

Universität Duisburg-Essen
Fachbereich Bildungswissenschaften
Lehrstuhl für Lehr-Lernpsychologie

Selbständig entdeckendes Experimentieren
Lernwirksamkeit der Strategieranwendung

Dissertation zur Erlangung des Grades Dr. phil.
vorgelegt von Dipl.-Psych. Jill Mara Göbbling
geboren am 11. Juni 1982 in Düsseldorf

Erstgutachter: Prof. Dr. Detlev Leutner, Universität Duisburg-Essen
Zweitgutachter: Prof. Dr. Joachim Wirth, Ruhr-Universität Bochum

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Oktober 2010

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denen herzlich bedanken, die mir während der verschiedenen Phasen dieser Arbeit auf unterschiedliche Art und Weise Hilfe geboten und mich unterstützt haben.

Ich bedanke mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Detlev Leutner, der mit seinem fachlichen und statistischen Rat die ausschlaggebenden Anstöße zur Umsetzung dieser Arbeit gab und durch dessen fachliche Kompetenz ich mich bestens betreut fühlte.

Ebenso bedanke mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Joachim Wirth, der mir durch seine intensive Betreuung jeder Zeit mit sehr gutem fachlichen und persönlichen Rat zur Seite stand. In allen Phasen dieser Arbeit hat mir unsere Zusammenarbeit viel Freude und Spaß bereitet und ich fühlte mich bestens betreut und unterstützt.

Darüber hinaus möchte ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken, dass sie diese Arbeit im Rahmen des Projekts „Diagnose und Förderung im naturwissenschaftlichen Unterricht“ gefördert hat.

Ich bedanke mich auch herzlich bei Dr. Hubertina Thillmann die jederzeit zu einem fachlichen und persönlichen Austausch bereit war. Ein großer Dank gilt auch Jessica Marschner mit der ich sehr viel gemeinsam gearbeitet, gelitten und geschleppt habe und mich immer auf einer persönlichen und fachlichen Ebene austauschen konnte.

Ich danke auch Prof. Dr. Elke Sumfleth, Prof. Dr. Maik Walpuski, Dr. Sabine Fechner, Dr. Isabel Wahser und vielen weiteren wissenschaftlichen Mitarbeitern der Chemiedidaktik nwu-Essen, die mit ihrem fachlichen Rat ausschlaggebend dazu beigetragen haben, dass die Entwicklung unserer computerbasierten Lernumgebung umgesetzt werden konnte. Ich danke auch Prof. Dr. Hans E. Fischer und Dr. Bernd Prof für die gute Kooperation mit der Physikdidaktik und die Möglichkeit, die Laptops der Physikdidaktik ausleihen zu können, was die Durchführung unserer Studien deutlich erleichtert hat.

Kim Ludwig, Jen Hegerring und Larissa Wirch danke ich für ihre Hilfe bei der Durchführung sämtlicher Studien, der Dateneingabe und insbesondere für die kraftvolle Unterstützung beim Tragen der Laptops. Für die Hilfe bei der Akquise der TeilnehmerInnen an den Studien danke ich Dr. Helene Kruse.

Insgesamt bedanke ich mich für die gesellige und anregende Atmosphäre in der *nwu-Essen* und die vielen fachlichen Ratschläge, wie auch die freundschaftliche und persönliche Unterstützung. Mein besonderer Dank gilt Annett, Irene, Jenny, Maria, Marion, Melanie und Steffi.

Meinen Eltern Inge und Bernd Gößling, meinen Schwestern Jana und Alena und meinem Freund Max Elling danke ich herzlich dafür, dass sie immer für mich da waren, sich um mich gekümmert und mich unterstützt haben.

Nicht zuletzt gilt mein Dank allen Lehrkräften und SchulleiterInnen, die uns die Möglichkeit gaben unsere Studien an ihren Schulen durchzuführen und mit großem Interesse, Freude und großem Einsatz unser Projekt ermöglichten und verfolgten. Ebenso bedanke ich mich auch bei allen SchülerInnen, die an der Studie teilgenommen haben und ohne deren Einsatz dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Ziele der Arbeit	9
2	Selbständig entdeckendes Lernen	13
2.1	Scientific Discovery Learning.....	14
2.1.1	Scientific Discovery as Dual Search.....	14
2.1.2	Erweiterung des SDDS-Modells.....	17
2.1.3	Inquiry Learning.....	18
2.1.4	Aspekte der Selbstregulation	19
2.1.5	Fazit	21
2.2	Art und Klassifikation des Wissenserwerbs	22
2.3	Selbständig entdeckendes Experimentieren mit dem Computer.....	26
2.4	Erfassung des selbständig entdeckenden Experimentierens	29
2.5	Erkenntnisse zum selbständig entdeckenden Experimentieren	34
2.5.1	Probleme beim selbständig entdeckenden Experimentieren.....	37
2.5.2	Unterstützung des selbständig entdeckenden Experimentieren	41
2.5.3	Fazit	44
2.6	Zusammenfassung	45
3	Fragestellung	47
4	Computerbasierte Lernumgebungen	51
4.1	Erweiterung der computerbasierten Lernumgebung <i>Auftrieb in Flüssigkeiten</i>	51
4.1.1	Hypothesenraum als Flipchart	52
4.1.2	Experimenterraum als Labor.....	55
4.1.3	Tutorials zum Experimente- und Hypothesenraum.....	55
4.2	Computerbasierte Lernumgebung <i>Säuren und Basen</i>	56
4.2.1	Hypothesenraum als Flipchart.....	58
4.2.2	Der Experimenterraum als Labor	59
4.2.3	Tutorials zum Experimente- und Hypothesenraum	60
4.3	Verhaltensbasierte Maße	61
4.3.1	Erfassung von Strategien des Experimentierens.....	61
4.3.2	Erfassung von Fehlern beim selbständig entdeckenden Experimentieren	65
5	Re-Analyse	70
5.1	Fragestellung und Hypothesen	70
5.2	Verhaltensbasierte Maße	71
5.2.1	Strategieanwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren	71
5.2.2	Strategiewissen zum selbständig entdeckenden Experimentieren.....	71
5.2.3	Deklarativ-konzeptuelles Wissen	72
5.2.4	Handlungswissen	73
5.2.5	Intelligenz.....	74

5.3	Selbstauskunftbasierte Maße	74
5.3.1	Motivation.....	74
5.3.2	Interesse und demografische Variablen	75
5.4	Stichprobe.....	75
5.5	Generierung der Daten.....	76
5.6	Ergebnisse	76
5.6.1	Deskriptivstatistik	76
5.6.2	Testung des SDDS-Modells	77
5.6.3	Testung des Fehler-Modells.....	83
5.7	Diskussion.....	87
6	Pilotierungsstudie	91
6.1	Entwicklung der Items	91
6.2	Stichprobe	92
6.3	Durchführung.....	92
6.4	Ergebnisse	92
6.5	Diskussion	95
7	Studie I	96
7.1	Fragestellung und Hypothesen	96
7.2	Verhaltensbasierte und Selbstauskunftsbasierte Maße	97
7.3	Stichprobe.....	98
7.4	Durchführung.....	99
7.5	Ergebnisse.....	99
7.5.1	Deskriptivstatistik.....	99
7.5.2	Testung des SDDS-Modells.....	100
7.5.3	Testung des Fehler-Modells.....	103
7.6	Diskussion	106
8	Studie II	109
8.1	Fragestellung und Hypothesen	109
8.2	Lernumgebungen.....	110
8.3	Verhaltensbasierte Maße	110
8.3.1	Strategieanwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren.....	110
8.3.2	Inhaltsspezifisches konzeptuelles Wissen.....	111
8.3.3	Intelligenz	112
8.4	Selbstauskunftbasierte Maße.....	112
8.4.1	Motivation	112
8.4.2	Interesse und Demografische Variablen	113
8.5	Stichprobe	113
8.6	Durchführung.....	114
8.7	Ergebnisse	116

8.7.1 Deskriptivstatistik	116
8.7.2 Testung des SDDS-Modells	117
8.7.3 Testung des Fehlermodells	122
8.8. Diskussion.....	126
9 Zusammenfassung & Diskussion	130
9.1 Zusammenfassung.....	130
9.2 Diskussion	135
9.2.1 Theoretischer Ertrag	135
9.2.2 Praktischer Ertrag.....	137
9.2.3 Ausblick.....	139
10 Literaturverzeichnis	141
A Prä- und Post-Test inhaltsspezifischen Wissen	161
(Re-Analyse).....	161
B Test des Handlungswissen	165
B.1 Screenshot eine Beispielitems	166
B.2 Auflistung der 15 Items.....	167
C Relationen in der Physik-Lernumgebung	168
D Test des deklarativ-konzeptuellen Wissens Physik	173
E Prä-Test deklarativ-konzeptuelles Wissen Physik	181
E.1 Instruktion zum Test.....	182
E.3 Auflistung aller Items	184
F Post-Test deklarativ-konzeptuelles Wissen Physik	187
F.1 Instruktion zum Test	188
F.2 Screenshot eines Beispielitems	189
F.3 Auflistung aller Items	190
G Relationen in der Chemie-Lernumgebung	193
H Prä-Test deklarativ-konzeptuelles Wissen Chemie	199
H.1 Screenshot Instruktion	200
H.2 Screenshot eines Beispielitems.....	201
H.3 Auflistung aller Items.....	202
I Post-Test deklarativ-konzeptuelles Wissen Chemie	206
I.1 Screenshot Instruktion.....	207
I.2 Screenshot Beispielitems.....	208
I.3 Auflistung aller Items	209

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 2.1:</i> Taxonomie von Wissensarten nach Süß (1996)	24
<i>Tabelle 5.1:</i> Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der Re-Analyse	77
<i>Tabelle 5.2:</i> Interkorrelationen der Leistungs-, Strategie- & Intelligenz-Maße	79
<i>Tabelle 5.3:</i> Interkorrelationen der Fehler- & Strategiewissensmaße	84
<i>Tabelle 6.1:</i> Itemkennwerte für die 23 Items des reliablen Tests und Zuordnung zum Test	94
<i>Tabelle 6.2:</i> Mittelwerte und Standardabweichung der Wissensgruppen im deklarativ-konzeptuellen Wissenstest	94
<i>Tabelle 7.1:</i> Mittelwerte und Standardabweichungen der Experimentierstrategien	100
<i>Tabelle 7.2:</i> Korrelation der Strategieranwendung mit dem Leistungsmaß	101
<i>Tabelle 7.3:</i> Mittelwert, Standardabweichung und Varianzen der Fehler beim Experimentieren	104
<i>Tabelle 8.1:</i> Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der Evaluationsstudie	116
<i>Tabelle 8.2:</i> Korrelationen der Strategieranwendung mit dem jeweiligen Lernerfolgsmaß	118
<i>Tabelle 8.3:</i> Interkorrelationsmatrix der Strategie Operationalisierung nach dem SDDS-Modell	119
<i>Tabelle 8.4:</i> Mittelwerte, Standardabweichung und Reliabilitäten der Fehlermaße	122
<i>Tabelle 8.5:</i> Interkorrelationen zwischen Fehlerarten	123

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 2.1:</i> Prozesse des SDDS-Modells.....	17
<i>Abbildung 2.2:</i> Klassifikation der Lernziele beim Lernen mit Simulationen in Bezug auf Wissenskategorien, Wissensbereiche und Wissensrepräsentationen	25
<i>Abbildung 4.1:</i> Screenshot der ursprünglichen Lernumgebung <i>Auftrieb in Flüssigkeiten</i>	52
<i>Abbildung 4.2:</i> Screenshot der weiterentwickelten Lernumgebung <i>Auftrieb in Flüssigkeiten</i>	53
<i>Abbildung 4.3:</i> Nutzung der Tools im Hypothesenraum zur Erstellung von Zusammenhängen	54
<i>Abbildung 4.4:</i> Screenshots der Tutorials zum Experimenterraum (links) und zum Hypothesenraum (rechts).....	56
<i>Abbildung 4.5:</i> Screenshot der Lernumgebung <i>Säuren und Basen</i>	58
<i>Abbildung 5.1:</i> Screenshot des Handlungswissenstests aus dem Projekt <i>Diagnose und Förderung des Lernens und Problemlösens im naturwissenschaftlichen Unterricht</i>	74
<i>Abbildung 5.2:</i> Pfadmodell (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Interaktion beider Räume auf das Handlungswissen).....	81
<i>Abbildung 5.3:</i> Pfadmodell (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Interaktion beider Räume auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen).....	82
<i>Abbildung 5.4:</i> Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das Handlungswissen)	85
<i>Abbildung 5.5:</i> Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen)	86
<i>Abbildung 7.1:</i> Pfadmodell (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Anwendung der Interaktions-Strategie in beiden Räumen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen).....	102
<i>Abbildung 7.2:</i> Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das Handlungswissen)	105

<i>Abbildung 8.1:</i> Pfadmodell zur Lernumgebung <i>Auftrieb in Flüssigkeiten</i> (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Anwendung der Interaktions-Strategie in beiden Räumen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen).....	120
<i>Abbildung 8.2:</i> Pfadmodell zur Lernumgebung <i>Säuren und Basen</i> (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Anwendung der Interaktions-Strategie in beiden Räumen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen)	121
<i>Abbildung 8.3:</i> Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen Physik)	124
<i>Abbildung 8.4:</i> Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen Chemie).....	125

1 Einführung und Ziele der Arbeit

Nicht zuletzt durch internationale Studien wie TIMMS (Baumert, Bos & Watermann, 1999; Baumert et al., 1997) und PISA (Baumert et al., 2001; OECD, 2001) wurde deutlich, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht neben dem Erlernen akzeptierter Erkenntnisse und bekannter Theorien, auch die Entwicklung von wissenschaftsmethodischen Kompetenzen ein bedeutendes Bildungsziel sein sollte (Fischer, Schecker & Wiesner, 2004; Hammann, Phan & Bayrhuber, 2007; Mayer et al., 2004; van Joolingen, de Jong & Dimitrakopoulou, 2007). Diese Kompetenz, die mit dem Begriff des *Scientific Inquiry* beschrieben wird, beinhaltet wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen der Erkenntnisgewinnung (KMK, 2005). Somit sollen Lernende lernen, wie wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden und was naturwissenschaftliche Methoden und Aussagen charakterisiert (Mayer, 2008). Darüber hinaus sollen Lernende auf diese Weise ein tiefgehendes Verständnis der zu erlernenden Inhaltsbereiche und ein flexibel anwendbares Wissen erwerben (Ministerium für Schule, 2004; Prenzel, Rost, Senkbeil, Häußler, Klopp, 2001).

Eine beliebte Lehrmethode und ein Schwerpunkt zur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung im Unterricht ist das Experimentieren (Hammann et al., 2007; Hofstein & Lunetta, 1982; Hucke & Fischer, 2002). Mit der Zeit hat sich das Experimentieren im Unterricht von mehr oder weniger imitatorischen *Experimentier-Übungen*, in denen Schüler Phänomene reproduzieren sollen (Carey et al., 1989), weiterentwickelt: Das Ausführen von experimentellen *Kochrezepten*, in denen Experimente nach einer genauen Anleitung ausgeführt werden und wodurch Wissen als feststehende Tatsache vermittelt wird (Lunetta, 1998), wurde durch selbständiges Experimentieren ersetzt (Kipnis & Hofstein, 2008; Lunetta, Hofstein & Clough, 2007). Dennoch zeigt sich, dass sowohl der Umfang als auch die Qualität des durch Experimente erworbenen Wissens weit hinter den Erwartungen zurückbleibt und deutliche Defizite beim Verständnis naturwissenschaftlicher Inhalte sowie beim flexiblen Anwenden naturwissenschaftlichen Sach- und Handlungswissens vorliegen (Hofstein & Lunetta, 1982; Hucke & Fischer; 2002, Prenzel et al., 2001). Weitergehend wies Kaiser (1999) darauf hin, dass Schüler sich bereits einen Monat nach Durchführung eines Experiments häufig gar nicht mehr an dieses erinnern können.

Künsting (2007) und Thillmann (2008) haben untersucht, ob der geringe Lernerfolg auf eine Überforderung der Lernenden durch die beim Experimentieren erforderliche selbständige Organisation und Kontrolle des eigenen Lernprozesses zurückzuführen ist. Angenommen wurde, dass zum einen falsche Zielvorgaben der Lehrenden und zum anderen fehlendes metakognitives Wissen und metakognitive Regulation der Lernenden die Selbstregulation erschweren (Flavell & Wellmann, 1977). Folglich wurde einerseits

überprüft, ob adäquate Zielvorgaben zu einer elaborierten Verarbeitung des Lerninhalts und somit zu einem höheren Lernerfolg führen (Künsting, 2007). Andererseits wurde überprüft, ob eine zeitlich prozessbasierte Darbietung metakognitiver *Prompts* (Anregungen) zu einem signifikant höheren Lernerfolg führen als eine zeitlich davon abweichende und folglich nicht-prozessbasierte Darbietung derselben *Prompts* (Thillmann, 2008). Die Ergebnisse zeigten einen regulations- und damit auch lernförderlichen Einfluss geeigneter Zielvorgaben (Künsting, 2007) und der Darbietung metakognitiver *Prompts* (Thillmann, 2008) während des selbständigen Experimentierens. Es zeigte sich aber auch, dass die Strategianwendung äußerst gering war. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit Befunden aus der Literatur zum *inquiry learning* bzw. *scientific discovery learning* (z. B. Azevedo, Cromley & Seibert, 2004; Brown & Pressley, 1994; Chen & Klahr, 1999; de Jong & van Joolingen, 1998; Löhner, van Joolingen, Savelsbergh & van Hout-Wolters, 2005), die deutlich machen, dass Lernende beim selbständigen Experimentieren wenig selbstreguliert, eher zufallsgeleitet und unsystematisch vorgehen. Es zeigte sich auch, dass Lernende insbesondere bei der experimentellen Erarbeitung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen oft unsystematisch agieren, indem mehrere Variablen gleichzeitig verändert werden und dass häufig völlig ohne Hypothesen experimentiert wird (Hammann, 2004; de Jong & van Joolingen, 1998). Klahr (2000) weist auch darauf hin, dass sofern Hypothesen generiert werden, diese häufig nicht elaboriert sind und selten entkräftet werden. Somit erkennen Lernende oftmals nicht den Zusammenhang zwischen Problem, Hypothese und Experiment.

