher Motivation oftmals ausblieb. Die Neuntklässler hingegen waren vermutlich aufgrund ihres höheren domänen- und inhaltsspezifischen Vorwissens bezogen auf das strategische Experimentieren nicht auf die metakognitive Stimulation der aktuellen Motivation angewiesen, sodass sowohl die unmotivierten als auch die motivierten Lernenden strategische Experimente durchführten. Möglicherweise profitierten die Neuntklässler allerdings dahingehend von der metakognitiven Stimulation, dass Hypothesen systematischer aufgestellt und getestet werden konnten, sodass sich schließlich die höhere aktuelle Motivation in einem höheren Lerngewinn äußerte.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse daraufhin, dass die Lernenden des achten Jahrgangs größere Schwierigkeiten hatten, strategisch und systematisch selbstreguliert zu Experimentieren als die Lernenden des neunten Jahrgangs. Da bei beiden Jahrgängen ein vergleichbar hoher Wissenszuwachs gemessen wurde, ist schließlich anzu-

nehmen, dass die Achtklässler ihre anfangs sehr niedrige Wissensbasis eher durch einfache Aktionen im Experimenterraum (Labor) erweiterten, während in den neunten Klassen das bereits höhere Vorwissen durch systematisches Bilden und Testen von Hypothesen ausgebaut wurde (vgl. Kempf & Künsting, eingereicht).

*Inkonsistente Befunde.* Im Widerspruch zur bereits aufgeführten Theorie (Kapitel 2.2.2) und insbesondere auch im Widerspruch zu den Ergebnissen der empirischen Studie von Gößling (2010) konnte in dieser Untersuchung kein Zusammenhang zwischen der systematischen Interaktion und dem Lernerfolg gemessen werden. Möglicherweise ist kein statistisch bedeutsamer Zusammenhang zu erkennen, da ohnehin nur sehr wenige Interaktionen gemessen werden konnten.

Dies kann einerseits durch die hohen Ansprüche an die Selbstregulation der Lernenden begründet werden (Kapitel 2.2.4). Möglicherweise waren die Lernenden überwiegend nicht in der Lage Hypothesen systematisch zu bilden und strategisch zu testen. Wahrscheinlicher ist aber annehmbar, dass die Schülerinnen und Schüler unabhängig von der jeweiligen Jahrgangsstufe Probleme hatten, der virtuelle Flipchart so zu bedienen, dass eine valide softwarebasierte Erfassung der Interaktion stattfinden konnte. Diese Annahme kann dahingehend gestützt werden, dass der Flipchart als Hypothesenraum überhaupt nur sehr selten von den Lernenden genutzt wurde, unabhängig davon, ob zu notierten Zusammenhängen passende Experimente durchgeführt wurden oder nicht. Dies kann auf die für die Lernenden durchaus ungewohnte Visualisierung von Zusammenhängen in Form einer Concept-Map zurückzuführen sein. Ist eine Schülerin oder ein Schüler nicht sicher im Concept-Mapping, dann fehlt eine elementare Voraussetzung für die systematische Interaktion im Sinne der verhaltensbasierten Erfassung. Naheliegender ist anzunehmen, dass viele Lernende daher auf das Notieren von Zusammenhängen verzichteten und Hypothesen rein gedanklich festhielten. Die Neuntklässler hatten offensichtlich weniger Probleme mit dieser Art der Notation, sodass der Flipchart im Mittel öfter genutzt wurde und Interaktionen häufiger registriert werden konnten.

*Forschungsperspektiven.* Auf Grundlage dieser und möglicherweise noch folgender Untersuchungen zum selbstregulierten Experimentieren in virtuellen Lernumgebungen muss in Bezug auf die Entwicklung lernreifeorientierter Unterstützungsmöglichkeiten zunächst erforscht werden, ob die in dieser Studie aufgedeckten Unterschiede zwischen den Jahrgangsstufen repräsentativ sind. Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung sollten daher in weiteren Studien auf ihre Generalisierbarkeit hin untersucht werden, indem sowohl differente als auch größere Stichproben aus weiteren Tei-

len der Population herangezogen werden. Denkbar wäre beispielsweise die Überprüfung im Kontext unterschiedlicher Schulformen, unterschiedlicher Inhaltsbereiche oder weiterer Klassenstufen um die externe Validität zu gewährleisten. Außerdem sollte auch geprüft werden, ob und inwieweit der Erfolg selbstregulierten Experimentierens noch von anderen lernrelevanten Variablen abhängt. Auf Grundlage der hervorgebrachten Ergebnisse wäre beispielsweise anzunehmen, dass die selbstregulativen Fähigkeiten sowie das metakognitive Strategiewissen neben dem domänenspezifischen Vorwissen wichtige Prädiktoren für das systematische Bilden und Testen von Hypothesen sind.

In Bezug auf die eingesetzte virtuelle Lernumgebung sollte insbesondere die Erfassung notierter Zusammenhänge optimiert werden. Nach Möglichkeit sollte ein Hypothesenraum entwickelt werden, welcher es den Schülerinnen und Schülern ermöglicht, nahezu intuitiv Zusammenhänge zu notieren und gleichermaßen die valide und zeitökonomische verhaltensbasierte Erfassung systematischer Aktionen erlaubt.

Als übergeordnete Forschungsperspektive gilt die Entwicklung lernreifeorientierter Unterstützungsmaßnahmen. Vielfach konnte gezeigt werden, dass eine entsprechende Unterstützung der Lernenden beim selbstregulierten Experimentieren durch metakognitive Prompts (Thillmann, 2007), metakognitive Lernhilfen (Kempf & Künsting, eingereicht) oder besserer Zielvorgaben (Künsting, 2007) die Lernwirksamkeit steigern kann (Künsting et al., 2008). Ebenfalls erwiesen sich Strategietrainings und Lehrvorträge vor selbstregulierten Experimentierphasen als lernwirksamkeitssteigernd (de Jong & Njoo, 1992; Wahlser & Sumfleth, 2008).

Die Erforschung selbstregulierten Experimentierens in Bezug auf Unterschiede zwischen einzelnen Jahrgangsstufen ist für die Entwicklung von Lernhilfen dahingehend relevant, da die Unterstützungsmöglichkeiten möglicherweise in ihrer Effektivität gesteigert werden können, wenn sich diese an die Lernreife der jeweiligen Jahrgangsstufe orientieren. Dadurch erhalten die Lernenden ein minimales Maß an notwendiger Unterstützung, also gerade soviel Lernhilfe, dass maximales selbstreguliertes Experimentieren ermöglicht werden kann. Ideal in Bezug auf das selbstregulierte Experimentieren am Computer wäre in diesem Kontext die Entwicklung computerbasierter adaptiver Lernhilfen, welche sich am zuvor gemessenen Wissen und Können der Lernenden orientieren.

## 6.2.2 Praktische Implikationen und Perspektiven

Die durchgeführte Studie konnte zunächst erneut den deklarativen Wissenstest (WET) sowie den Fragebogen zur aktuellen Motivation (AMT) prüfen und für beide Instrumente eine gute Reliabilität und eine praktische Nutzbarkeit nachweisen. Darüber hinaus konnte die bereits erprobte computerbasierte Lernumgebung zum Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ erneut getestet werden und erweis sich zum einen als überwiegend valides Diagnoseinstrument selbstregulierter Experimentierprozesse und zum anderen auch als lernwirksame Lernumgebung, in der Schülerinnen und Schüler in kurzer Zeit selbstständig neues Wissen erwerben können. Ebenfalls konnte auch die Anwendung konkreter Experimentierstrategien in ihrer praktischen Bedeutung für den Lernerfolg beim selbstständigen Experimentieren gefestigt werden.