Klahr und Dunbar (1988) betonen in ihrem *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS)-Modell aber, dass insbesondere die Interaktion zwischen den wissenschaftsmethodischen Fertigkeiten des Hypothesenaufstellens und des Experimentierens ausschlaggebend für den Erfolg von wissenschaftlichen Bestrebungen ist (Conant, 1964; Klahr & Dunbar, 1988; Mitroff, 1974; Simon & Lea, 1974; Vollmeyer, Burns & Holyoak, 1996). Klahr und Dunbar (1988) merken aber auch an, dass die Interaktion sehr komplex ist und somit die meisten Studien die einzelnen Experimentierfertigkeiten isoliert voneinander betrachten. Studien, die sich auf die Überprüfung der Effektivität der Anwendung einzelner Strategien während des selbständig entdeckenden Experimentierens gerichtet haben, konnten zeigen, dass die Anwendung von Strategien lernförderlich ist (z. B. Chen & Klahr, 1999; Klahr, 2000; Kuhn, Black, Keselman & Kaplan, 2000; Nesbit and Adesope, 2006; Njoo & de Jong, 1993b). Deutlich wird aber, dass es kaum Studien gibt, die die komplexe Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse beim selbständig entdeckenden Experimentieren erfassen. Eine Überprüfung der Lernwirksamkeit verschiedener, interagierender Strategien ist folglich auf Basis dieser Studien nicht möglich. In den Studien von Klahr und Dunbar (1988) wird zwar die Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse angeregt, aber sowohl die Passung bzw. die

Richtigkeit der Interaktion als auch deren Lernwirksamkeit wird nicht überprüft. Das bedeutet, dass nicht überprüft wurde, welchen Einfluss die Anwendung interagierender Strategien auf den Lernerfolg hat. Demnach ist die empirische Überprüfung des vollständigen SDDS-Modells nicht gegeben und es können bislang nur Annahmen bezüglich der Lernwirksamkeit interagierender wissenschaftsmethodischer Prozesse gemacht werden.

Ausgehend von dieser fehlenden empirischen Überprüfung des vollständigen SDDS-Modells in komplexen computerbasierten Systemen oder Lernumgebungen, soll im vorliegenden Promotionsvorhaben überprüft werden, ob die interagierende Strategieanwendung beim selbständigen Experimentieren gemäß dem SDDS-Modell ausschlaggebend für den Lernerfolg ist. Darüber hinaus soll überprüft werden, ob das Modell für unterschiedliche naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche generalisierbar ist. Dazu sollen zunächst Algorithmen entwickelt werden, die die Berechnung verhaltensbasierter Maße für Strategien ermöglichen, um in einer bereits zur Verfügung stehenden computerbasierten Lernumgebung zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* (Künsting, 2007; Thillmann, 2008) zu überprüfen, ob sich die Anwendung von Strategien des Experimentierens, die im SDDS-Modell beschrieben werden, identifizieren lässt. Zur Überprüfung der Generalisierbarkeit wird die Entwicklung einer weiteren computerbasierten Lernumgebung in Form einer interaktiven Simulation des chemischen Inhaltsbereichs *Säuren und Basen* vorgenommen. Diese Lernumgebung soll über Eigenschaften eines komplexen dynamischen Systems verfügen (Blech & Funke, 2005; Berry & Broadbent, 1988; Dörner, 1980; Dörner, Kreuzig, Reither & Stäudel, 1983; Dörner, Schaub & Strohschneider, 1999; Funke, 1992, 2001, 2004; Leutner, 2003) und die Möglichkeit bieten, die Anwendung relevanter Experimentierstrategien zur Entdeckung inhaltspezifischen Wissens (z. B. Chen & Klahr, 1999; Klahr & Dunbar, 1988; Künsting et al., 2008; Nesbit & Adesope, 1996; Njoo & de Jong, 1993b; Thillmann, 2008; Vollmeyer & Burns, 1996) verhaltensbasiert und unmittelbar aufzuzeichnen (Jamieson-Noel & Winne, 2003; Künsting et al., 2008; Wirth, 2004, 2005).

Vor dem Hintergrund, dass Lernende beim selbständig entdeckenden Experimentieren oft unsystematisch vorgehen und ohne Hypothesen experimentieren (Hammann, 2004; de Jong & van Joolingen, 1998), bleibt ebenfalls undeutlich, inwiefern und welche Fehler sich beim Experimentieren negativ auf den Lernerfolg auswirken. Bislang konnten Studien zeigen, dass sich weniger erfolgreiche von erfolgreichen Lernern darin unterscheiden, dass sie weniger systematische Strategien anwenden (de Jong & van Joolingen, 1998; Schauble, Glaser, Raghavan & Reiners, 1991), aber ob Fehler beim Experimentieren tatsächlich einen negativen Einfluss auf den Lernerfolg haben, wurde dabei nicht überprüft. Um überprüfen zu können, ob und welche Fehler beim Experimentieren das Lernen

erschweren, sollen ebenfalls Algorithmen entwickelt werden, die die Berechnung von Maßen für Experimentierfehler ermöglichen.

Ausblick auf die Arbeit: Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, das theoretische SDDS-Modell empirisch zu bestätigen und ein aus der Literatur theoretisch abgeleitetes Fehlermodell zu überprüfen.

Dazu sollen zunächst geeignete Algorithmen entwickelt werden, mit denen einerseits Maße für die Strategieranwendung des theoretischen SDDS-Modells valide abgebildet werden können und andererseits Fehler des Experimentierens erfasst werden können. Dazu werden zunächst in Kapitel 2 die Modelle zum *scientific discovery* bzw. *inquiry learning* erläutert, aus denen Verhaltensindikatoren für die Entwicklung von Algorithmen zur Berechnung von Maßen für die Strategieranwendung und der Fehler hergeleitet werden können. Davon ausgehend werden in Kapitel 4 die Entwicklung der Algorithmen und Berechnung der Maße beschrieben. Im Anschluss werden in Kapitel 5 und 7 die Ergebnisse der Testung des SDDS- und des Fehlermodells für den Inhaltsbereich Physik dargestellt.

Ein zweites Ziel ist es, durch die Entwicklung einer weiteren computerbasierten Lernumgebung, die Generalisierbarkeit des SDDS- und des Fehlermodells für verschiedene naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche zu überprüfen. In Kapitel 4 wird dazu die Entwicklung der Lernumgebung als Diagnoseinstrument beschrieben. Des Weiteren werden die Ergebnisse bezüglich der Generalisierbarkeit des SDDS-Modells in Kapitel 8 dargestellt.

Ein übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist es, auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse Implikationen für Fördermaßnahmen des selbständig entdeckenden Experimentierens ableiten zu können.

2 Selbständig entdeckendes Lernen

Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse, dass durch die selbständige Anwendung verschiedener Strategien zur Generierung, Selektion und aktiven Rekonstruktion von Informationen und Hypothesen Lernende eine Wissensbasis aufbauen, die über die dargebotene Information hinausgeht (Bruner, Goodnow & Austin, 1956), hat sich das entdeckende Lernen (*learning by discovery; concept discovery*) entwickelt. Es hat seinen Ursprung in den Arbeiten von Bruner (1961, 1970, 1981) und wurde darin als die selbständige Erschließung eines Wissensgebietes definiert. Die Fähigkeit, neues Wissen zu generieren und Erlerntes anzuwenden, wird nach Bruner (1961) insbesondere dann gesteigert, wenn sich Lernende grundlegende Gesetzmäßigkeiten in einem Prozess des entdeckenden Lernens aneignen. Das zentrale Merkmal des entdeckenden Lernens wird darin gesehen, dass der Inhalt dessen, was erlernt werden soll, dem Lernenden nicht direkt präsentiert wird, sondern vom Lernenden entdeckt werden muss (Ausubel, Novak & Hanesian, 1980/81). Durch Kritik bezüglich der Ineffizienz und des geringen Lerneffekts des puren entdeckenden Lernens (z. B. Ausubel, Novak & Hanesian, 1978) verlor diese Art des Lernens an Interesse und Anreiz. Durch die instruktionspsychologische Weiterentwicklung hin zum *scientific discovery learning* bzw. *inquiry learning* (de Jong, van Joolingen, Veermans & van der Meij, 2005; Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997; Veenman & Elshout, 1999; White & Frederiksen, 1998) und im Zuge der Entwicklung computerbasierter Simulationen und Lernumgebungen bekam das selbständig entdeckende Lernen (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998) neue Aufmerksamkeit in Form eines Prozesses, in dem Lernende in einer komplexen Lernumgebung selbständig Wissen erwerben. Nach Friedler, Nachmias und Linn (1990) beinhalten diese Formen des Lernens die Definition eines wissenschaftlichen Problems, das Aufstellen von Hypothesen, das Entwerfen von Experimenten, das Beobachten, Sammeln, Analysieren und Interpretieren von Daten, die Auswertung von Ergebnissen sowie das Treffen von Vorhersagen auf Grundlage der Ergebnisse.

Im Folgenden werden die Ansätze zum *scientific discovery* bzw. *scientific inquiry learning* näher betrachtet. Dabei wird insbesondere auf das selbständig entdeckende Lernen durch Experimentieren mittels computerbasierter Simulationen und Lernumgebungen eingegangen sowie dessen Erfassung und empirische Erkenntnisse zur Effektivität der Strategieanwendung und Problemen mit der Art des Lernens berichtet.

2.1 Scientific Discovery Learning

Der Ansatz des entdeckenden Lernens wurde in den letzten 20 Jahren vor dem Hintergrund des Zwei-Räume-Modells (Simon & Lea, 1974) weiterentwickelt. Simon und Lea (1974) Modell beschreibt das *wissenschaftliche Entdecken (scientific discovery)* als einen Problemlöseprozess, der in zwei *Problem-Räumen* stattfindet. Damit vereinen sie das Problemlösen mit der Induktion von Regeln und Strategien. Sie gehen davon aus, dass sowohl das Problemlösen als auch die Induktion von Regeln auf den fundamentalen Prozessen des Generierens, Testens und Selektierens beruht. In ihrem Modell unterscheiden sie demnach zwei Räume: Der *Regelraum*, in dem Hypothesen formuliert werden, umfasst alle Regeln einer Domäne, die gegen alle möglichen Zustände oder Daten der Domäne getestet werden können, die der *Instanzenraum* repräsentiert (vgl. Funke, 2003; Vollmeyer & Funke, 1999).

2.1.1 Scientific Discovery as Dual Search

Klahr und Dunbar (1988) arbeiteten basierend auf dem Ansatz des Zwei-Räume-Modells das wissenschaftlich entdeckende Lernen (*scientific discovery learning*) im *Scientific Discovery as Dual Search (SDDS)*-Modell weiter aus (vgl. Abbildung 2.1). Im SDDS-Modell wird der Prozess des hypothesengeleiteten Experimentierens als *Suche* in zwei Räumen beschrieben. Dabei umfasst der *Experimenterraum* alle durchführbaren Experimente und der *Hypothesenraum* repräsentiert alle formulierbaren Hypothesen einer Domäne. Das Modell wird als allgemeingültiges Modell des wissenschaftlichen Denkens (*scientific reasoning*) postuliert, das auf jede Domäne anwendbar ist, in der Hypothesen generiert und Daten gesammelt werden können. Den Hauptunterschied zum entdeckenden Lernen sehen Klahr und Dunbar (1988) beim wissenschaftlichen, entdeckenden Lernen in der Notwendigkeit des Durchführens von Experimenten. Ein weiterer Unterschied zum Zwei-Räume-Modell bezieht sich auf die Definition der Räume. Im Gegensatz zum Regelraum gibt der Hypothesenraum auch die Möglichkeit Entdeckungsprozesse in semantisch vielfältigen Domänen abzudecken. Darüber hinaus fassen Klahr und Dunbar den Experimenterraum im Vergleich zum Instanzenraum als elaborierter auf, da den Lernenden nicht lediglich eine Liste von Daten geboten wird, sondern selbständig Experimente geplant und ausgeführt werden müssen (vgl. van Joolingen & de Jong, 1997).

Nach Klahr und Dunbar (1988) müssen Lernende beim erfolgreichen, wissenschaftlichen Arbeiten zwei aufeinander bezogene Fertigkeiten beherrschen: das Aufstellen von Hypothesen und die Durchführung von Experimenten. Klahr und Dunbar (1988) beziehen sich im Kern ihres SDDS-Modells auf historische Analysen wissenschaftlichen Entdeckens

(Conant, 1964; Mitroff, 1974), die annehmen, dass die Interaktion zwischen dem Aufstellen von Hypothesen und dem Durchführen von Experimenten ausschlaggebend für den Erfolg von wissenschaftlichen Bestrebungen ist (z. B. Klahr & Dunbar, 1988; Simon & Lea, 1974; Vollmeyer et al., 1996). Dadurch können neue Informationen und tiefergehendes Verständnis über einen spezifischen Inhaltsbereichs entdeckt und erwerben werden. Die zwei miteinander interagierenden Fertigkeiten können Lernende in den beiden Räumen des Modells anwenden.

Hypothesenraum. Die Fertigkeit des Hypothesenaufstellens beinhaltet das Aufstellen und die Evaluation von Theorien (vgl. Klahr & Dunbar, 1988). Eine Hypothese ist dabei die Formulierung von Annahmen über Zusammenhänge zwischen relevanten abhängigen und unabhängigen Variablen eines Inhaltsbereiches (Bortz & Döring, 1995; Funke, 2003). Die in der Hypothese formulierte Idee muss so abgebildet werden, dass sie an der Realität überprüfbar und potenziell widerlegbar ist (Bortz & Döring, 1995; Rollett, 2008). Dazu bieten sich die Formulierung linearer bzw. konditionaler Zusammenhänge in Form von „je-desto“ bzw. „wenn-dann“ Strukturen an (Bortz & Döring, 1995). Ein Beispiel für eine Hypothese zum Inhaltsbereich Auftrieb in Flüssigkeiten ist „Je größer das Volumen eines Körpers ist, desto geringer ist seine Dichte“. Klahr und Dunbar (1988) gehen davon aus, dass Lerner bei der Suche im Hypothesenraum Annahmen über Zusammenhänge von Variablen bzw. Annahmen über Effekte von Veränderungen bestimmter Werte einer Variablen auf die Werte anderer Variablen generieren. Basierend auf generierten Annahmen können Regeln einer spezifischen Domäne abgeleitet werden, die die Gültigkeit bestimmter Beziehungen zwischen zwei oder mehreren Variablen beschreiben. Das heißt, dass Zusammenhänge über direkt beobachtbare Variablen, aber auch über allgemeinere Konzepte generiert werden können. Nach van Joolingen und de Jong (1997) impliziert dies, dass der Hypothesenraum in einen *Variablenraum* und einen *Zusammenhangsraum* unterteilt werden kann. Eine Variable ist dabei ein Konzept oder ein Begriff, der in einem Inhaltsbereich relevant ist und innerhalb dieser Domäne direkt beobachtbar ist (van Joolingen & de Jong, 1997). Für den Inhaltsbereich *Auftrieb in Flüssigkeiten* sind relevante Variablen z. B. die Konzepte Masse, Volumen, Auftriebskraft oder Gewichtskraft. Ein Beispiel für einen Zusammenhang über direkt beobachtbare Variablen ist für diese physikalische Domäne z. B. die Annahme, dass ein Körper in einer Flüssigkeit sinkt, wenn er eine größere Dichte hat als diese Flüssigkeit. Die Annahme kann dahingehend erweitert werden, dass eine entsprechende Vergrößerung der Dichte der Flüssigkeit dazu führt, dass ein Körper in der Flüssigkeit nach oben steigt. Die Annahme kann folglich als Regel begriffen werden, die aussagt, dass ein Körper immer dann in einer Flüssigkeit sinkt, wenn seine Dichte größer ist als die der Flüssigkeit und darin steigt, wenn es umgekehrt ist (vgl. van Joolingen & de Jong, 1997).

Experimenterraum. Nach Klahr und Dunbar kann eine Suche im Hypothesenraum anschließend eine Suche im Experimenterraum auslösen, wobei Lernende nach Operatoren suchen, mit denen die Gültigkeit vorab generierter Zusammenhänge und Regeln überprüft werden können. Die Fertigkeit des systematischen Durchführens von Experimenten beinhaltet dabei die Ausprägungen der (unabhängigen) Variablen so auszuwählen, dass der Einfluss dieser Ausprägung auf beobachtbare (abhängige) Variablen festgestellt werden kann. Um den oben beschriebenen physikalischen Zusammenhang zu testen, muss der Lernende im Experimenterraum beispielsweise Körper mit bestimmten Ausprägungen auswählen, so dass deren Dichte kleiner bzw. größer ist, als die einer gewählten Flüssigkeit. Während des Experiments kann der Lerner die auf den Körper wirkenden Kräfte beobachten. Ebenso hat der Lerner die Möglichkeit das Verhalten eines Körpers in Flüssigkeiten mit verschiedener Dichte zu untersuchen. Somit erhalten Lerner durch das selbständige, systematische Experimentieren neue Informationen und Daten über das Verhalten von Körpern in bestimmten Flüssigkeiten, aus denen Schlüsse bezüglich der Richtigkeit der angenommenen Zusammenhänge generiert werden können.