Die Forschungspraxis profitiert von den Ergebnissen dieser Untersuchung insofern, dass sich die eingesetzten Instrumente, insbesondere die eingesetzte Lernumgebung in Ihrer praktischen Nutzbarkeit zur Untersuchung selbstregulierter Experimentierprozesse erneut bewähren konnten.

Die zentrale praktische Implikation liegt allerdings in der erwiesenen praktischen Nutzbarkeit virtueller Lernumgebungen zum Wissenserwerb im naturwissenschaftlichen Unterricht. Es konnte gezeigt werden, dass Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Jahrgangsstufen ohne inhaltspezifisches Vorwissen während einer 20-minütigen autonomen Lernphase durch das selbstregulierte Experimentieren in einem virtuellen Physiklabor einen gut mittelstarken Wissenszuwachs erreichten. Virtuelle Lernumgebungen können also den Erwerb inhaltspezifischen Wissens ermöglichen und es wäre durchaus denkbar, ähnliche Simulationen in der Schulpraxis einzusetzen, um einerseits selbstreguliertes Experimentieren zeitökonomisch und lernwirksam umzusetzen und um andererseits konkrete Experimentierstrategien zu trainieren.

Darüber hinaus eignen sich die computerbasierte Lernumgebung auch in der Schulpraxis als Diagnoseinstrument und bietet nicht nur die Möglichkeit, auf ökonomische Weise das strategische Verhalten beim selbstregulierten Experimentieren individuell zu beobachten und zu erfassen, sondern auch individuell zu unterstützen. Idealerweise könnte eine solche Förderung adaptiv in eine computerbasierte Lernumgebung eingebunden werden, sodass individuelle Unterschiede in der Lernreife der Schülerinnen und Schüler erkannt und beispielsweise durch metakognitive Lernhilfen gefördert werden.

Eine weitere praktische Implikation der vorliegenden Arbeit liegt in der nachgewiesenen Nutzbarkeit der IVK- und der IRK-Strategie für den Lernerfolg beim selbstregulierten Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. Es ist davon auszugehen, dass die Anwendung interagierender Experimentierstrategien lernförderlich ist, unabhängig davon, ob Lernende zunächst eine Hypothese aufstellen und anschließend diese mit einem Experiment überprüfen oder ob zu einem durchgeführten Experiment ein passender Zusammenhang notiert wird. Als Konsequenz für den naturwissenschaftlichen Unterricht ergibt sich die Notwendigkeit, Experimentierstrategien zu trainieren oder zumindest zu fördern, unabhängig davon ob computerbasierte Lernumgebungen eingesetzt werden oder nicht.

## 7 Literaturverzeichnis

- Artelt, C., Demmrich, A. & Baumert, J. (2001). Selbstreguliertes Lernen. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider et al. (Hrsg.), *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 271–298). Opladen: Leske + Budrich.
- Bachmann, G. (2010). *Zielorientierungen und aktuelle Motivation. Eine Integration im Kontext des selbstregulierten Lernens*. Dissertation, Johann Wolfgang Goethe - Universität Frankfurt am Main. Frankfurt am Main. Verfügbar unter <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2010/7727>.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W. et al. (OECD PISA Deutschland, Hrsg.). (2000). *Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen als fächerübergreifende Kompetenz*, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. Zugriff am 12.04.2013.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning. A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and instruction*, 7 (2), 161–186.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch, 7. Aufl.). Berlin: Springer.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70 (5), 1098–1120.
- de Jong, T. & Njoo, M. (1992). Learning and Instruction with Computer Simulations: Learning Processes Involved. In E. de Corte, M. C. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Hrsg.), *Computer-Based Learning Environments and Problem Solving* (NATO ASI series. Series F, Computer and system sciences, Bd. 84, S. 411–427). Berlin, New York: Springer.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68 (2), 179–201.
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Swaak, J., Veermans, K., Limbach, R., King, S. et al. (1998). Self-directed learning in simulation-based discovery environments. *J Comp Assist Learn*, 14 (3), 235–246.
- Göbbling, J. M. (2010). *Selbständig entdeckendes Experimentieren. Lernwirksamkeit der Strategieranwendung*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen. Essen
- Hessisches Kultusministerium. (2010). Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen. Sekundarstufe I - Gymnasium. Physik. Verfügbar unter [http://verwaltung.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HKM\\_15/HKM\\_Internet/med/a73/a7335d0c-f86a-821f-012f-31e2389e4818,22222222-2222-2222-222222222222](http://verwaltung.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HKM_15/HKM_Internet/med/a73/a7335d0c-f86a-821f-012f-31e2389e4818,22222222-2222-2222-222222222222).
- Hofstein, A. & Lunetta, V. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52 (2), 201–217.

- Kempf, J. & Künsting, J. (eingereicht). Wirksamkeit metakognitiver Lernhilfen bei entdeckendem Lernen durch Experimentieren in der Sekundarstufe I. *Erscheint in: Psychologie in Erziehung und Unterricht*.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12 (1), 1–48.
- Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction. Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. *Psychological Science*, 15 (10), 661–667.
- Kultusministerium Hessen. Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufen 7 bis 13. Verfügbar unter [http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM\\_Internet?cid=9e0b5517dfc688683c15ce252202d4b9](http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet?cid=9e0b5517dfc688683c15ce252202d4b9).
- Kultusministerium Hessen. (2010). Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufen 6G bis 9G und gymnasiale Oberstufe. Verfügbar unter [http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM\\_Internet?cid=ac9f301df54d1fbfab83dd3a6449af60](http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet?cid=ac9f301df54d1fbfab83dd3a6449af60).
- Kultusministerkonferenz. (2005). *Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz. Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung* (Beschlüsse der Kultusministerkonferenz, 1. Aufl.). Luchterhand
- Künsting, J. (2007). *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen. Essen
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 55 (1), 1–15.
- Künsting, J., Wirth, J. & Paas, F. (2011). The goal specificity effect on strategy use and instructional efficiency during computer-based scientific discovery learning. *Computers & Education*, 56 (3), 668–679.
- OECD PISA Deutschland (Hrsg.). (2007). *PISA 2006: Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen. Kurzzusammenfassung*.
- Piaget, J., Fatke, R. & Kober, H. (2003). *Meine Theorie der geistigen Entwicklung* (Beltz-Taschenbuch Psychologie, Bd. 142). Weinheim: Beltz.
- Prenzel, M. & Mandl, H. (1991). Transfer of learning from a constructivist perspective. In T. M. Duffy, J. Lowyck & D. H. Jonassen (Hrsg.), *Designing environments for constructive learning* (S. 315–329). Berlin: Springer.
- Renkl, A. (1996). Vorwissen und Schulleistungen. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (Pädagogische Psychologie. Motivationspsychologie, S. 175–190). Weinheim: Beltz, PVU.
- Renkl, A. (2009). Wissenserwerb. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (Springer-Lehrbuch, S. 3–24). Dordrecht: Springer.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmel, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. et al. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52 (6), 798–821.