Interaktion beider Räume. Klahr und Dunbar (1988) gehen davon aus, dass das Generieren einer Annahme über einen Zusammenhang oder einer Regel im Hypothesenraum zu einer Suche nach passenden Experimenten im Experimenterraum führt, mit denen die Annahme überprüft werden kann. Dies wiederum kann zu einer Falsifizierung bzw. Modifizierung der Annahme im Hypothesenraum führen. Die dadurch erworbenen Informationen sollen anschließend in die Wissensbasis integriert werden. Somit betonen sie im SDDS-Modells Conants (1964) und Mitroffs (1974) Annahmen, dass die Interaktion zwischen dem Aufstellen von Hypothesen und dem Durchführen von Experimenten ausschlaggebend für den Erfolg von wissenschaftlichen Bestrebungen sei (z. B. Klahr & Dunbar, 1988; Simon & Lea, 1974; Vollmeyer, et al., 1996). Im SDDS-Modell wird folglich angenommen, dass eine *Interaktion der Suche im Hypothesen- und Experimenterraum* erfolgreiches wissenschaftlich entdeckendes Lernen durch Experimentieren kennzeichnet. Das erfolgreiche entdeckende Experimentieren wird somit als Prozess einer aufmerksamen Koordination zwischen generierten Hypothesen und durchgeführten Experimenten beschrieben (Klahr & Dunbar, 1988; Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992; Simon & Lea, 1974; Vollmeyer & Funke, 1999).

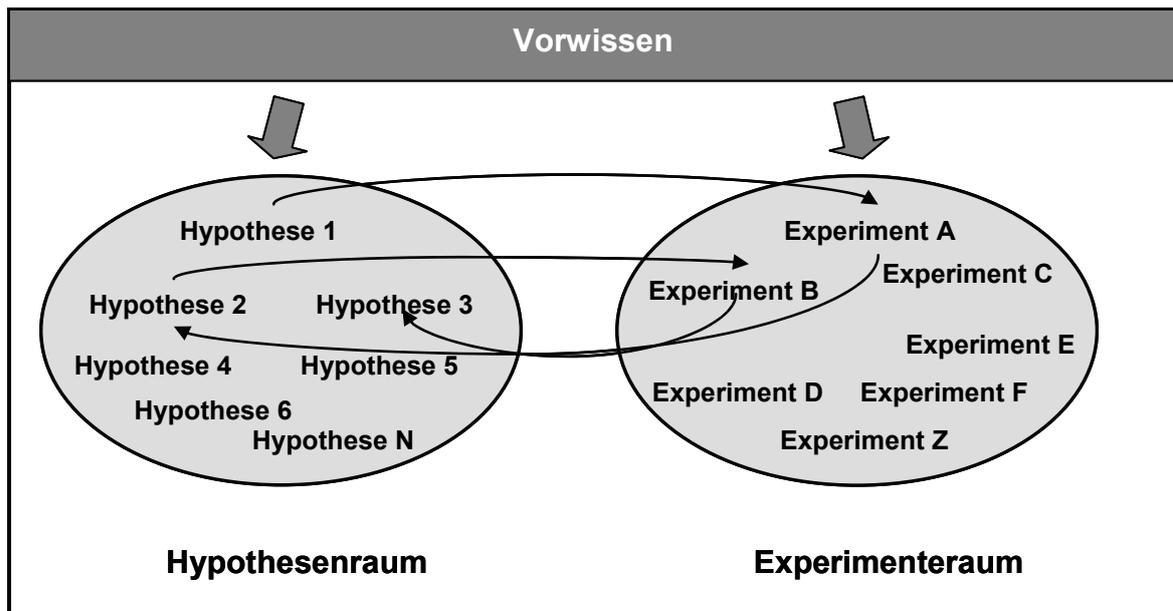


Abbildung 2.1: Prozesse des SDDS-Modells

2.1.2 Erweiterung des SDDS-Modells

Das SDDS-Modell wurde in den Arbeiten von de Jong und Njoo (1992) und van Joolingen und de Jong (1997) im Ansatz des scientific discovery learning (van Joolingen & de Jong, 1991, 1993, 1997) erweitert, um eine detailliertere Beschreibung des Lernverhaltens in komplexen Lernumgebungen zu ermöglichen. Dabei wurden die im SDDS-Modell beschriebenen Entdeckungsprozesse und deren Interaktion detaillierter als Abfolge mehrerer *transformativer Prozesse* beschrieben (de Jong & Njoo, 1992; Friedler et al., 1990; Klahr, 2000). Darüber hinaus werden bei diesem Ansatz neben den *transformativen Prozessen* auch *regulative Prozesse* berücksichtigt.

Transformative Prozesse. Die Prozesse des SDDS-Modells werden im Ansatz des *scientific discovery learning* als Aufeinanderfolge mehrerer *transformativer Prozesse* beschrieben, die sich in eine Situationsanalyse, Hypothesenbildung, Planung und Durchführung eines Experiments, Ergebnisinterpretation und Schlussfolgerung aufgliedern. Diese Prozesse dienen, ähnlich wie die Primärstrategien nach Dansereau (1985; Friedrich & Mandl, 1992), direkt dem Generieren neuer Informationen (de Jong & Njoo, 1992). Ebenso ähneln die beschriebenen wissenschaftsmethodischen Prozesse den Prozessen des *scientific inquiry*, welche im deutschsprachigen Raum mit naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen gleichgesetzt werden (Wahser & Sumfleth, 2008). Im Folgenden wird die Gesamtheit der Abfolge der transformativen Prozesse der Einfachheit halber als Experimentierzyklus betitelt.

Das durch eine Abfolge von transformativen Prozessen generierte Wissen kann im Verlauf des Lernprozesses die Suche im Hypothesenraum beim selbständig entdeckenden Experimentieren beeinflussen. Ebenso kann aber auch die Suche im Experimenterraum

Ausgangspunkt für neue Suchen im Hypothesenraum sein. Damit wird auch die im SDDS-Modell betonte zyklische Natur der Prozesse des selbständig entdeckenden Lernens durch Experimentieren betont.

Regulative Prozesse. De Jong und Njoo (1992) machen darüber hinaus auf *regulative Prozesse* aufmerksam, die beim entdeckenden Lernen durch Experimentieren eine Rolle spielen können. Diese dienen der Kontrolle über die Ausführung der wissenschaftsmethodischen Prozesse beim selbständig entdeckenden Lernen durch Experimentieren (Saab, van Joolingen & van Hout-Wolters, 2005). Die regulativen Prozesse beinhalten Prozesse des Planens, Überwachens und Evaluierens, die wie die Stützstrategien im Sinne von Dansereau (1985; Friedrich & Mandl, 1992) dem Generieren neuer Informationen und neuem Wissens dienen. Ebenso wie die transformativen Prozesse zeichnen sich auch die regulativen Prozesse durch Interpretationen und Bewertungen aus, die neue Prozesse anstoßen oder modifizieren und so zu einer kontinuierlichen Erweiterung und Verbesserung des Lernverhaltens und somit auch des Lernens führen können. Damit wird ebenfalls der zyklische Charakter der Prozesse des selbständig entdeckenden Lernens durch Experimentieren betont (Burns, Okey & Wise, 1985; Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997).

2.1.3 Inquiry Learning

Vor dem Hintergrund des Ansatzes des *scientific discovery as Dual Search* und der Erweiterung dieses Ansatzes bildeten sich aus dem Bereich des Problemlösens stärker konstruktivistisch orientierte Ansätze heraus. Sowohl der Ansatz des *inquiry learning* (Kuhn, et al., 2000; Kuhn & Pearsall, 1998; White & Frederiksen, 1998; White & Horwitz, 1988) als auch des *guided scientific discovery bzw. inquiry learning* (de Jong, 2005, 2006a; van Joolingen et al., 2005; 2007) sehen ebenfalls die Ausführung wissenschaftsmethodischer Prozesse (*scientific inquiry*) zum Aufbau einer Wissensbasis bezüglich der zu erlernenden Disziplin als zentral an (van Joolingen et al., 2007). Forschungsergebnisse zeigten aber, dass das selbständige *inquiry learning* nicht effektiv ist (de Jong, 2005; Kirschner et al., 2006; Mayer, 2004). Daher richtete sich der Fokus dieser Forschung auf die Entwicklung von Strukturierungsmaßnahmen (*scaffolds*) oder kognitiven *Tools* (de Jong, 2006a; Kirschner et al., 2006). Als besonders effektiv erwiesen sich *Tools*, die entweder den Lernprozess strukturieren, den Lerner bei der Planung des Lernprozesses unterstützen, dem Lerner vorstrukturierte Hypothesen anbieten oder Hinweise zur Durchführung systematischer Experimente bieten (de Jong, 2006b; Linn, Bell & Davis, 2004; Quintana et al., 2004). Somit zeigt sich, dass es bei diesen Lernformen durch unterschiedliche Formen des *scaffoldings* nicht mehr um eine Lernform mit minimaler Unterstützung (*minimally guided bzw. unguided*) handelt. Das *scaffolding*

ermöglicht dabei den Lernenden in *inquiry*-Lernumgebungen komplexe Aufgaben auszuführen, die eigentlich über ihren kognitiven Fähigkeiten liegen (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007). Zusätzlich spielt der Aspekt des kollaborativen Lernens (*collaboration*) eine wichtige Rolle bei diesen Ansätzen (Hmelo-Silver et al., 2007; van Joolingen et al., 2005). Um die Effektivität und Lernwirksamkeit interagierender wissenschaftsmethodischer Prozesse auf Basis des SDDS-Modells untersuchen zu können, soll in der vorliegenden Arbeit der Fokus aber auf dem selbständig und individuell entdeckenden Experimentieren liegen. Daher werden die hier beschriebenen Ansätze im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

2.1.4 Aspekte der Selbstregulation

Wie in Abschnitt 2.1.2 erwähnt, stellen de Jong und Njoo (1992) den transformativen Prozessen des selbständig entdeckenden Lernens durch Experimentieren regulative Prozesse gegenüber. Ebenso sehen van Joolingen et al. (2005) Prozesse des *modeling* als zentralen Bestandteil des entdeckenden Experimentierens. Unter dem Prozess des *modeling* wird der Aufbau eines mentalen Modells der zu erlernenden Regeln und Prinzipien eines spezifischen Inhaltsbereichs verstanden. Nach Hogan und Thomas (2001) durchlaufen Lernende beim Aufbau eines mentalen Modells vier Phasen. In der ersten Phase findet ein erstes Skizzieren eines Modells statt, in der zweiten Phase werden Beziehungen zwischen Variablen eines Modells spezifiziert, anschließend wird das Modell in der dritten Phase getestet und in der vierten Phase erfolgt eine Revision des Modells. Mittels dieses mentalen Modells können entdeckte Informationen integriert werden und werden somit nicht vergessen bzw. stehen zu späteren Gelegenheiten wieder zur Verfügung (vgl. Wirth, 2004, 2005). Die Prozesse des *modeling* hängen dabei eng mit den transformativen Prozessen zusammen. Ähnlich wie die regulativen Prozesse zeichnen sie sich durch kontinuierliches Interpretieren und Bewerten aus, wodurch neue Prozesse angestoßen und modifiziert werden. Somit wird beim selbständig entdeckenden Lernen durch Experimentieren kontinuierlich ein neues mentales Modell erworben. Dies muss bei allen Prozessen des Experimentierzyklus, wie dem Generieren von Hypothesen, dem Planen und Durchführen von Experimenten und dem Interpretieren und Sichern von Ergebnissen, berücksichtigt werden (vgl. Jonassen, Strobel & Gottdenker, 2004). Ebenso wie bei Modellen des selbstregulierten Lernens (für eine detaillierte Beschreibung der Modelle siehe z. B. Thillmann, 2008) zeigt sich in den regulativen Prozessen und im Prozess des *modeling* ein zyklischer und zielgerichteter Prozess des entdeckenden Lernens durch Experimentieren, den Lernende durch die Auswahl, Anwendung und Regulation von Strategien gestalten müssen. Darüber hinaus müssen Lernende auch beim entdeckenden Experimentieren den eigenen Lernprozess kontinuierlich beobachten,

bewerten und regulieren (Leopold & Leutner, 2004; Leutner, Barthel & Schreiber, 2001; Leutner & Leopold, 2003; Schreiber, 1998). Leutner und Leopold (2006) unterscheiden bezüglich der Regulation der Lernstrategieanwendung eine Mikroebene und eine Makroebene. Das bedeutet, dass in diesem prozessorientierten Ansatz die Regulation folglich nicht nur am Ende des Lernprozesses (Makroebene), sondern auch während des Lernprozesses auf der Mikroebene gesehen wird. Somit wird nicht nur das Ergebnis der Strategieanwendung beobachtet und bewertet, sondern auch einzelne Schritte der Strategieanwendung. Zudem findet das entdeckende Lernen durch Experimentieren wie auch das selbstregulierte Lernen unter sich kontinuierlich verändernden Bedingungen statt (de Jong & Njoo, 1992; Jonassen, et al., 2004). Das geschieht einerseits dadurch, dass Lernende ihre Wissensbasis durch entdeckte Informationen erweitern. Andererseits verändert sich durch das Interagieren mit der Lernumgebung die Lernsituation selbst. Folglich kann das Prinzip des selbstregulierten Lernens auf das entdeckende Lernen durch Experimentieren übertragen werden, wobei in beiden Ansätzen die selbständige und aktive Generierung neuen Wissens ein zentraler Aspekt ist. Demnach wird auch in aktuellen Ansätzen des entdeckenden Lernens durch Experimentieren metakognitivem Wissen und metakognitiven Prozessen im Sinne von selbstregulatorischen Aktivitäten eine zentrale Rolle zugeschrieben (z. B. de Jong & van Joolingen, 1998; Veenman, Prins & Elshout, 2002; Veenman & Spaans, 2005).

Im Gegensatz zu den Modellen des selbstregulierten Lernens, die überwiegend auf dem Lernen aus Texten basieren (vgl. z. B. Artelt, 2000; Baumert & Köller, 1996; Friedrich & Mandl, 1992; Leopold, den Elzen-Rump & Leutner, 2006; Leutner & Leopold, 2006; Schlagmüller & Schneider, 1999; Wild & Schiefele, 1994; Wirth, 2004), fokussieren die Modelle zum entdeckenden Lernen (z. B. Bruner, 1961, 1970, 1981; Van Joolingen & de Jong, 1991, 1993, 1997) das Lernen durch Experimentieren in computerbasierten Lernumgebungen und Simulationen. Dabei werden Experimentierprozesse wie das Generieren und Testen von Hypothesen betont. Darüber hinaus spielt die notwendige Adaption des Lerners an neue Lernsituationen, die der Lerner durch sein eigenes Handeln schafft, in den Ansätzen des entdeckenden Lernens durch Experimentieren (z. B. Dunbar, 1993; Glaser, Schauble, Raghavan & Zeitz, 1992; Klahr & Dunbar, 1988) eine zentrale Rolle. Folglich werden in den beiden Ansätzen unterschiedliche kognitive Strategien angewandt.

2.1.3.1 Selbstregulatorische Anforderung an der Lerner

Beim selbständig entdeckenden Lernen durch Experimentieren müssen Lernende durch transformative Prozesse inhaltspezifisches Wissen erwerben. Wirth und Leutner (2006) weisen dabei auf die Besonderheit des Wissenserwerbs in computerbasierten Lernumgebungen hin. Diese Lernumgebungen, die sich als *dynamisch-interaktives*

Lernmaterial beschreiben lassen, verändern sich, im Gegensatz zu *passiv-statischem* Lernmaterial, wie z. B. Texte, Bilder oder auch Filme, während des Lernprozesses. Diese Veränderung entsteht dadurch, dass der Lernende beim Lernen mit dynamisch-interaktiven Lernumgebungen mit dieser interagieren muss, um Wissen generieren zu können. Das heißt, dass Lernende mittels transformativer bzw. wissenschaftsmethodischer Prozesse (z. B. das Hypothesenaufstellen oder die Durchführung von Experimenten) in Lernumgebungen die zu erlernenden Informationen zunächst selbst produzieren und generieren müssen (Wirth, 2004, 2005), die sie anschließend in ihre Wissensbasis integrieren müssen (Mayer, 2001, 2005; Wittrock, 1989). Folglich vollzieht sich das selbständig entdeckende Experimentieren unter sich kontinuierlich verändernden Bedingungen. Einerseits verändert sich das dynamisch-interaktive Lernmaterial durch die Handlungen des Lernenden. Andererseits verändert sich darüber hinaus auch das Wissen des Lerner kontinuierlich. Durch diese Veränderung stellt das Lernen mit dynamisch-interaktivem Lernmaterial Anforderungen, die Lernende beim Lernen mit passiv-statischem Lernmaterial nicht bewältigen müssen. Des Weiteren ergeben sich dadurch, dass der Lerner den Lernprozess selbständig gestalten muss, weitere selbstregulatorische Anforderungen. Lerner müssen kontinuierlich mittels regulativer Prozesse den Lernprozess optimal gestalten, was in anderen schulischen Lernsituationen größtenteils durch die Lehrkraft übernommen wird (vgl. Klauer, 1985). Regulation bedeutet dabei aber nicht nur, dass Lerner sich vor dem Lernen Ziele setzen, die Vorgehensweise planen und nach dem Lernen eine Endevaluation vornehmen. Lerner müssen den zyklischen und zielgerichteten Lernprozess durch die Auswahl, Anwendung und Regulation von Strategien gestalten. Dazu müssen sie während des Lernens durch ein kontinuierliches Monitoring, d. h. durch ein ständiges Beobachten und Abgleichen mit *standards* (Winne & Hadwin, 1998) auf der Mikroebene, den Lernprozess kontrollieren (Schreiber, 1998). Folglich stellt das selbständig entdeckende Lernen durch Experimentieren sehr hohe selbstregulatorische Anforderungen an den Lerner.