- Simons, P. R. (1992). Lernen selbständig zu lernen - ein Rahmenmodell. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention* (S. 251–264). Göttingen: Hogrefe.
- Süß, H. M., Kersting, M. & Oberauer, K. (1993). Zur Vorhersage von Steuerungsleistungen an computersimulierten Systemen durch Wissen und Intelligenz. *Zeitschrift für differentielle und diagnostische Psychologie*, 14 (3), 189–203.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen. Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen* (Lehr- und Forschungstexte Psychologie, Bd. 5). Göttingen: Hogrefe.
- Thillmann, H. (2007). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen. Duisburg-Essen
- van Berkum, J. & de Jong, T. (1991). Instructional environments for simulations. *Education & Computing* (6), 305–358.
- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1997). An extended dual search space model of scientific discovery learning. *Instructional Science* (25), 307–346.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1998). Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 12 (1), 11–23.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (2006). Motivational Effects on Self-Regulated Learning with Different Tasks. *Educational Psychology Review*, 18 (3), 239–253.
- Wahlser, I. & Sumfleth, E. (2008). Training experimenteller Arbeitsweisen zur Unterstützung kooperativer Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14 (14), 219–241.
- Weinert, F. E. (1982). Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts. *Unterrichtswissenschaft* (10), 99–110.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen* (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 39). Münster: Waxmann.
- Wirth, J. & Leutner, D. (2005). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (1. Aufl., S. 172–184). Göttingen: Hogrefe.
- Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik* (54), 361–375.
- Wirth, J., Thillmann, H., Marschner, J., Gößling, J. & Künsting, J. (2011). Lernen durch Experimentieren. Utopie oder nur eine Frage der Technik? *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 23 (126), 14–18.

## 8 Anhang

### Wissenstest (WET)

#### Prätestversion:

##### *Instruktion:*

*Liebe Schülerin, lieber Schüler,  
im Folgenden findest du Fragen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“.*

*Beantworte bitte alle Fragen so gut wie du kannst.  
Kreuze die deiner Meinung nach richtige Antwort an.  
Es ist immer nur eine Antwort richtig.*

*Wenn du die Antwort nicht weißt, kannst du auch „weiß ich nicht“ ankreuzen.*

*Vielen Dank!*

##### *Items der Prätest-Version:*

- 1) *Auf einen Körper können verschiedene Kräfte wirken. Die Kraft  $F_A$ , die auch einen Körper wirkt, ist...*
  - a. *die Auftriebskraft.*
  - b. *die Gewichtskraft.*
  - c. *die Kraft die von oben auf die obere Grundfläche eines Körpers drückt*
  - d. *die Kraft die von unten auf die untere Grundfläche eines Körpers drückt.*
  - e. *weiß ich nicht.*

- 2) Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, sein Volumen ( $V$ ) verkleinert und die Masse ( $m$ ) gleich bleibt?
- Die Kraft  $F_G$  wird größer.
  - Die Kraft  $F_G$  wird kleiner.
  - Die Kraft  $F_A$  wird größer.
  - Die Kraft  $F_A$  wird kleiner.
  - Weiß ich nicht.
- 3) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers ( $\rho_K$ ) gleich groß ist wie die Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ), in die man ihn wirft?
- Die Kraft  $F_G$  wird größer als die Kraft  $F_A$ .
  - Die Kraft  $F_G$  wird genauso groß wie die Kraft  $F_A$ .
  - Die Kraft  $F_o$  wird größer als die Kraft  $F_u$ .
  - Die Kraft  $F_o$  wird genauso groß wie die Kraft  $F_u$ .
  - Weiß ich nicht.
- 4) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers ( $\rho_K$ ) kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ), in die man ihn wirft?
- Die Kraft  $F_A$  wird größer als die Kraft  $F_G$ .
  - Die Kraft  $F_A$  wird genauso groß wie die Kraft  $F_G$ .
  - Die Kraft  $F_o$  wird größer als die Kraft  $F_u$ .
  - Die Kraft  $F_o$  wird genauso groß wie die Kraft  $F_u$ .
  - Weiß ich nicht.
- 5) Was passiert, wenn man denselben Körper nacheinander in zwei Behälter mit unterschiedlicher Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) wirft? Je größer die Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) ist, ...
- desto größer die Kraft  $F_G$
  - desto geringer die Kraft  $F_G$
  - desto größer die Kraft  $F_A$
  - desto geringer die Kraft  $F_A$
  - weiß ich nicht.