2.1.5 Fazit

Das entdeckende Lernen (*learning by discovery*), das als die selbständige Erschließung eines Wissensgebietes definiert wurde (Bruner, 1961), hat sich vom Entdecken von Konzepten (*concept discovery*) hin zum wissenschaftlich entdeckenden Lernen (*scientific discovery learning*) entwickelt. Dabei müssen Lernende selbständig Prozesse des wissenschaftlichen Entdeckens (*scientific inquiry*) ausführen, um somit Regeln und Prinzipien eines Inhaltsbereiches zu entdecken.

Trotz der unterschiedlichen Ansätze wird übereinstimmend deutlich, dass Lernende bei dieser Art des Lernens selbständig wissenschaftliche Prozesse ausführen und dabei minimal unterstützt werden müssen (vgl. Kirschner, Sweller & Clark, 2006). Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Arbeit vom *selbständig entdeckenden Experimentieren* gesprochen, wenn auf die Art des Lernens eingegangen wird, die auf den Ansätzen des *discovery learning* oder *scientific discovery* beruhen. Da der Ansatz des *inquiry* oder *guided discovery learning* sich hin zu einer gestützten, strukturierten und oftmals kollaborativen Lernform entwickelt hat (de Jong, 2006a), wird dieser Ansatz in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

Beim selbständig entdeckenden Experimentieren wird im Allgemeinen der zyklische Charakter aller erforderlichen wissenschaftsmethodischen sowie auch regulatorischen Prozesse hervorgehoben. Somit wird auch der selbstregulatorische Aspekt des entdeckenden Experimentierens deutlich. Nach Klahr und Dunbar (1988) schlägt sich dies in den interagierenden Prozessen des Aufstellens von Hypothesen und des Durchführens von Experimenten nieder. Im SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988) wird angenommen, dass die Interaktion dieser wissenschaftsmethodischen Prozesse ausschlaggebend für den Erfolg beim selbständig entdeckenden Experimentieren, d. h. für den Erwerb neuer Informationen sowie der Entwicklung eines tiefergehenden Verständnisses des zu erlernenden Inhaltsbereichs, ist.

Im Folgenden wird dazu zunächst definiert inwiefern der Lernerfolg beim selbständig entdeckenden Experimentieren ermittelt werden kann.

2.2 Art und Klassifikation des Wissenserwerbs

Wie in Abschnitt 2.1 berichtet, sollen Lernende mittels des Ausführens wissenschaftsmethodischer Prozesse beim selbständig entdeckenden Experimentieren Wissen entdecken und in die Wissensbasis integrieren. Angenommen wird, dass insbesondere durch die Interaktion dieser Prozesse, der Erwerb flexibel anwendbaren Wissens gefördert wird, wodurch ein tiefergehendes Verständnis der zu erlernenden Inhaltsbereiche erreicht wird (Dunbar & Klahr, 1989; Klahr & Dunbar, 1988; Simon & Lea, 1974; Veenman & Elshout, 1999; Vollmeyer, et al., 1996). Dies steht im Einklang mit den Forderungen basierend auf den Erkenntnissen internationaler Studien wie TIMMS und PISA (Baumert et al., 1997, 1999, 2001; KMK, 2005; OECD, 2001; Prenzel et al., 2001).

Durch das selbständig entdeckende Experimentieren können Lernende anhand von entdeckten Informationen ihre Wissensbasis erweitern oder modifizieren und folglich neue Definitionen oder Fakten eines Inhaltsbereichs (Sachwissen) und Wissen über kognitive und motorische Handlungen basierend auf Formeln oder Regeln (Handlungswissen) erwerben. Die Art des Wissens, das Lernende erwerben, hängt dabei

aber nicht nur von den eigenen Voraussetzungen und Zielsetzungen, sondern auch vom Lernmaterial bzw. von der Struktur der Lernumgebung oder Lernsituation ab (vgl. Wirth, 2004).

Putz-Osterloh (1988) merkt dabei an, dass häufig Sachwissen mit deklarativem Wissen und Handlungswissen mit prozeduralem Wissen gleichgesetzt wird. Süß (1996) weist aber darauf hin, dass die Differenzierung zwischen Sach- und Handlungswissen nicht als das Gleiche betrachtet werden kann, wie die Differenzierung zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen (vgl. Anderson, 1976, 1983, 1993). Die Differenzierung von deklarativem und prozeduralem Wissen bezieht sich auf ein unterschiedliches Repräsentationsformat von Wissen, während sich die Differenzierung von Sach- und Handlungswissen auf einen unterschiedlichen Wissensinhalt bezieht.

Deklaratives Wissen beinhaltet danach gespeicherte Strukturen über die Realität (Schnotz, 1994), die potenziell bewusst sind und verbalisiert werden können. Es handelt sich also um explizites Wissen, das mitgeteilt werden kann und wird auch als Kompetenz des Beantwortens von Fragen verstanden (vgl. Wittmann, Süß & Oberauer, 1996). Diese Repräsentationsform des Wissens kann sowohl auf Sach- als auch auf Handlungswissen zutreffen (vgl. Tabelle 2.1). Deklaratives Sachwissen bezieht sich auf Kenntnisse über Ideen, Fakten, Definitionen oder Konzepte, während sich deklaratives Handlungswissen auf Kenntnisse über Prozeduren, Strategien oder Techniken bezieht (Süß, 1996).

Prozedurales Wissen hingegen beinhaltet kognitive Strukturen, die grundsätzlich nicht bewusst sind. Es handelt sich demnach um implizites Wissen, das sich in Handlungen äußert, ohne dass die einzelnen Bestandteile der Handlung bewusst kontrolliert werden müssen (vgl. Anderson, 2001). Bei der Repräsentationsform des prozeduralen Wissens kann ebenfalls zwischen Sach- und Handlungswissen unterschieden werden (vgl. Tabelle 2.1). Prozedurales Sachwissen ist demnach die Fähigkeit, Muster, Vorgänge und allgemeine Regeln im Umgang mit entsprechenden Gegenständen und Objekten zu erkennen. Prozedurales Handlungswissen dagegen beinhaltet Maßnahmen, die zur Erreichung von Zielen notwendig sind. Somit kann z. B. differenziert werden, ob eine Person Wissen über einen Prozess hat und somit weiß, was zu tun ist, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen (deklaratives Handlungswissen) oder ob eine Person den Prozess ausführen und somit Wissen in Handlungen umsetzen kann (prozedurales Handlungswissen; Schnotz, 1994; Süß, 1996).

Tabelle 2.1: Taxonomie von Wissensarten nach Süß (1996)

	Sachwissen (Was?)	Handlungswissen (Wie?)
Deklaratives Wissen	Deklaratives Sachwissen (z. B. Wissen über Ideen, Fakten, Definitionen, Konzepte, etc.)	Deklaratives Handlungswissen (z. B. Wissen über Prozeduren, Strategien, Techniken etc.)
Prozedurales Wissen	Prozedurales Sachwissen (z. B. Antizipation von Modellen und Mustern)	Prozedurales Handlungswissen (z. B. automatisierte Handlungsabläufe)

Beim Lernen mit computerbasierten Lernumgebungen und Simulationen unterscheiden van Berkum, Hijne, de Jong, van Joolingen und Njoo (1991) zusätzlich eine weitere Dimension des zu erwerbenden Wissens (siehe Abbildung 2.3). Diese Dimension bezieht sich ebenfalls auf die zu erwerbenden Wissensinhalte bzw. Lernziele. Van Berkum und de Jong (1991) argumentieren, dass neben prozeduralem bzw. deklarativem Sach- und Handlungswissen ebenso domänenspezifisches bzw. domänenübergreifendes Wissen erworben werden kann. Davon ausgehend, dass das zu erlernende Wissen in verschiedenen Domänen Gemeinsamkeiten aufweist, da viele Lernumgebungen auf relationalen Prinzipien beruhen, nehmen van Berkum und de Jong (1991) an, dass Wissen, das in einer Domäne erworben wird auch auf andere Domänen übertragen und in diesen genutzt werden kann. Die Voraussetzung einer Generalisierung des Wissens sehen sie dann gegeben, wenn sich die Strukturen der Domänen gleichen. Folglich wurde als dritte Dimension der Taxonomie eine Domänen-Komponente eingeführt. Im Hinblick darauf, dass Klahr und Dunbar (1988) davon ausgehen, dass wissenschaftsmethodische Prozesse domänenübergreifend sind, kann diese Dimension beim selbständig entdeckenden Experimentieren insbesondere auf der Ebene der Strategieanwendung und somit auf der transformativen Ebene relevant sein.

Wie auch bei Süß (1996) und Oberauer (1997) wird auch in dieser Taxonomie die Notwendigkeit betont, dass unterschieden werden muss *wie* das Wissen repräsentiert ist (deklarativ versus prozedural bzw. kompiliert) und *was* das Wissen beinhaltet (Prinzipien oder Prozeduren; vgl. auch Reigeluth & Schwartz, 1989; Rumelhart & Norman, 1981). Auf der ersten Dimension wird konzeptuelles Wissen operationalem Wissen gegenübergestellt. Während *konzeptuelles Wissen* als Wissen über die Definition und Klassifikation von Begriffen definiert wird, beinhaltet *operationales Wissen* Abläufe von Operationen oder Sequenzen in einer Simulation. Auf der zweiten Dimension wird deklaratives von prozeduralem bzw. kompiliertem Wissen unterschieden. Van Berkum et al. (1991) gehen davon aus, dass *deklaratives Wissen* leicht zu erwerben und zu verbalisieren ist. Durch die Interpretation dieses Wissens ist es zudem potenziell auf

verschiedene Probleme anwendbar. *Prozedurales* bzw. *kompiliertes Wissen* dahingegen wird nur durch die Anwendung des Wissens in einem Problemlöse-Kontext gebildet. Dadurch ist es schwerer zu verbalisieren und beschränkt die potenzielle Anwendung des Wissens auf eine begrenzte Anzahl von Kontexten. Dafür laufen Problemlöseprozesse mit diesem Wissen automatisiert ab. Auf der dritten Dimension werden *domänenspezifisches* und *generisches bzw. domänenübergreifendes Wissen* unterschieden. Während die Handhabung von Simulationen einiges an *domänenspezifischem* Wissen voraussetzt, können mit ihrer Hilfe auch *domänenübergreifende* Fertigkeiten erworben werden. So ist es etwa in einem simulierten Labor möglich, allgemeine Heuristiken wie den sinnvollen Ablauf eines Experimentierzyklus zu erlernen. Als weiteres domänenübergreifendes Lernziel nennen van Berkum et al. (1991) den Erwerb von Metawissen über den Lernprozess als solchen, d. h. Wissen über kognitive Prozesse und deren Produkte.

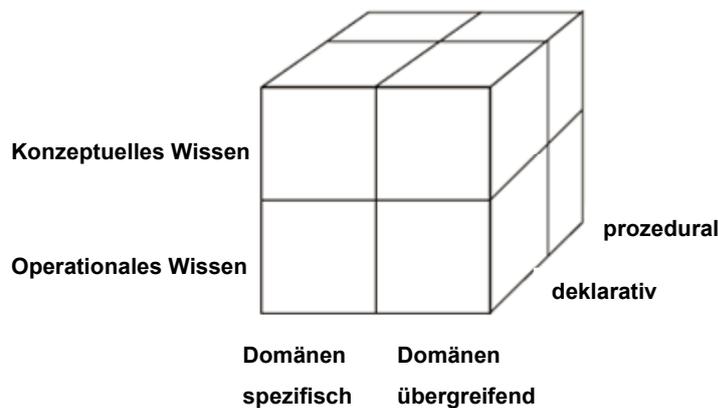


Abbildung 2.2: Klassifikation der Lernziele beim Lernen mit Simulationen in Bezug auf Wissenskategorien, Wissensbereiche und Wissensrepräsentationen

In Lernumgebungen und -situationen, in denen sowohl die Durchführung von (simulierten) Handlungsprozessen als auch die Generierung von neuen inhaltlichen Informationen über Zusammenhänge zwischen Variablen möglich ist, können Lernende mehrere Lernziele verfolgen und folglich auch unterschiedliche Wissensarten erwerben (Süß, 1996; van Berkum et al., 1991). Auf Basis der spezifischen Zielsetzungen einer Lernumgebung kann demnach zwischen dem Erwerb deklarativ-konzeptuellen Wissens und dem Erwerb von Handlungswissen bzw. der Wissensanwendungsleistung unterschieden werden (vgl. Wirth, 2004). Beim Wissenserwerb liegt das Ziel darin, die quantitativ und qualitativ veränderte individuelle Wissensstruktur zu erfassen. Klauer (1988) sieht dieses Ziel *innerhalb* einer Person verortet. Dagegen soll die Erfassung der Wissensanwendungsleistung Aufschluss über die Fähigkeiten zur Veränderung situationaler Umstände geben, ein Ziel, dass Klauer *außerhalb* einer Person sieht.

Fazit: Das Wissens, das Lernende erwerben, hängt sowohl vom Lernmaterial bzw. von der Struktur der Lernumgebung oder Lernsituation (vgl. Wirth, 2004) und den Lernzielen des Lernenden (van Berkum et al., 1991) ab, was bei der Erfassung des erworbenen Wissens berücksichtigt werden muss (Süß, 1999). Das selbständig entdeckende Experimentieren bietet Lernenden neben dem Erwerb deklarativ-konzeptuellen Sachwissens die Möglichkeit, deklaratives Handlungswissen durch das Ausführen von Prozessen des Experimentierzyklus, wie dem Generieren von Hypothesen und dem systematischen Durchführen von Experimenten, zu erwerben (van Berkum et al., 1991; Dunbar & Klahr, 1989; Klahr & Dunbar, 1988; Simon & Lea, 1974; Süß, 1996; Veenman & Elshout, 1999; Vollmeyer & Rheinberg, 1998). Demnach zeigen die Erkenntnisse von Süß (1996) und van Berkum et al. (1991), dass die Überprüfung des erfolgreichen selbständig entdeckenden Experimentierens durch die Interaktion zwischen dem Aufstellen von Hypothesen und dem Durchführen von Experimenten sowohl anhand des deklarativ-konzeptuellen Wissens als auch des erworbenen deklarativen Handlungswissen vorgenommen werden soll. Somit können alle durch das selbständig entdeckende Experimentieren erlernten, relevanten deklarativen Aspekte berücksichtigt werden. Für die Überprüfung der Annahme, dass die im SDDS-Modell postulierte Lernwirksamkeit der Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse für jede Domäne gilt, in der Hypothesen generiert und Daten gesammelt werden, wird auch die von van Berkum et al. (1991) eingeführte Dimension der Domäne relevant.

Da das selbständig entdeckende Experimentieren in vielen Studien mittels computerbasierter Simulationen und Lernumgebungen erfasst wurde, wird dies im Folgenden näher betrachtet.

2.3 Selbständig entdeckendes Experimentieren mit dem Computer

Im Zuge der Entwicklung computerbasierter Simulationen und Lernumgebungen (z. B. Alessi & Trollip, 1985; Chen & Zhang, 2006; de Jong & van Joolingen, 1998; Leutner, 1990; van Joolingen & de Jong, 1997) wurde das Erfassen des selbständig entdeckenden Experimentierens vergleichsweise einfach und kann dadurch präzise untersucht und überprüft werden (z. B. Klahr & Dunbar, 1988; Künsting et al., 2008). Beim selbständig entdeckenden Experimentieren werden den Lernenden Simulationen oder Lernumgebungen angeboten, die parallel zur Entwicklung der didaktischen Ansätze des entdeckenden Lernens konstruiert wurden. Bei der Konstruktion der Lernumgebungen sollen nach Land und Hannafin (2000) fünf Kriterien berücksichtigt werden, die den selbständigen Wissenserwerb durch das entdeckende Lernen unterstützen. Demnach soll (1) der Fokus auf den Lernenden, die selbständig Wissen entdecken bzw. erwerben, liegen, (2) die Lerninhalte sollen authentisch sein, (3) multiple Perspektiven sollen gefördert

werden, (4) Vorwissen soll sowohl bei der Identifizierung neuer Informationen als auch beim Erwerb und Verarbeiten von Wissen eine Rolle spielen und die (5) Technologie soll höhere mentale Prozesse unterstützen.

Diese Simulationen bzw. Lernumgebungen sind Programme, die einen spezifischen Zustand eines Modells oder eines Inhaltsbereichs präsentieren, der durch Manipulationen verändert werden kann. Lernende erhalten beim Lernen mit den Lernumgebungen keine direkten, erklärenden Informationen, sondern müssen selbständig Prinzipien, Regeln und Erkenntnisse formulieren, um Wissen aktiv erwerben zu können (Njoo & de Jong, 1993b). Die Hauptaufgabe der Lernenden besteht beim Lernen mit den Lernumgebungen demnach darin, auf Charakteristika des der Simulation bzw. Lernumgebung zugrunde liegenden Modells zu schließen, indem der Lernende die Werte der Inputvariablen verändert und die sich ändernden Outputwerte beobachtet (de Jong & van Joolingen, 1998). Dadurch bietet sich den Lernenden die Möglichkeit neues Wissen auf eine wissenschaftliche Weise zu generieren (de Jong & van Joolingen, 1998; vgl. Lewis & Want, 1980; Reigeluth & Schwartz, 1989). Dazu können Lernende in solchen Lernumgebungen aktiv Hypothesen generieren, diese mit simulierten Experimenten testen und Schlussfolgerungen ziehen. In vielen Lernumgebungen werden den Lernenden zusätzlich instruktionale Lern- oder Problemlösehilfen dargeboten, die als Module in die computerbasierte Lernumgebungen implementiert wurden (de Jong & van Joolingen, 1995).

Vorteile computerbasierter Lernumgebungen. Das selbständig entdeckende Experimentieren mit dem Computer bietet eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber herkömmlichen Lernszenarios. Einer der größten Vorteile ist dabei die Effizienz der Lernumgebungen. Computerbasierte Lernumgebungen sind verglichen mit dem Lernen im Labor flexibel und ökonomisch einsetzbar, günstiger, weniger zeitintensiv bzw. aufwendig und weniger gefährlich (z. B. de Jong et al., 2005; de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Dunbar, 1988; Künsting, 2008; Njoo, 1994). Zudem bieten die computerbasierten Lernumgebungen Ausschnitte aus der Realität (Leutner, 1990), die an das Wissen der Lernenden adaptierbar sind. Weitergehend können Prozesse visuell dargestellt werden, die in realen Experimentiersituationen für den Lernenden unsichtbar wären oder aufgrund einer zu kurzen oder zu langen Zeitdauer schwer zu explorieren wären (de Jong, 1991). Derartige computerbasierte Lernumgebungen verfügen damit über eine hohe Eignung für die Verwirklichung des selbständig entdeckenden Experimentierens, was sie zu einem nützlichen Instrument für den Erwerb flexibel transferierbaren Wissens macht (de Jong & van Joolingen, 1998). Darüber hinaus sind computerbasierte Lernumgebungen hilfreiche Lern- und Instruktionsinstrumente, da sie den Lernenden die Möglichkeit bieten ihr Vorwissen in praktischen Lernsituationen anzuwenden (Mandl, Gruber, Renkl & Reiter, 1993; Reigeluth & Schwartz, 1989). Des

Weiteren bieten sich die Lernumgebungen besonders zum selbständig entdeckenden Experimentieren an, da ein spezifisches Modell „versteckt“ werden kann, das Lerner entdecken müssen (de Jong, 1991). Dies führt dazu, dass ein tieferes Verständnis des zu erlernenden Inhaltsbereichs erlangt und die Anwendung allgemeiner Strategien gefördert wird (Njoo, 1994).

Der häufigen Kritik, dass computerbasierte Lernumgebungen weniger effektiv sind als herkömmliches Experimentieren und Lernen (Carlsen & Andre, 1992; de Jong, de Hoog & de Vries, 1993; Rivers & Vockell, 1987) konnten Triona und Klahr (2003) entgegenwirken. Sie untersuchten, ob die Art der Experimentierumgebung (real versus computerbasiert) einen Einfluss auf den Erwerb und die Anwendung von Wissen über die Variablenkontrollstrategie hat. Es zeigte sich, dass es keinen Effekt der Art der Experimentierumgebung hinsichtlich des Wissens über und die Anwendung der Variablenkontrollstrategie gab. Auch bezogen auf das erworbene konzeptuelle Wissen konnten keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Experimentierumgebungen aufgezeigt werden. Bei einem Transfer des erworbenen Wissens über die Variablenkontrollstrategie zeigte sich ebenfalls kein Effekt der Art der Experimentierumgebung. Klahr, Triona und Williams (2007) konnten auch für reale und computerbasierte Experimentierumgebungen mit komplexeren Inhaltsbereichen zeigen, dass es hinsichtlich des erworbenen Wissens keine Unterschiede gab. Ein positiver Effekt der computerbasierten Experimentierumgebungen zeigte sich bezüglich manueller Fehler. Diese konnten in realen Experimentierumgebungen dazu führen, dass Ergebnisse verfälscht wurden, in computerbasierten Experimentierumgebungen hingegen waren diese Fehlerarten gar nicht möglich. Allerdings wirkten sich die manuellen Fehler auch nicht auf das konzeptuelle Verständnis des zu erlernenden Inhaltsbereichs aus. Ebenso konnte Schulmeister (1997) zeigen, dass sich zwischen Lernenden, die mit computerbasierten Lernmaterialien arbeiteten, im Vergleich zu Lernenden, die an regulären Kursen teilnahmen, kein Leistungsunterschied zeigte. Shute und Glaser (1990) konnten mittels ihrer Simulation *Smithtown* für den Erwerb bereichsspezifischen Wissens zeigen, dass das Lernen mit der Simulation geeigneter und sogar effizienter erscheint als herkömmliche Vorlesungen: Studierende erwarben beim Lernen mit Simulation ihr Wissen in der Hälfte der Zeit, die Studierende benötigten, die an Vorlesungen teilnahmen.

Nachteile computerbasierte Lernumgebungen. Obwohl Triona und Klahr (2003) sowie Klahr et al. (2007) keine Unterschiede zwischen realen und computerbasierten Experimentierumgebungen aufzeigen konnten, gibt es Kritik an dem Einsatz computerbasierter Lerninstrumente (Armstrong & Casement, 1998; Healy, 1999; Lee, 1999). Dabei wird bemängelt, dass beim selbständig entdeckenden Experimentieren mit computerbasierten Lernumgebungen den Lernenden das haptische, sinnliche Erleben bei der physischen Manipulation von Objekten vorenthalten wird, was essentiell für den

Erwerb konzeptuellen Wissens und *conceptual change* sei (Armstrong & Casement, 1998; Healy, 1999). Diesem Argument setzt allerdings Resnick (1998) entgegen, dass die Möglichkeit der Manipulation von Objekten zwar essentiell für den Lernerfolg ist, aber dass es sich dabei nicht zwangsläufig um reale physische Objekte handeln muss. Ein weiterer Kritikpunkt bezieht sich darauf, dass computerbasierte Lernumgebungen immer nur einen Ausschnitt aus der Realität abbilden und nicht alle relevanten Experimentierkompetenzen mittels computerbasierter Lernumgebungen erlernbar sind (Armstrong & Casement, 1998; Healy, 1999; Lee, 1999).

Fazit: Computerbasierte Lernumgebungen können spezifische Modelle „verstecken“, die durch Lernende beim Experimentieren entdeckt werden müssen (de Jong, 1991). Darüber hinaus bieten sie eine weitere Vielzahl von Vorteilen gegenüber herkömmlichen Lernszenarios (z. B. Leutner, 1990; Njoo, 1994). Trotz einiger Defizite (z. B. Armstrong & Casement, 1998) können sie als geeignetes Lernmedium zum selbständig entdeckenden Experimentieren und der Anwendung der im SDDS-Modell beschriebenen Prozesse betrachtet werden.

2.4 Erfassung des selbständig entdeckenden Experimentierens

Zur Erfassung der Strategieverwendung beim selbstregulierten Lernen wie auch dem selbständig entdeckenden Experimentieren werden unterschiedliche Instrumente eingesetzt (Winne & Perry, 2000). Vorwiegend beruhen die Maße zur Erfassung der Strategieverwendung auf Fragebögen, die Selbstaussagen von Lernenden zur Einschätzung typischer Anwendung von Strategien beim Lernen erfassen (Thillmann, 2008; Winne & Perry, 2000). Es zeigte sich aber, dass die Übereinstimmung der reflektierten Angaben von Lernenden kaum mit dem tatsächlichen Agieren während des Lernens übereinstimmen (Artelt, 1998; 1999, 2000; Garner, 1988; Garner & Alexander, 1989; Winne & Perry, 2000). Als weitere Methoden der Strategieverwendung wurden (videogestützte) Verhaltensbeobachtungen, *Lautes Denken*-Protokolle und in letzter Zeit auch vermehrt computerbasierte Erfassungen der Strategieverwendung eingesetzt. Im Folgenden werden die Erfassungsmöglichkeiten der Strategieverwendung beim Formen des selbständigen Lernens beschrieben.

Fragebögen. Selbstaussagebasierte Maße in Form von Fragebögen sind im Bereich des selbständigen oder selbstregulierten Lernens die häufigste Erfassungsmethode (Winne & Perry, 2000). Die meist genutzten Fragebögen sind das *Learning and Studying Strategies Inventory* (LASSI) von Weinstein (1987) und der *Motivated Strategies for Learning Questionnaire* (MSLQ) von Pintrich, Smith, Garcia und McKeachie (1991). Das LASSI wurde als Test konzipiert der mittels 77 Items das Erlernen und die Anwendung von

Strategien erfasst (Weinstein, 1987). Die 81 Items des MSLQ messen neben der Anwendung von Strategien zusätzlich auch noch motivationale Aspekte des Lernens. Die Strategieverwendung wird anhand drei verschiedener Skalen erfasst: die Anwendung kognitiver Strategien, metakognitiver Strategien und ressourcenbezogener Strategien. Unter ressourcenbezogener Strategien werden dabei Strategien zur Lernortgestaltung, zum Zeit- und Anstrengungsmanagement, zum Lernen mit Gleichaltrigen und zum Aufsuchen von Hilfe verstanden (Winne & Perry, 2000). Die motivationalen Aspekte beziehen sich auf einer Wert-Skala auf die intrinsische und extrinsische Zielorientierung sowie die Aufgabewertung und auf einer Erwartungsskala auf die Kontrollüberzeugung, die Selbstwirksamkeit und die Erfolgserwartung (vgl. Thillmann, 2008; Winne & Perry, 2000).

Sowohl die Objektivität als auch die Reliabilitäten der selbstauskunftbasierten Fragebögen sind durchweg zufriedenstellend. Allerdings zeigen sich hinsichtlich der Validität Probleme. In einem Literaturreview von Veenman und Hout-Wolters (2002, zitiert nach Veenman, 2005) wurde deutlich, dass die mittels Fragebögen erfasste Strategieverwendung nur einen sehr geringen Anteil der Varianz des Lernerfolgs erklären kann. Weitergehend zeigte sich in Vergleichsstudien, dass Fragebogendaten kaum mit verhaltensbasierten Daten korrelieren (Artelt, 1999, 2000; Jamieson-Noel & Winne, 2003; Spörer & Brunstein, 2005; Winne & Jamieson-Noel, 2002, 2003) und verhaltensbasierte Daten den Lernerfolg besser vorhersagen können (Artelt, 1999, 2000). Somit zeigt sich, dass Selbstauskünfte über den Lernprozess zwar nicht das Lernen unterbrechen, jedoch häufig den Prozess unvollständig oder durch Erinnerungsfehler falsch wieder geben (Artelt, 2000; Veenman, 2005; Wilson, 1994). Vor diesem Hintergrund betonen Ericsson und Simon (1980), dass die Zeit zwischen der Strategieverwendung und den selbstauskunftbasierten Angaben zur Strategieverwendung ausschlaggebend für die Verlässlichkeit der Aussagen sind. Dieses Validitätsproblem lässt sich folglich durch eine zeitnahe Erfassung beheben (Hadwin, Winne, Stockley, Nesbit & Wosczyzna, 2001; Leopold & Leutner, 2002; Leutner & Leopold, 2006). Dennoch zeigt sich auch, dass die automatisierte Anwendung von Strategien nicht zwangsläufig bewusst abläuft und folglich nicht vollständig erfassbar ist (Ericsson & Simon, 1980; Pressley, Borkowski & Schneider, 1987; Winne, 1996). Papierbasierte Fragebögen wie der Fragebogen zur Variablenkontrollstrategie von Bullock und Sodian (2000) erfassen dagegen die tatsächliche Beherrschung der Anwendung von spezifischen Strategien. Problematisch ist hierbei allerdings, dass nur einzelne Strategien und nicht vollständige, komplexe Lernprozesse überprüft werden. Zudem ist die Erfassung meist unabhängig von konkreten Lernsituationen und oftmals dekontextualisiert.

Interviews. Interviews zur Erfassung der Strategieverwendung sind sehr unterschiedlich aufgebaut und reichen von einfachen Verhaltensabfragen wie z. B. „Berichte wie du...“ bis

hin zu strukturierten Interviews mit Fragen in spezifischer Reihenfolge (Winne & Perry, 2000). Ein standardisiertes Interviewverfahren ist z. B. das *Self-regulated Learning Interview Schedule* (SRLIS) von Zimmerman und Martinez-Pons (1986, 1988), mit dem auf der Basis von vorgegebenen Lernsituationen das Lernverhalten erfragt wird. Ein Vorteil gegenüber den vorab beschriebenen Fragebögen ist, dass Lernende ausführlich beschreiben können, wie und welche spezifischen Strategien sie anwenden. Dies setzt wiederum voraus, dass Lernende, wie auch bei der Erfassung mit Fragebögen, in der Lage sein müssen, die Anwendung zu verbalisieren und präzise beschreiben zu können. Dennoch ist die mit dem Interview erfasste Strategieverwendung ein guter Prädiktor für den Lernerfolg (Spörer, 2004; Spörer & Brunstein, 2005; Zimmerman & Martinez-Pons, 1986, 1990). Problematischer gestalten sich dagegen der notwendige Transfer der qualitativen Daten in quantitative (Spörer, 2004) und der große Zeitaufwand, der meist nur bei kleinen Stichproben angewandt werden kann.

Lautes Denken. Die Methode des lauten Denkens ermöglicht die Erfassung der Anwendung kognitiver und metakognitiver Strategien während des Lernprozesses (Ericsson & Simon, 1980; Veenman, 2005). Dies verhindert eine unvollständige oder durch Erinnerungsfehler verfälschte Wiedergabe des Lernprozesses. Ericsson und Simon (1993) unterscheiden grundsätzlich aber zwischen dem *Lautes Sprechen* und dem *Lautes Denken*. Beim *Lautes Sprechen* muss der Lernende nur Informationen verbalisieren, die bereits in einer verbalen Form enkodiert sind. Beim *Lautes Denken* dagegen muss der Lernende alle zu beachtenden Informationen verbalisieren. Das bedeutet, dass Informationen, die noch nicht in einer verbalen Form vorliegen wie z. B. visuelle Informationen, zunächst in eine verbale Form rekodiert werden müssen. Ericsson und Simon (1993) bemerken aber, dass Lernende häufig den marginalen Unterschied dieser Methoden nicht ausmachen können und sich auch beim *Lautes Sprechen* nicht nur auf die verbalen Informationen konzentrieren. Kritisiert wird, dass durch die beim *Lautes Sprechen* und *Denken* notwendige Verbalisierung des Handelns, für Lernende eine zusätzliche Belastung entsteht, wodurch die eigentliche Aufgabe, wie z. B. das Problemlösen oder das selbständige Experimentieren, erschwert wird (z. B. Anderson, 1993; Cavanaugh & Perlmutter, 1982; Ericsson & Simon, 1993; Knoblich & Rhenius, 1985; Sheth, Mittal & Newman 1999; s.a. Wirth, 2004). Dennoch konnte auch gezeigt werden, dass gerade diese Verbalisierung die metakognitive Aktivität während des Lernprozesses anregt (Brown, 1987). Berücksichtigt werden muss aber auch, dass Lernende, die während des Lernens zusätzlich laut denken müssen, eine längere Lernzeit benötigen, da z. B. visuelle und auditive Informationen erst rekodiert werden müssen, was aber nicht für die Methode des *Lautes Sprechens* gilt, wo alle zu berichtenden Informationen bereits verbal enkodiert vorliegen (Wallach, 1998). Darüber hinaus müssen Lernende bei der Erfassungsmethode des *Lautes Denkens* Prozesse und Gedanken beschreiben können, die

hoch automatisiert und häufig unbewusst ablaufen und dementsprechend nicht verbalisiert und auch nicht erfasst werden können (Vollmeyer & Rheinberg, 1999).

Verhaltensbeobachtung. Die direkte, oftmals videogestützte, Verhaltensbeobachtung ermöglicht die präzise Beobachtung der tatsächlichen Anwendung von Strategien während des Lernprozesses (Perry & Winne, 2000). Dabei wird die Anwendung von vorab definierten Verhaltensindikatoren registriert. Diese Methode bietet im Gegensatz zu den vorab beschriebenen Methoden die Möglichkeit, die Strategieanwendung direkt während des Lernprozesses zu erfassen, ohne diesen zu unterbrechen oder zu stören. Aber es handelt sich auch um eine Methode mit sehr großem Zeitaufwand, die nur bei kleinen Stichproben eingesetzt werden kann. Ein weiterer Nachteil dieser Methode ist die geringe Objektivität aufgrund der hohen Beobachterabhängigkeit und der Transienz, d. h. der zeitlich kurzen Zugänglichkeit, bei nicht videogestützten Beobachtungen. Mittels einer videogestützten Beobachtung kann den Problemen hinsichtlich der Objektivität und Reliabilität entgegengewirkt werden (Veenman, Kok & Blöte, 2005), nicht aber dem Problem der geringen Ökonomie (Artelt, 1999, 2000; Artelt & Schellhas, 1996).

Verhaltensbasierte Logfile-Maße. Durch die Nutzung von computerbasierten Lernumgebungen und der automatischen Speicherung der verhaltensbasierten Daten in Form computerbasierter Protokolle (*Logfiles*), wurde die Entwicklung von verhaltensbasierten Maßen zur Erfassung der Anwendung von Strategien anhand prozessnaher *Spuren (traces)* ermöglicht (Howard-Rose & Winne, 1993; Jamieson-Noel & Winne, 2003; Künsting et al., 2008; Winne & Perry, 2000; Wirth, 2004; Veenman, Wilhelm & Beishuizen, 2004). Ebenso wie die Verhaltensbeobachtung, bietet diese Methode die Möglichkeit verhaltensbasierte Daten der Strategieanwendung direkt während des Lernens zu erfassen, ohne den Lernprozess zu unterbrechen oder zu stören. Somit kann eine vollständige Modellierung der Anwendung von Strategien einzelner Lernender beim selbständig entdeckenden Lernen ökonomisch erstellt werden (Jamieson-Noel & Winne, 2003; Winne & Jamieson-Noel, 2002; Wirth, 2004). Diese Methode ermöglicht auch die Anwendung von Strategien mit quantitativen bzw. qualitativen Standards (vgl. Wirth & Leutner, 2008) abzugleichen. Einerseits kann erfasst werden, wie viele kognitive und metakognitive Strategien ein Lerner während des Lernprozesses anwendet. Dies dient also als quantitatives Maß und kann als ein „Je mehr...desto besser“ Vergleich verstanden werden. Andererseits kann aber auch ermittelt werden, wie qualitativ gut die Aktionen eines Lernenden sind. Dies geschieht mittels Vergleichen wie „Je besser die Passung... desto besser“. Die Referenzwerte können dazu aus theoretischen Modellen bzw. mittels Expertenratings gewonnen werden. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass je höher die Übereinstimmung des Agierens des Lernenden mit als qualitativ gut definierten Aktionen ist, desto besser ist das Lernergebnis (vgl. Wirth & Leutner, 2008).