- 6) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser steigt?
- Die Kraft  $F_A$  des Körpers ist kleiner als seine Kraft  $F_G$
  - Die Kraft  $F_G$  des Körpers ist gleich der Kraft  $F_G$
  - Die Dichte des Körpers ist kleiner als die Dichte der Flüssigkeit.
  - Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit
  - Weiß ich nicht.
- 7) Wenn ein Körper im Wasser sinkt, ist...
- seine Kraft  $F_A$  größer als seine Kraft  $F_G$
  - seine Kraft  $F_G$  größer als seine Kraft  $F_A$
  - seine Kraft  $F_A$  größer als seine Kraft  $F_u$
  - seine Kraft  $F_u$  größer als seine Kraft  $F_A$
  - Weiß ich nicht.
- 8) Würfel A hat eine Masse von 100g und ein Volumen von  $200\text{cm}^3$ . Würfel B hat eine Masse von 500g und ein Volumen von  $200\text{cm}^3$ . Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- Die Dichte des Würfels A ist größer als die Dichte des Würfels B
  - Die Dichte des Würfels A ist kleiner als die Dichte des Würfels B
  - Die Kraft  $F_G$  des Würfels A ist größer als die Kraft  $F_G$  des Würfels B
  - Die Kraft  $F_G$  des Würfels A ist kleiner als die Kraft  $F_G$  des Würfels B
  - Weiß ich nicht.
- 9) Ein Würfel hat eine Dichte von  $\rho_K=3\text{g/cm}^3$ . Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von  $\rho_{FL}=1\text{g/cm}^3$  hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- Die Kraft  $F_G$  des Würfels ist größer als seine Kraft  $F_A$
  - Die Kraft  $F_G$  des Würfels ist genauso groß wie seine Kraft  $F_A$
  - Die Kraft  $F_o$  ist größer als die Kraft  $F_u$
  - Die Kraft  $F_o$  ist genauso groß wie die Kraft  $F_u$
  - Weiß ich nicht.

10) Ein Würfel hat ein Volumen von  $1000\text{cm}^3$  und eine Dichte von  $1\text{g/cm}^3$ . Eine Kugel hat ein Volumen von  $1000\text{cm}^3$  und eine Dichte von  $1\text{g/cm}^3$ . Beide Körper befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der Aussagen stimmt?

- a. Die Kraft  $F_G$  beider Körper ist gleich und die Kraft  $F_A$  des Würfels ist kleiner.
- b. Die Kraft  $F_G$  des Würfels ist kleiner und die Kraft  $F_A$  beider Körper ist gleich.
- c. Die Kraft  $F_G$  beider Körper ist gleich und die Kraft  $F_A$  des Würfels ist größer
- d. Die Kraft  $F_G$  beider Körper ist gleich und die Kraft  $F_A$  beider Körper ist gleich.
- e. Weiß ich nicht.

11) Würfel A und B haben ein Volumen von  $1000\text{cm}^3$  und eine Dichte von  $1\text{g/cm}^3$ . Würfel A befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von  $\rho_{FL}=1\text{g/cm}^3$  hat. Würfel B befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von  $\rho_{FL}=3\text{g/cm}^3$  hat. Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

- a. Die Kraft  $F_A$  des Würfels A ist größer als die Kraft  $F_A$  des Würfels B.
- b. Die Kraft  $F_G$  des Würfels A ist kleiner als die Kraft  $F_G$  des Würfels B.
- c. Die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Würfels A sind größer als die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Würfels B.
- d. Die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Würfels A sind kleiner als die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Würfels B.
- e. Weiß ich nicht.

12) Auf einen Würfel A wirken die Kräfte  $F_o=10\text{N}$  und  $F_u=40\text{N}$ . Auf einen Würfel B wirken die Kräfte  $F_o=50\text{N}$  und  $F_u=100\text{N}$ . Welche der folgenden Aussagen stimmt?