Die Methode der logfile-basierten Erfassung verfügt potenziell über eine hohe Ökonomie und eine hohe Objektivität. Howard-Rose und Winne (1993) betonen jedoch die Schwierigkeit, die vielen Eingriffe in Form von Mausklicks in sinnvolle und interpretierbare Analyseeinheiten zu transformieren. Die Größe der festgelegten Analyseeinheiten oder *grain sizes* beeinflussen dabei inwiefern das Maß eines zu beschreibenden Konstrukts zur Erfassung und Analyse nützlich und eindeutig ist (Nesbit & Hadwin, 2006; Schraw, 2000). Die Eindeutigkeit der Zuordnung der Verhaltensindikatoren beeinflusst folglich in hohem Maße die Validität (Bannert, 2005; Howard-Rose & Winne, 1993). Bei der Transformation muss demnach eine eindeutige Zuordnung der Verhaltensindikatoren zu einer Strategie gefolgt werden, um eine gute Reliabilität und Validität des Maßes zu gewährleisten. Bisher gibt es aber nur wenige Studien, die eine empirische Überprüfung von logfile-basierten Daten vorgenommen haben. Darüber hinaus ergibt sich ein weiteres Problem, da in den logfile-basierten Daten nur tatsächlich durchgeführte, nicht aber gedankliche durchgeführte Aktionen erfasst werden können, wodurch die Validität möglicherweise geringer wird. Veenman, Wilhelm und Beishuizen (2004) konnten aber in einem *multi-method-design* hohe Korrelationen zwischen *Lautes Denken* Protokollen und logfile-basierten Daten aufzeigen. Zufriedenstellende Reliabilitäten und Hinweise auf Validität konnten auch Künsting et al. (2008) für die logfile-basierte Erfassung der Anwendung der isolierenden Variablenkontrollstrategie beim selbständig entdeckenden Experimentieren aufzeigen.

Fazit: Es gibt viele unterschiedliche Methoden, die das Erfassen der Strategieverwendung des selbständig entdeckenden Experimentierens ermöglichen. Dabei weisen alle Methoden Vor- und Nachteile auf. Die Erfassung der Strategieverwendung mittels Verhaltensbeobachtungen und logfile-basierten Protokollen bietet gegenüber den anderen Methoden den Vorteil, dass der Lernprozess nicht unterbrochen oder gestört werden muss und auch automatisierte Prozesse erfasst werden können. Dennoch erweisen sich direkte Verhaltensbeobachtungen, insbesondere bei großen Stichproben, als sehr zeitintensiv. Darüber hinaus müssen auch mögliche Probleme bezüglich der Objektivität berücksichtigt werden. Vor dem Hintergrund der in Abschnitt 2.3 beschriebenen Möglichkeit computerbasierte Lernumgebungen als geeignetes Lernmedium zum selbständig entdeckenden Experimentieren zu nutzen, kann auch die Erstellung von logfile-basierten Verhaltensdaten als gute Erfassung der Strategieverwendung betrachtet werden. Trotz einiger Bedenken hinsichtlich der Validität (Bannert, 2005; Howard-Rose & Winne, 1993), erweist sich die logfile-basierte Erfassung von Verhaltensdaten als eine prozessnahe und ökonomische Methode zur Erfassung des selbständig entdeckenden Experimentierens. Des Weiteren ermöglichen die aus den Modellen des selbständig entdeckenden Experimentierens hergeleiteten Verhaltensindikatoren für die Strategieverwendung gemäß dem SDDS-Modell eine eindeutige Zuordnung der

Verhaltensindikatoren zu einer Strategie. Insgesamt stellt folglich die Nutzung computerbasierter Lernumgebungen mit erstellten logfile-basierten Protokollen eine gute Methode dar, um die Effektivität der Strategieranwendung bezogen auf das SDDS-Modell beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu untersuchen.

2.5 Erkenntnisse zum selbständig entdeckenden Experimentieren

Die bisherigen Darstellungen der Modelle zum selbständig entdeckenden Experimentieren und deren Erfassungsmöglichkeiten sind in vielen Studien aufgegriffen worden. Vor dem Hintergrund der in Kapitel 1 beschriebenen Erkenntnisse aus der Schulforschung hinsichtlich des Bildungsziels der Entwicklung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen, zur Förderung eines tiefergehenden Verständnisses der zu erlernenden Inhaltsbereiche und eines flexibel anwendbaren Wissens (z. B. Prenzel et al., 2001), sollen im Folgenden die Erkenntnisse zur Effektivität des selbständig entdeckenden Experimentierens betrachtet werden.

Ein Modell, das zwei aufeinander bezogene wissenschaftsmethodische Fertigkeiten als Voraussetzung des erfolgreichen wissenschaftlichen Arbeitens sieht, ist das in Abschnitt 2.1.1 beschriebene SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988). Unter diesen Fertigkeiten verstehen Klahr und Dunbar die interagierende Ausführung der Prozesse des Aufstellens von Hypothesen und des Durchführens von Experimenten (Conant, 1964; Mitroff, 1974; Simon & Lea, 1974; Vollmeyer et al., 1996). Sie postulieren, dass diese Interaktion ausschlaggebend für den Erfolg von wissenschaftlichen Bestrebungen ist, um neue Informationen und tiefergehendes Verständnis über einen spezifischen Inhaltsbereichs entdecken und erwerben zu können. Klahr und Dunbar (1988) selbst merkten aber auch an, dass die Interaktion sehr komplex ist und dass die meisten Studien die einzelnen Fertigkeiten isoliert voneinander betrachten.

Erkenntnisse zum SDDS-Ansatz. Ergebnisse empirischer Studien auf Grundlage des Zwei-Räume-Modells nach Simon und Lea (1974) legen nahe, dass eine Suche, die nicht nur im Instanzenraum, sondern auch im Regelraum stattfindet, zu einer größeren Effektivität des Lernens führt (vgl. Vollmeyer & Burns, 1996; Vollmeyer et al., 1996). Klahr und Dunbar (1988) griffen den Ansatz des Zwei-Räume-Modells in ihren Untersuchungen auf, um wissenschaftliche Entdeckungen präziser erklären zu können. Wie bereits beschrieben wird postuliert, dass wie auch bei Simon und Lea (1974) Aktivitäten in beiden Räumen interagieren müssen, d. h. das Aktionen im Hypothesenraum Suchen im Experimenterraum auslösen, um effektiv wissenschaftlich zu Experimentieren. Um diese Annahme zu testen, überprüften sie in ihrer Studie zum SDDS-Modell die Strategieranwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren mit Hilfe einer Lernumgebung in Form eines computergesteuerten Roboters (*BigTrak*). Lerner hatten die

Möglichkeit die Bewegungen des Roboters mittels der Programmierung verschiedener Zahlen- und Funktionstasten zu verändern und mit dem anschließenden Abspielen der Programmierungen die Funktionen zu prüfen. In der Untersuchung bekamen 20 Studierende nach einer Instruktion zum lauten Denken und zu den Funktionen von *BigTrak* die Aufforderung eine Hypothese über die Funktion der Repeat-Taste zu generieren sowie die Funktion der Repeat-Taste durch das Schreiben und Ausführen von Programmen für *BigTrak* zu entdecken. Es zeigte sich, dass innerhalb von 45 Minuten 19 der 20 Studierenden die Funktion der Repeat-Taste entdeckten. Darüber hinaus teilten Klahr und Dunbar die Studierenden basierend auf den angewandten Strategien als *Theoretiker* und *Experimentierer* ein. Als Theoretiker wurden die Lernenden bezeichnet, die Anfangs eine oder mehrere Hypothesen über die Funktion der Repeat-Taste generierten (Suche im Hypothesenraum) und anschließend Programme für den Roboter *BigTrak* testeten (Suche im Experimenterraum). Im Gegensatz dazu wurden Lernende dann als Experimentierer beschrieben, wenn sie zunächst viele Experimente durchführten und erst später eine Suche im Hypothesenraum begannen. Dabei zeigte sich, dass Theoretiker die Funktion der Repeat-Taste in einer zuvor formulierten Hypothese korrekt annahmen und Experimentierer die Funktion der Repeat-Taste aufgrund von Experimenten im Experimenterraum heraus fanden. Zudem zeigten die Ergebnisse, dass Theoretiker effizienter Vorgehen als Experimentierer und die Funktion der Repeat-Taste schneller entdeckten. Dies zeigt, dass die Strategie des Hypothesen Generierens effektiv ist und eine wichtige Rolle spielt.

Klahr und Dunbar (1988) bemerkten, dass in vielen Studien die wissenschaftsmethodischen Fertigkeiten des Aufstellens von Hypothesen und des Experimentierens isoliert betrachtet wurden. In ihren Studien wurden Studierende dagegen aufgefordert, sowohl den Hypothesen- als auch den Experimenterraum zu nutzen. Deutlich wurde, dass alle Studierenden tatsächlich beide Räume nutzten, um den Roboter *BigTrak* erfolgreich zu programmieren. Sowohl Studierende, die überwiegend Experimente durchführten, als auch Studierende, die sich mehr auf das Generieren von Hypothesen konzentrierten, waren in der Lage das gestellte Problem zu lösen. Demnach wird die Bedeutung beider Räume für erfolgreiches Lernen zwar ersichtlich, undeutlich ist aber, in welchem Maß welche Fertigkeit den Lernerfolg erklären kann. Zudem bleibt unklar, ob die ausgeführten Prozesse der Studierenden sich aufeinander bezogen und ob diese Interaktion ausschlaggebend für den Lernerfolg war. Ein weiteres Problem der Studien bezieht sich darauf, dass sich der gemessene Lernerfolg nur auf die Entdeckung der Repeat-Taste bezieht. Es wurde demnach kein zusätzlich erworbenes deklaratives Sach- oder Handlungswissen erfasst. Folglich konnte die Lernwirksamkeit der Anwendung einzelner oder interagierender Strategien nicht überprüft werden. Des Weiteren handelt es sich bei dem Roboter *BigTrak* um einen klar strukturierten

Gegenstandsbereich, der nicht mit komplexen wissenschaftlichen Inhaltsbereichen und Problemen verglichen werden kann (Thagard, 1998; van Joolingen & de Jong, 1993).

Schunn und Klahr (2000) untersuchten anschließend selbständig entdeckendes Experimentieren im komplexer angelegten System *MilkTruck Microworld*, in dem ein Interagieren zwischen den beiden Räumen notwendig war. Die Analysen bezogen sich aber auf die Inhalte und die gefundene Lösung für das Problem, nicht aber auf den Einfluss der interagierenden Prozesse auf den Lernerfolg.

Folglich lässt sich aus diesen Studien ableiten, dass die wissenschaftsmethodischen Prozesse in beiden Räumen dazu führen können, dass einfache Systeme beherrscht werden. Forschungsdesiderate zeigen sich jedoch hinsichtlich der Lernwirksamkeit der einzelnen und interagierenden wissenschaftsmethodischen Fertigkeiten in Bezug auf erworbenes deklaratives Sach- und Handlungswissen. Darüber hinaus muss für eine empirische Überprüfung des Modells ein komplexerer wissenschaftlicher Inhaltsbereich untersucht werden, um feststellen zu können, ob die Interaktion der Fertigkeiten der stärkste Prädiktor für den Lernerfolg ist.

Erkenntnisse zum scientific discovery learning. Auch zu diesem Ansatz wurden Studien durchgeführt, um die Strategieanwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu überprüfen. Eine Vielzahl von Studien machten dazu von computerbasierten Lernumgebungen mit naturwissenschaftlichen Inhalten Gebrauch (vgl. van Joolingen & de Jong, 1997), in denen das entdeckende Lernen in seiner *puren* Form (*unguided discovery learning*) untersucht wurde. Zum Beispiel wurden zu biologischen (Rivers & Vockell, 1987; Vollmeyer et al., 1996), (agrar-) wirtschaftlichen (Grimes & Willey, 1990; Leutner, 1993; Shute & Glaser, 1990) und physikalischen Inhalten (Carlsen & Andre, 1992; Chambers et al., 1994; Elshout & Veenman, 1992; Veenman 1993) sowie zur Newtonschen Mechanik (Rieber, Boyce & Assad, 1990; Rieber & Parmley, 1995) Lernumgebungen entwickelt.

Es wird angenommen, dass die korrekte und zyklische Ausführung der wichtigsten Lernprozesse – Situationsanalyse, Hypothesenbildung, Planung und Durchführung von Experimenten, Ergebnisinterpretation und Schlussfolgerung – effektives Lernen ausmacht (de Jong & Njoo, 1992; Eysink et al, 2009). Grimes and Willey (1990) konnten positive Effekte des selbständig entdeckenden Lernens mit Simulationen aufweisen und auch Shute, Glaser und Raghavan (1989) zeigten anhand der Lernumgebung *Smithtown*, dass die systematische, tiefgehende Exploration des Lerninhalts zu einem größeren Lernergebnis führte. Es zeigte sich vor allem, dass das Aufstellen von Hypothesen einen großen Einfluss auf den Lernerfolg hat (vgl. Vollmeyer & Burns, 1996). Dennoch zeigten Bangert-Drowns, Kulik und Kulik (1985), dass das Lernen in computerbasierten Lernumgebungen nicht zu besseren Lernergebnissen führte. Auch Carlsen und Andre (1992) sowie Chambers et al. (1994) konnten keine Vorteile des Lernens mit Simulationen

gegenüber erklärendem Unterricht feststellen. Chambers et al. (1994) konnten darüber hinaus mittels videogestützter Verhaltensbeobachtung feststellen, dass Lernende nicht mit unerwarteten Ergebnissen umgehen konnten. Des Weiteren wurden in vielen Studien Schwierigkeiten, wie z. B., dass Lernenden das Lernziel nicht ersichtlich wurde, deutlich (de Jong & Njoo, 1991; Goodyear, Njoo, Hijne & van Berkum, 1991; Laurillard, 1987).

In einer Vielzahl von Studien wurde darauf aufmerksam gemacht, dass Lernende vielfältige Probleme mit der Art des Lernens haben (de Jong & van Joolingen, 1998). Dies zeigt sich im unsystematischen und wenig strategischen Vorgehen beim selbständig entdeckenden Lernen durch Experimentieren und durch eine große Häufigkeit von Fehlern bezüglich der Strategieranwendung, die sich auf den gesamten Experimentierzyklus beziehen (de Jong, 2005; de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Dunbar, 1988; Klayman & Ha, 1987; Mayer, 2004; Njoo & de Jong, 1993b; Quinn & Alessi, 1994). Auch Schauble et al. (1991) zeigten, dass sich wenig erfolgreiche Lerner von erfolgreichen Lernern beim selbständig entdeckende Lernen durch eine Vielzahl von Problemen mit der Art des Lernens unterscheiden lassen.

Aufgrund des unsystematischen Vorgehens und der geringen Anwendung von Strategien können auch aus diesen Studien keine Erkenntnisse bezüglich der Lernwirksamkeit der Anwendung interagierender Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren gezogen werden. In vielen Studien wurde angeregt, Lernende mittels instruktionaler Hilfen beim selbständig entdecken Lernen zu unterstützen, um die beschriebenen Probleme zu bewältigen und präzisere Erkenntnisse zu der Effektivität der Strategieranwendung zu gewinnen. Im Folgenden werden dazu zunächst die Probleme beim selbständig entdeckenden Experimentieren genauer beschrieben und anschließend wird auf die Untersuchung der Effektivität der Strategieranwendung mittels Unterstützungsmaßnahmen eingegangen.

2.5.1 Probleme beim selbständig entdeckenden Experimentieren

Die Ursache dafür, dass Lernende beim computerbasierten entdeckenden Experimentieren keine besseren Leistungen erzielen, wird in den Problemen, die Lerner mit der Art des Lernens haben, vermutet (de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1991, 1996). Es zeigte sich, dass Lerner Schwierigkeiten haben, unerwartete Ergebnisse zu interpretieren und mit ihnen umzugehen (Chambers et al., 1994). Lerner leiten zwar Regeln und Prinzipien ab, die aber nicht als Hypothesen behandelt und getestet werden oder mit unsystematischen Methoden überprüft werden, so dass keine Schlüsse aus den Ergebnissen gezogen werden dürften (Shute & Glaser, 1990, Tschirgi, 1980). Darüber hinaus zeigte sich, dass es eine Vielzahl von Mängeln bezüglich der verlangten Arbeitsweise gibt, die teilweise auch auf

fehlende Vorkenntnisse zurückzuführen sind (vgl. Schauble et al., 1991). Zudem identifizierten de Jong und van Joolingen (1998) in einem Literaturreview „typische“ Fehler, die Lernende beim selbständig entdeckenden Experimentieren machen.

In der Literatur werden dabei Fehler im Allgemeinen als eine „Abweichung von einer bestimmten Norm, oder Standard, ein systematisches oder beiläufiges Fehlverhalten, etwas völlig Falsches oder nicht Richtiges [und als] eine Fehlvorstellung oder ein Misskonzept [definiert]“ (Seidel & Prenzel, 2003, S. 30). In Übereinstimmung damit sieht Klahr (2000) Fehler als ein von der Norm, den Prozessen des scientific discovery, abweichendes Verhalten. Ebenso werden in dem Literaturreview von de Jong und van Joolingen (1998) „typische“ Fehler auch als Probleme oder Mängel bezeichnet und werden einerseits nach der fehlerhaften Ausführung der einzelnen transformativen Prozessen des entdeckenden Lernens klassifiziert (Situationsanalyse, Generierung von Hypothesen, Planung und Durchführung von Experimenten, Ergebnisinterpretation und Schlussfolgerung) und richten sich andererseits aber auch auf die regulativen Prozesse des Planens, Überwachens und Evaluierens des Lernprozesses beim selbständig entdeckenden Experimentieren.