- a. Die Kraft  $F_G$  des Würfels A ist größer als die Kraft  $F_G$  des Würfels B
- b. Die Kraft  $F_G$  des Würfels A ist kleiner als die Kraft  $F_G$  des Würfels B
- c. Die Kraft  $F_A$  des Würfels A ist größer als die Kraft  $F_A$  des Würfels B
- d. Die Kraft  $F_A$  des Würfels A ist kleiner als die Kraft  $F_A$  des Würfels B
- e. Weiß ich nicht.

## **Posttestversion:**

### **Instruktion:**

*Vielen Dank für deine bisherige Hilfe!*

*Hier findest du noch einmal Fragen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“.*

*Du kannst mir berichten, was du herausgefunden hast, indem du wieder die deiner Meinung nach richtige Antwort ankreuzt oder auch „weiß ich nicht“, falls du die Antwort nicht kennst.*

*Diese Fragen sind denen im ersten Test sehr ähnlich, aber es sind nicht die gleichen!*

*Nun kannst es auch schon losgehen. Viel Spaß!*

### **Items der Postversion:**

- 1) *Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, sein Volumen ( $V$ ) vergrößert und die Masse ( $m$ ) gleich bleibt?*
  - a. *Die Kraft  $F_G$  wird größer.*
  - b. *Die Kraft  $F_G$  wird kleiner.*
  - c. *Die Kraft  $F_A$  wird größer.*
  - d. *Die Kraft  $F_A$  wird kleiner.*
  - e. *Weiß ich nicht.*
  
- 2) *Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers ( $\rho_K$ ) gleich groß ist wie die Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ), in die man ihn wirft?*
  - a. *Die Kraft  $F_A$  wird größer als die Kraft  $F_G$ .*
  - b. *Die Kraft  $F_A$  wird genauso groß wie die Kraft  $F_G$ .*
  - c. *Die Kraft  $F_o$  wird größer als die Kraft  $F_u$*
  - d. *Die Kraft  $F_o$  wird genauso groß wie die Kraft  $F_u$*
  - e. *Weiß ich nicht.*

- 3) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers ( $\rho_K$ ) kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ), in die man ihn wirft?
- Die Kraft  $F_A$  wird größer als die Kraft  $F_G$ .
  - Die Kraft  $F_A$  wird genauso groß wie die Kraft  $F_G$ .
  - Die Kraft  $F_o$  wird größer als die Kraft  $F_u$
  - Die Kraft  $F_o$  wird genauso groß wie die Kraft  $F_u$
  - Weiß ich nicht.
- 4) Was passiert, wenn man denselben Körper nacheinander in zwei Behälter mit unterschiedlicher Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) wirft? Je größer die Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) ist, ...
- desto größer die Kraft  $F_G$
  - desto geringer die Kraft  $F_G$
  - desto größer die Kraft  $F_A$
  - desto geringer die Kraft  $F_A$
  - weiß ich nicht.
- 5) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser sinkt?
- Die Kraft  $F_A$  des Körpers ist größer als seine Kraft  $F_G$
  - Die Kraft  $F_G$  des Körpers ist gleich der Kraft  $F_G$
  - Die Dichte des Körpers ist größer als die Dichte der Flüssigkeit.
  - Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit
  - Weiß ich nicht.
- 6) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser schwebt?
- Die Kraft  $F_o$  ist größer als die Kraft  $F_u$
  - Die Kraft  $F_o$  ist gleich der Kraft  $F_u$
  - Die Dichte des Körpers ist größer als die Dichte der Flüssigkeit
  - Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit
  - Weiß ich nicht.