2.5.1.1 Probleme beim Ausführen transformativer Prozesse

Generierung von Hypothesen. In dem Literaturreview von de Jong und van Joolingen (1998) zum selbständig entdeckenden Experimentieren wurden diverse Fehler bezüglich des Aufstellens von Hypothesen beschrieben (s.a. Njoo & de Jong, 1993b; van Joolingen & de Jong, 1991). Das Aufstellen von Hypothesen wird von Lernern als grundsätzlich schwierig empfunden (Chin & Brewer, 1993). Probleme beim Generieren von Hypothesen sind teilweise auf das grundlegende Problem zurück zu führen, dass Lerner schlicht nicht wissen, wie Hypothesen formuliert werden könnten (Njoo & de Jong, 1993b). Darüber hinaus haben Lerner Schwierigkeiten auf der Basis von bereits gesammelten Daten Hypothesen zu generieren (Klahr & Dunbar, 1988) oder zu modifizieren (Dunbar, 1993). Dies scheint häufig auch damit zusammenzuhängen, dass Lernende Schwierigkeiten haben ein anfangs gesetztes Ziel oder eine erste Annahme bezüglich eines Zusammenhangs zwischen Variablen zu ersetzen bzw. aufzugeben und Daten dahingehend interpretieren, dass die aufgestellte Hypothese beibehalten werden kann (Dunbar, 1993; Laughlin, Bonner & Altermatt, 1998; Mynatt, Doherty & Tweney, 1977). Van Joolingen und de Jong (1993) beobachteten zusätzlich, dass Lernende das Aufstellen von Hypothesen vermeiden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit verworfen werden müssen. Entgegen diesen Erkenntnissen gibt es ebenfalls Hinweise, dass Lernende Hypothesen verwerfen, obwohl ihnen keine experimentellen Daten vorliegen, die zeigen, dass die Hypothese falsch ist (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998).

Planung und Durchführung von Experimenten. Auch im Bereich des Planens und Durchführens von Experimenten zeigt sich, dass Lerner Probleme mit dem selbständigen entdeckenden Experimentieren haben. Shute und Glaser (1990) weisen darauf hin, dass das explorierende Experimentieren impulsiv und nicht systematisch verläuft. In weiteren Studien zeigte sich ebenfalls, dass Lernende Experimente nicht logisch planen und dementsprechend keine systematischen Experimente entwerfen (Kuhn et al., 1992; Wason, 1966). Das systematische Variieren von Variablen scheint folglich ein großes Defizit zu sein. Lerner manipulieren innerhalb eines Experiments gleichzeitig verschiedene Variablen und müssen folglich auf der Basis von inadäquaten Resultaten und Erkenntnissen Generalisierungen machen oder können keine Schlüsse aus den Ergebnissen ziehen, die sie auf die Veränderung einer Variablen zurückführen können. Weitere Probleme werden darin gesehen, dass Lernende ineffizientes Experimentierverhalten zeigen, da nicht alle möglichen Experimente durchgeführt und folglich spezifische Informationen nicht erworben werden. Häufig werden nur Experimente durchgeführt, die nicht dazu beitragen, eine Hypothese zu testen, sondern dazu dienen ein wünschenswertes Ergebnis herbeizuführen (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998).

Ergebnisinterpretation und Schlussfolgerung. Wenn Lernende korrekte Experimente durchgeführt haben, zeigt sich dennoch, dass Daten falsch interpretiert werden, was häufig dazu führt, dass eine Hypothese bestätigt wird, die hätte verworfen werden müssen (*confirmation bias*; Klahr, Fay & Dunbar, 1993). Darüber hinaus scheint ein Problem zu sein, dass Lernende Schlussfolgerungen ziehen ohne vorab Experimente durchgeführt zu haben. Ebenso wird deutlich, dass Schwierigkeiten durch das Unvermögen entstehen, Vorwissen mit den Beobachtungen und erworbenen Erkenntnissen zu verknüpfen (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998; Sumfleth, 2006).

2.5.1.2 Probleme beim Ausführen regulativer Prozesse

Planung. Hinsichtlich des regulativen Prozesses des Planens zeigte sich, dass Lernende das Setzen von Zielen als schwierig erachten (Charney, Reder & Kusbit, 1990). Weniger erfolgreiche Lerner verwenden im Gegensatz zu erfolgreichen Lernern weniger Zeit für die Planung und richten sich weniger auf den Umgang mit gefundenen Daten (Shute & Glaser, 1990). Außerdem wählen sie Strategien eher zufällig aus, treffen Entscheidungen spontan statt das Vorgehen zu planen (Glaser et al., 1992; Schauble et al., 1991) bzw. weichen schneller von der Planung ab und ändern Strategien, wenn mit der gewählten Strategie kein sofortiger Erfolg erzielt wurde (Glaser et al., 1991).

Überwachung. In vielen Studien zeigte sich, dass sich erfolgreiche von weniger erfolgreichen Lernern darin unterscheiden, dass sie das entdeckende Lernen

systematischer gestalten (Simmons & Lunetta, 1993). Das Problem, dass wenig erfolgreiche Lerner wahllos Strategien einsetzen oder gar keine Strategien anwenden und überwiegend unsystematisch agieren, erschwerte folglich auch das Überwachen des Lernprozesses (Glaser et al., 1992). Lavoie und Good (1988) stellten fest, dass erfolgreiche Lerner im Gegensatz zu weniger erfolgreichen Lernern mehr Notizen zur Überwachung des Lernprozesses machten.

Fazit. Aufgrund der Vielzahl an Fehlern bezüglich der transformativen Prozesse des selbständig entdeckenden Experimentierens, aber auch bezüglich der fehlerhaften Ausführung der regulativen Prozesse bemängeln Kritiker, dass das selbständige entdeckende Experimentieren in Lernumgebungen mit minimaler Unterstützung nicht funktioniert (Kirschner et al., 2006; Mayer, 2004). Dennoch weist Njoo (1994) darauf hin, dass das selbständig entdeckende Experimentieren ebenfalls viele bedeutsame Vorzüge hat und die meisten Studien neben den wenig erfolgreichen Lernern, die eine Vielzahl von Problemen mit der Art des Lernens haben, auch von erfolgreichen Lernern berichten. Ebenso weisen andere Studien darauf hin, dass Fehler insbesondere beim Prozess des selbständig entdeckenden Experimentierens dazugehören (Hammerer, 2001; Kahl, 2002; Mathan & Koedinger, 2005). Nach Oser und Spychinger (2000, 2005; Oser, Hascher & Spychinger, 1999; vgl. auch Oser, Spychiger, Hascher & Mahler, 1997) können Fehler zudem auch positive Effekte haben und sie argumentieren in ihrer Theorie des *negativen Wissens*, dass negativ nicht im moralisch-wertenden Sinne und als zu vermeiden gelten soll, sondern als Gegenteil des *positiven Wissens* verstanden werden kann, das richtige Abläufe und Resultate beinhaltet. Demnach beinhaltet *negatives Wissen* Wissen darüber „wie etwas nicht ist (deklarativ) oder nicht funktioniert (prozedural)“ (Oser et al., 1999).

Aus den Studien zeigt sich, dass schwächere Lerner mehr Fehler machen (de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Dunbar, 1988; Shute & Glaser, 1990) und das Lernende den Experimentierzyklus nur unvollständig durchlaufen. Demnach beziehen sich einige Fehlerarten auf die fehlerhafte Anwendung von Strategien, wie z. B. das unsystematische Experimentieren. Andere Fehler beziehen sich auf das Auslassen einzelner Prozesse des vollständigen Experimentierzyklus, wie das Experimentieren ohne Hypothese. Folglich lassen sich mittels der vorliegenden Studien (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998) viele verschiedene Fehlerarten bezogen auf den Experimentierzyklus feststellen. In einer Studie wurde aber lediglich aufgezeigt, dass weniger erfolgreiche Lerner bedeutsam weniger systematisch agieren (Schauble et al., 1991) als erfolgreiche Lerner. Andere Studien stellen nur deskriptiv dar, welches fehlerhafte Verhalten häufig zu beobachten ist. Folglich bleibt unklar, inwiefern und welche Fehler sich tatsächlich negativ auf den Lernerfolg auswirken. Die beschriebene Literatur kann als theoretische Grundlage genutzt werden, um entsprechende Verhaltensindikatoren zur Überprüfung des Einflusses verschiedener

Fehlerarten beim selbständig entdeckenden Experimentieren auf den Lernerfolg abzuleiten.

2.5.2 Unterstützung des selbständig entdeckenden Experimentieren

Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse hinsichtlich der vielfältigen Probleme beim selbständig entdeckenden Experimentieren wurden in vielen Studien einzelne Prozesse des SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 1988) bzw. einzelne transformative Prozesse (Njoo & de Jong, 1993a) konkret angeregt. Somit sollte die lernförderliche Wirkung dieser einzelnen Prozesse ermittelt werden können. Dazu wurden Lernumgebungen entwickelt, in denen Module zur Unterstützung einzelner Prozesse implementiert wurden, um die Effektivität des selbständig entdeckenden Experimentierens zu steigern. Des Weiteren wurden aber auch Unterstützungsmaßnahmen für regulative Prozesse zur Förderung des selbständig entdeckenden Experimentierens entwickelt.

2.5.2.1 Unterstützung transformativer Prozesse

Hypothesen Generieren. Um den Effekt der Formulierung von Hypothesen zu überprüfen, führten Klahr und Dunbar (1988) eine Studie mit der Lernumgebung *BigTrak* (vgl. Abschnitt 2.5) durch. Darin wurden 10 Probanden aufgefordert, noch vor der ersten Programmierung von *BigTrak* möglichst viele plausible Hypothesen zu generieren. Die Hälfte der Probanden hatte bereits bei diesen ersten Formulierungen eine richtige Annahme bezüglich der Repeat-Taste generiert. Insgesamt zeigte sich, dass alle Probanden die Funktion der Repeat-Taste entdeckten. So wurde deutlich, dass durch das Aufstellen von Hypothesen bereits wichtige Schritte zum Erlernen des neuen Inhaltsbereichs gemacht werden können. Dennoch muss auch hier berücksichtigt werden, dass es sich bei *BigTrak* um einen klar strukturierten Gegenstand und nicht um einen komplexen wissenschaftlichen Inhaltsbereich handelt (Thagard, 1998). Van Joolingen und de Jong (1993) konnten ähnliche Ergebnisse finden. Njoo und de Jong (1993b) konnten ebenfalls eine Lernförderlichkeit mittels der Unterstützung der Lernenden durch eine schrittweise Erklärung des Experimentierzyklus und der expliziten Aufforderung Hypothesen auf einem Arbeitsblatt zu notieren aufzeigen, dass das Generieren von Hypothesen lernförderlich ist. Auch Shute und Glaser (1990) sowie Quinn und Alessi (1994) konnten durch die Unterstützung zum Generieren von Hypothesen lernförderliche Effekte aufzeigen. Die Effektivität des Lernens wird dann begünstigt, wenn das Generieren und Testen von Hypothesen systematisch durch den Einsatz kognitiver Strategien erfolgt (Klahr & Dunbar, 1988; Künsting et al., 2008; Vollmeyer, Burns & Holyoak, 1996; Vollmeyer & Burns, 1996).

Durchführung von Experimenten. Auch durch die Unterstützung der Planung und der Durchführung von Experimenten (Leutner, 1993; Tabak, Smith, Sandoval & Reiser 1996) konnten lernförderliche Effekte beim selbständig entdeckenden Experimentieren aufgezeigt werden. Insbesondere erwies sich das strategische und systematische Experimentieren, das durch den Einsatz spezifischer Experimentierstrategien gekennzeichnet ist, als lernförderlich. Dabei ist die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle (IVK) oder auch VOTAT genannt (*vary one thing at time*; Tschirgi, 1980) eine der bekanntesten Strategien zum systematischen Generieren neuer Informationen (z. B. Chen & Klahr, 1999, Klahr, 2000; Kuhn et al., 2000). Bei der Anwendung dieser Experimentierstrategie soll der Einfluss einer bestimmten Variablen auf eine oder mehrere abhängige Variablen überprüft werden, indem gezielt ein Wert der unabhängigen Variablen, bei gleichzeitiger Konstanthaltung aller weiteren Werte, variiert wird. Es zeigte sich, dass die Strategie der IVK bereits im Kindergartenalter eingeübt und angewandt werden kann und ihre lernförderliche Wirkung konnte in vielen Studien bestätigt werden (Chen & Klahr, 1999; Klahr, 2000; Klahr & Simon, 1999; Putz-Osterloh, 1993; Vollmeyer & Reinberg, 1998, 1999). Allerdings weisen Kuhn et al. (2000) darauf hin, dass ein reines Training der Anwendung dieser Strategie nicht ausreicht, um nachhaltige lernförderliche Effekte des selbständig entdeckenden Experimentierens zu erzielen.

2.5.2.2 Unterstützung regulativer Prozesse

Um das selbständig entdeckende Experimentieren zu fördern, hat Thillmann (2008) Hilfen in Form von metakognitiven Prompts in eine computerbasierte Lernumgebung implementiert, die an den optimalen Verlauf der Lernprozessregulation (Wirth, 2004, 2005) angepasst wurden. Die Ergebnisse bestätigten, dass eine prozessbasierte Darbietung metakognitiver Prompts zu einem signifikant höheren Lernzuwachs hinsichtlich des erworbenen deklarativ-konzeptuellen Wissens führt, als eine zeitlich davon abweichende und folglich nicht-prozessbasierte Darbietung derselben Prompts (Thillmann, 2008). Ebenso konnte mittels der dargebotenen Prompts eine signifikante Steigerung der Strategieranwendung im Experimenterraum verzeichnet werden, nur für den Hypothesenraum zeigten sich bezüglich der Strategieranwendung keine Unterschiede, was möglicherweise durch die insgesamt sehr geringe Anwendung von Strategien zu erklären ist. Die Interaktion der Prozesse im Hypothesen- und Experimenterraum wurden in dieser Studie nicht untersucht. Insgesamt zeigte sich, dass die Effekte zwar gering sind, aber implizieren auch, dass eine adäquate prozessorientierte Unterstützung der Lernenden in ihrer metakognitiven Kontrolle zu einem höherem Lernerfolg und Strategieneinsatz im Experimenterraum führen können. Auch Zhang, Chen, Sun und Reid (2004) unterstützten Lernende beim selbständig entdeckenden Experimentieren mit dem Resultat, dass Lernende systematischer agierten. Dennoch wurde auch in dieser Studie der Fokus

lediglich auf die systematische Anwendung von Strategien innerhalb des Experimenterraums gelegt und nicht die Interaktion mit dem Hypothesenraum analysiert. Wie bereits erwähnt, weisen Kuhn et al. (2000) darauf hin, dass nur das Trainieren und Anwenden dieser einen Strategie im Experimenterraum nicht ausreichend ist, um nachhaltige lernförderliche Effekte des selbständig entdeckenden Experimentierens zu erzielen.

Ausgehend von Mayers (2004) und Kirschner et al. (2006) Erkenntnissen, dass selbständig entdeckendes Experimentieren ohne Unterstützungsmaßnahmen ineffektiv ist, untersuchten Wichmann und Leutner (2009) verschiedene Formen der Unterstützung zur Ausführung des Experimentierzyklus hinsichtlich ihrer Lernwirksamkeit. Dazu wurden sogenannte *inquiry Prompts* zur Unterstützung transformativer Prozesse und *regulative Prompts* zur Unterstützung regulativer Prozesse eingesetzt. Es konnte gezeigt werden, dass Lernende, die zusätzlich zu *inquiry Prompts* auch *regulative Prompts* erhielten, einen größeren Lernerfolg erzielten als Lernende, die nur *inquiry Prompts* bekamen. Gegen die Erwartung zeigte sich, dass Lernende, die nur *inquiry Prompts* erhielten, keinen höheren Lernerfolg erzielten als Lernende, die keine zusätzliche Unterstützung in Form von Prompts erhielten. Dies wurde möglicherweise durch die Lernumgebung, die für alle Gruppen mit einfachen *inquiry*-Unterstützungsmaßnahmen (wie z. B. einem Notizblock für Erklärungen) ausgestattet waren, verursacht. Wichmann und Leutner (2009) zeigten somit, dass instruktionale Unterstützungsmaßnahmen für die Lernwirksamkeit der Ausführung des Experimentierzyklus notwendig sind. Lernende wurden in dieser Studie dazu angeleitet den vollständigen Experimentierzyklus zu durchlaufen und somit interagierende transformative Prozesse auszuführen. Aussagen zur Lernwirksamkeit der spontanen Interaktion einzelner transformativer Prozesse sind auf Basis dieser Studie folglich nicht möglich.