- 7) Wenn ein Körper im Wasser steigt, ist...
- seine Kraft  $F_A$  größer als seine Kraft  $F_G$
  - seine Kraft  $F_G$  größer als seine Kraft  $F_A$
  - seine Kraft  $F_A$  größer als seine Kraft  $F_u$
  - seine Kraft  $F_u$  größer als seine Kraft  $F_A$
  - Weiß ich nicht.
- 8) Ein Würfel hat ein Volumen von  $1000\text{cm}^3$  und eine Dichte von  $1\text{g/cm}^3$ . Eine Kugel hat ein Volumen von  $1000\text{cm}^3$  und eine Dichte von  $1\text{g/cm}^3$ . Beide Körper befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der Aussagen stimmt?
- Die Kraft  $F_G$  beider Körper ist gleich und die Kraft  $F_A$  des Würfels ist kleiner.
  - Die Kraft  $F_G$  des Würfels ist kleiner und die Kraft  $F_A$  beider Körper ist gleich.
  - Die Kraft  $F_G$  beider Körper ist gleich und die Kraft  $F_A$  des Würfels ist größer
  - Die Kraft  $F_G$  beider Körper ist gleich und die Kraft  $F_A$  beider Körper ist gleich.
  - Weiß ich nicht.
- 9) Ein Würfel hat eine Dichte von  $\rho_K=3\text{g/cm}^3$ . Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von  $\rho_{FL}=1\text{g/cm}^3$  hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- Die Kraft  $F_G$  des Würfels ist größer als seine Kraft  $F_A$
  - Die Kraft  $F_G$  des Würfels ist genauso groß wie seine Kraft  $F_A$
  - Die Kraft  $F_o$  ist größer als die Kraft  $F_u$
  - Die Kraft  $F_o$  ist genauso groß wie die Kraft  $F_u$
  - Weiß ich nicht.

- 10) Würfel A und B haben ein Volumen von  $1000\text{cm}^3$  und eine Dichte von  $1\text{g/cm}^3$ .  
 Würfel A befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von  $\rho_{FL}=1\text{g/cm}^3$  hat.  
 Würfel B befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von  $\rho_{FL}=3\text{g/cm}^3$  hat.  
 Welche der folgenden Aussagen ist richtig?
- Die Kraft  $F_A$  des Würfels A ist größer als die Kraft  $F_A$  des Würfels B.
  - Die Kraft  $F_G$  des Würfels A ist kleiner als die Kraft  $F_G$  des Würfels B.
  - Die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Würfels A sind größer als die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Würfels B.
  - Die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Würfels A sind kleiner als die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Würfels B.
  - Weiß ich nicht.
- 11) Auf einen Würfel A wirken die Kräfte  $F_o=20\text{N}$  und  $F_u=40\text{N}$ . Auf einen Würfel B wirken die Kräfte  $F_o=50\text{N}$  und  $F_u=100\text{N}$ . Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- Die Kraft  $F_G$  des Würfels A ist größer als die Kraft  $F_G$  des Würfels B
  - Die Kraft  $F_G$  des Würfels A ist kleiner als die Kraft  $F_G$  des Würfels B
  - Die Kraft  $F_A$  des Würfels A ist größer als die Kraft  $F_A$  des Würfels B
  - Die Kraft  $F_A$  des Würfels A ist kleiner als die Kraft  $F_A$  des Würfels B
  - Weiß ich nicht.
- 12) Wann sinkt ein Körper in einer Flüssigkeit mit der Dichte  $3\text{g/cm}^3$ ?
- Wenn die Dichte des Körpers =  $1\text{g/cm}^3$  ist
  - Wenn die Dichte des Körpers =  $2\text{g/cm}^3$  ist
  - Wenn die Dichte des Körpers =  $3\text{g/cm}^3$  ist
  - Wenn die Dichte des Körpers =  $4\text{g/cm}^3$  ist
  - Weiß ich nicht.

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwandt und die Stellen, die anderen benutzten Druck- und digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe. In die Versicherung sind auch Zeichnungen, Skizzen sowie bildliche und sonstige Darstellungen einzuschließen.

*Kassel, den 01.07.2014*

*Sven Wiegandt*