Hinweise auf Effektivität der Interaktion. In den vorliegenden Studien, die die Strategieanwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren in computerbasierten Lernumgebung untersuchten, wurde die Überprüfung der interagierenden Anwendung von Strategien nicht überprüft. Eine Studie zu experimentellen Arbeitsweisen zur Unterstützung kooperativer Kleingruppenarbeit im Fach Chemie (Wahser & Sumfleth, 2008) untersuchte in realen Experimentierszenarios, ob durch das Trainieren von wissenschaftsmethodischen Fertigkeiten sowie eines entsprechenden Lehrervortrags ein strukturiertes experimentelles Arbeiten der Lernenden in Kleingruppen gefördert werden kann. Darüber hinaus wurde ermittelt, ob ein strukturiertes experimentelles Arbeiten einen Einfluss auf den deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg hat. Es zeigte sich, dass das Trainieren von wissenschaftsmethodischen Fertigkeiten in Kombination mit einem entsprechenden Lehrervortrag das strukturierte experimentelle Arbeiten fördert. Lernende, die ein Training sowie einen Lehrervortrag zu experimentellen Arbeitsweisen

erhielten, experimentierten systematischer und erzielten einen höheren Lernerfolg als Lernende, die nur das Training oder gar keine Hilfe bekamen. Weitergehend zeigte sich auch, dass die Lernenden, die das Training und den Lehrervortrag erhielten, weniger Fehler beim Experimentieren machten. In den Analysen wurde auch deutlich, dass Lernende, die interagierende Prozesse des Hypothesenaufstellens und Experimentierens anwendeten, einen höheren Lernerfolg erzielten. Somit lassen sich für das Experimentieren in Kleingruppen Hinweise darauf erkennen, dass die Interaktion der Prozesse tatsächlich lernförderlich ist.

2.5.3 Fazit

Studien zu den Ansätzen des selbständig entdeckenden Experimentierens haben bislang gezeigt, dass Lernende große Schwierigkeiten mit der Art des Lernens haben und häufig unsystematisch agieren (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998). Die Probleme beim selbständig entdeckenden Experimentieren beziehen sich dabei sowohl auf die Ausführung transformativer als auch regulativer Prozesse. Ungeklärt bleibt aber welchen Einfluss die unterschiedlichen Fehlerarten auf den Lernerfolg haben. Allerdings konnte auch gezeigt werden, dass in einfachen Systemen und durch Unterstützungsmaßnahmen transformativer und regulativer Prozesse die Anwendung von Strategien im Hypothesen- und im Experimenterraum lernförderlich ist (z. B. Klahr & Dunbar, 1988; Njoo & de Jong, 1993b; Thillmann, 2008; Wichmann & Leutner, 2009; Zhang et al., 2004). In einer Studie zum selbständigen Experimentieren in Kleingruppen konnten darüber hinaus Hinweise darauf gefunden werden, dass die Interaktion der Anwendung von Strategien im Hypothesen- und im Experimenterraum lernwirksam ist.

Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse kann angenommen werden, dass die systematische Anwendung von Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren effektiv ist. Ungeklärt bleibt jedoch die Frage, ob beim selbständig entdeckenden Experimentieren in komplexen Systemen die Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse ausschlaggebend für den Lernerfolg ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Lernerfolg durch das selbständig entdeckende Experimentieren sowohl in Form des deklarativ-konzeptuellen Wissens als auch in Form des erworbenen Handlungswissens erfasst werden kann. Folglich existiert auch keine empirische Grundlage auf der bestätigt werden kann, dass das SDDS-Modell für jede Domäne, in der wissenschaftsmethodische Prozesse angewandt werden, gültig ist.

2.6 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund des aus dem entdeckenden Lernen (*learning by discovery*) entstandenen, instruktionspsychologischen Ansatz des *scientific discovery learning* (Klahr & Dunbar, 1988) wurden die zentralen Merkmale und Anforderungen der Lernformen des selbständig entdeckenden Experimentierens beschrieben. Demnach handelt es sich um eine Form des Lernens, bei der Lernende minimal unterstützt werden und folglich selbständig wissenschaftsmethodische Prozesse ausführen müssen, um ein tiefgehendes Verständnis eines Inhaltsbereichs zu erlangen (Kirschner et al., 2006). Auf der Grundlage der beschriebenen Modelle werden die zentralen Merkmale des selbständig entdeckenden Experimentierens spezifiziert: Lernende müssen mittels transformativer bzw. wissenschaftsmethodischer Prozesse Informationen entdecken und generieren, die anschließend in die Wissensbasis integriert werden müssen. Dabei müssen Lernende kontinuierlich mittels regulativer Prozesse (de Jong & Njoo, 1992) den Lernprozess optimal gestalten. Das bedeutet, dass Lerner den Lernprozess durch die Auswahl und Anwendung von Strategien aktiv gestalten und durch ein ständiges Beobachten und Abgleichen mit *standards* (Winne & Hadwin, 1998) auf der Mikroebene den Lernprozess kontrollieren müssen (Schreiber, 1998). Zudem wurde aus den Modellen die theoretische Grundlage, dass die Interaktion der Anwendung wissenschaftsmethodischer Prozesse – Hypothesenaufstellen und Durchführung von Experimenten – ausschlaggebend für den Lernerfolg des selbständig entdeckenden Experimentierens sei, herausgearbeitet. Im Hinblick auf diese Annahme und auf die später dargestellten empirischen Erkenntnisse zu den theoretischen Ansätzen, wird die *Interaktions*-Annahme als die zentrale zu untersuchende Frage der vorliegenden Arbeit verstanden. Unter der *Interaktions*-Annahme wird dabei verstanden, dass die Interaktion transformativer, wissenschaftsmethodischer Prozesse beim selbständig entdeckenden Experimentieren einen ausschlaggebenden Einfluss auf die Lernwirksamkeit hat. Davon ausgehend soll auch die Generalisierbarkeit des Modells auf unterschiedliche Domänen eine zentrale Rolle spielen.

Ausgehend von der beschriebenen Taxonomie der Wissensbegriffe von Süß (1996) und van Berkum et al. (1991) wurde in einem nächsten Schritt das Wissen, das Lernende beim selbständig entdeckenden Experimentieren erwerben können, klassifiziert. Demnach wird für diese Arbeit angenommen, dass um den vollständigen Lernerfolg des selbständig entdeckenden Experimentierens abbilden zu können, sowohl das deklarativ-konzeptuelle Sachwissen als auch das deklarative Handlungswissen erfasst werden sollte.

Zur Erfassung des selbständig entdeckenden Experimentierens wird aus den Vor- und Nachteilen der Erkenntnisse zum Experimentieren mit dem Computer in der vorliegenden Arbeit abgeleitet, dass computerbasierte Lernumgebungen, die die Möglichkeit bieten

naturwissenschaftliche Modelle zu „verstecken“, als geeignetes Lernmedium und Diagnoseinstrument zum selbständig entdeckenden Experimentieren verstanden werden können. Darüber hinaus kann auch hinsichtlich der Erfassung der Strategieverwendung davon ausgegangen werden, dass mittels der von der computerbasierten Lernumgebung erstellten, logfile-basierten Protokolle der Verhaltensdaten eine prozessnahe und ökonomische Erfassung bei einer großen Stichprobe möglich ist. Selbstauskunftbasierte Methoden weisen trotz einiger Bedenken zu den verhaltensbasierten Methoden (Bannert, 2005; Howard-Rose, 1993) mehr Nachteile hinsichtlich spezifischer Merkmale und der Gütekriterien auf. Erstens zeigte sich eine fehlende Passung zwischen dem erfassten Verhalten und den gemessenen selbstauskunftbasierten Angaben zur Strategieverwendung (Artelt, 1998, 1999, 2000; Winne & Perry, 2000). Zweitens muss entweder die retrospektive Verzerrung aufgrund einer verzögerten Erfassung (Fragebögen; z. B. Hadwin et al., 2001) oder die erhöhten kognitiven Anforderungen (*Lauter Denken*), die die eigentliche Aufgabe erschweren (z. B. Anderson, 1993), berücksichtigt werden. Drittens besteht bei der Erfassung automatisierter Prozesse das größte Validitätsproblem darin, dass diese nicht immer verbalisiert und somit nicht erfasst werden können (Ericsson & Simon, 1980; Pressley et al., 1987; Winne, 1996). Da die verhaltensbasierte Beobachtung des Lernprozesses einen hohen Zeitaufwand sowie eine mögliche geringe Objektivität aufgrund der Beurteilerabhängigkeit mit sich bringt, wird die logfile-basierte Erfassung in dieser Arbeit bevorzugt, auch wenn damit nur tatsächlich ausgeführte Aktionen erfasst werden können.

Hinsichtlich der Erkenntnisse zum selbständig entdeckenden Experimentieren, die in einem weiteren Schritt dargestellt wurden, wurde deutlich, dass Lernende erhebliche Schwierigkeiten mit der Art des Lernens haben und häufig unsystematisch vorgehen, aber unklar bleibt, ob und welchen lernhinderlichen Effekt die Fehler haben (z. B. de Jong & van Joolingen, 1998). Aus den in der Literatur theoretisch dargestellten Fehlerarten, können Verhaltensindikatoren abgeleitet werden, die zur Analyse der mittels Logfiles erfassten Verhaltensdaten genutzt werden können.

Vor dem Hintergrund, dass Maßnahmen zur Lernprozessregulation (Thillmann, 2008) und zur Förderung der Anwendung von Strategien (z. B. Njoo & de Jong; 1993b; Wahser & Sumfleth, 2008; Zhang et al., 2004) erfolgreich und lernförderlich implementiert wurden, können die Analysen der mittels Verhaltensindikatoren erfassten Strategieverwendung und Fehlerarten möglicherweise zu Implikationen hinsichtlich der Implementierung von Fördermaßnahmen und Trainingseinheiten dienen.

3 Fragestellung

Die als Bildungsziel formulierte Entwicklung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen zum Erlangen tiefergehenden Verständnisses naturwissenschaftlicher Inhalte (Fischer et al., 2004; KMK, 2005; Ministerium für Schule, 2004) und der dazu gelegte Schwerpunkt auf das Experimentieren (Hammann et al., 2007), stehen im Kontrast zu den Erkenntnissen des geringen Lernerfolgs beim Experimentieren (Hofstein & Lunetta, 1982; Hucke & Fischer, 2002). Vor diesem Hintergrund liegt das Ziel dieser Arbeit in der Überprüfung eines allgemeingültigen Modells der erfolgreichen Strategieranwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren mittels der Entwicklung und Evaluation von Verhaltensindikatoren.

Die essentiellen Merkmale des selbständig entdeckenden Experimentierens konnten durch die Ableitung dieser Lernform aus den Ansätzen des *scientific discovery as dual search* und des *scientific discovery learning* bestimmt werden. Dabei zeichnet sich das erfolgreiche, selbständig entdeckende Experimentieren durch die zentrale Annahme des SDDS-Modells aus, dass die Interaktion der Anwendung wissenschaftsmethodischer Prozesse ausschlaggebend für den Lernerfolg ist. Die Interaktion wird als das Erreichen einer Passung zwischen transformativen und wissenschaftsmethodischen Prozessen beim selbständig entdeckenden Experimentieren definiert (Klahr & Dunbar, 1988). Angenommen wird, dass Lernende naturwissenschaftliche Inhalte dadurch erfolgreich entdecken und verstehen können.

Um ein Modell der erfolgreichen Strategieranwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren entwickeln zu können, ist es erforderlich die Kriterien, an denen erfolgreiches Experimentieren gemessen werden soll, abzuleiten. In Lernkontexten, die sowohl die Durchführung von (simulierten) Handlungsprozessen als auch die Generierung von neuen inhaltlichen Informationen über Zusammenhänge zwischen Variablen begünstigen, können Lernende mittels des selbständig entdeckenden Experimentierens unterschiedliche Wissensarten erwerben (Süß, 1996; van Berkum et al., 1991). Bei der Erfassung des Wissens, das Lernende erwerben, kann demnach basierend auf dem bearbeiteten Lernkontext zwischen deklarativem und prozeduralem Sach- und Handlungswissen unterschieden werden. Dabei muss das erworbene Wissen aber nicht strikt nach unterschiedlichen Prozessen getrennt werden, sondern kann als Klassifikation von Prozesskomponenten bedingt durch unterschiedliche Lernziele verstanden werden (vgl. Wirth, 2004). Daher ist es in der vorliegenden Arbeit notwendig sowohl das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen (deklaratives Sachwissen) als auch das erworbene Handlungswissen (deklaratives Handlungswissen) zu erfassen, um den lernwirksamen Effekt der Interaktion beim selbständig entdeckenden Experimentieren vollständig analysieren zu können.

Als ein geeignetes Lernmedium zum selbständig entdeckenden Experimentieren sowie zur Anwendung der im SDDS-Modell beschriebenen Strategien werden dabei computerbasierte Lernumgebungen betrachtet (z. B. de Jong & van Joolingen, 1998; Leutner, 1993; Njoo, 1994). Mittels der automatischen Erstellung logfile-basierter Protokolle ermöglichen computerbasierte Lernumgebungen eine ökonomische und prozessnahe Erfassung der Verhaltensdaten. Dazu müssen auf der theoretischen Basis des SDDS-Modells Verhaltensindikatoren für die Strategieranwendung im Experimenterraum (IVK-Strategie; Tschirgi, 1980), für die Strategieranwendung im Hypothesenraum (Mapping-Strategie; Nesbit & Adesope, 2006) und die Interaktion (Klahr & Dunbar, 1988) gebildet werden, die eine Analyse der Verhaltensdaten ermöglichen.

Im Hinblick auf die empirischen Erkenntnisse zu den Ansätzen des selbständig entdeckenden Experimentierens zeigt sich, dass eine Überprüfung der Interaktionsannahme des SDDS-Modells nicht vorliegt. Lediglich aus der Studie von Wahser und Sumfleth (2008) können erste Hinweise hinsichtlich der Lernwirksamkeit der Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse in Kleingruppen, die während des Experimentierzyklus unterstützt wurden, generiert werden.

Hinweise auf die Lernwirksamkeit einzelner Strategien sowie die Lernwirksamkeit der Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse in Kleingruppen lassen annehmen, dass ein lernwirksamer Effekt der Interaktion beim selbständig entdeckenden Experimentieren aufgezeigt werden kann. Vor diesem Hintergrund und dem dargestellten Forschungsdesiderat ergeben sich folgenden Fragen:

1. *Können verhaltensbasierte Maße sowohl die Strategieranwendung im Hypothesen- und Experimenterraum als auch deren Interaktion valide abbilden?*
2. *Lässt sich ein ausschlaggebender, lernwirksamer Effekt der Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse im Sinne des SDDS-Modells für*
 - a. *den deklarativen Wissenserwerb und*
 - b. *das Handlungswissen nachweisen?*

In Übereinstimmung mit der Beobachtung des ausbleibenden Lernerfolgs bei Schülerexperimenten im Unterricht (Hofstein & Lunetta, 1982; Hucke & Fischer, 2002), zeigt sich auch in der beschriebenen Darstellung der Erkenntnisse zu den Ansätzen des selbständig entdeckenden Experimentierens, dass Lernende bei dieser Art des Lernens große Schwierigkeiten haben. Vor dem Hintergrund des als Fehler definierten abweichenden Verhaltens vom Experimentierzyklus (Klahr, 2000) und des systematischen Fehlverhaltens (Seidel & Prenzel, 2003), konnten de Jong und van Joolingen (1998) eine Vielzahl von „typischen“ Fehlerarten beim selbständig entdeckenden Experimentieren identifizieren. Auf dieser theoretischen Basis können in

der vorliegenden Arbeit Verhaltensindikatoren für Fehlerarten hergeleitet werden. Da unklar bleibt, inwiefern und welchen Einfluss die Fehlerarten auf die Lernwirksamkeit des selbständig entdeckenden Experimentierens haben, ermöglichen die hergeleiteten Verhaltensindikatoren die Analyse des Einflusses von Fehlern auf die Lernwirksamkeit des selbständig entdeckenden Experimentierens. Demnach stellt sich die Frage:

3. *Wirken sich Abweichungen vom Experimentierzyklus und systematisches Fehlverhalten beim selbständig entdeckenden Experimentieren negativ auf den Lernerfolg aus?*
 - a. *Zeigt sich der lernhinderliche Effekt bezüglich des erworbenen deklarativ-konzeptuellen Wissens?*
 - b. *Zeigt sich der lernhinderliche Effekt bezüglich des erworbenen Handlungswissens?*

Um hinsichtlich des geringen Lernerfolgs beim selbständig entdeckenden Experimentierens und des bereits erkannten lernwirksamen Effekts von Fördermaßnahmen, Implikationen zu weiteren Fördermaßnahmen zur Steigerung der effektiven Strategieranwendung geben zu können, ist es erforderlich zu prüfen, ob in unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Kontexten dieselben Strategien angewandt werden. Dazu muss das Forschungsdefizit, der fehlenden empirischen Überprüfung der Annahme, dass die Strategieranwendung basierend auf dem SDDS-Modell in jeder (natur-)wissenschaftlichen Domäne gültig ist, untersucht werden. Dementsprechend ist vor dem Hintergrund der Annahme, dass inhaltsübergreifende Strategien angewandt werden, zu prüfen, ob sich ein ausschlaggebender, lernwirksamer Effekt der Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse im Sinne des SDDS-Modells auch für unterschiedliche naturwissenschaftliche Inhalte zeigt. Darüber hinaus sollte der mögliche negative Einfluss abweichenden Verhaltens vom Experimentierzyklus und des systematischen Fehlerverhaltens beim selbständig entdeckenden Experimentieren auf den Lernerfolg in einem weiteren naturwissenschaftlichen Kontext überprüft werden. Zur Klärung weiterer Fördermöglichkeiten ergeben sich folgende Fragen:

4. *Lassen sich in Lernumgebungen mit unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Inhalten inhaltsübergreifende Strategien des Experimentierens valide erfassen?*
5. *Lassen sich lernwirksame Effekte der Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse im Sinne des SDDS-Modells auf einen weiteren naturwissenschaftlichen Inhalt generalisieren?*
6. *Wirken sich abweichendes Verhalten vom Experimentierzyklus und systematisches Fehlverhalten beim selbständig entdeckenden Experimentieren in*

unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Lernumgebungen negativ auf den Lernerfolg aus?

4 Computerbasierte Lernumgebungen

Zur Erfassung und Analyse der verhaltensbasierten Daten des selbständig entdeckenden Experimentierens konnte auf eine bereits bestehende Lernumgebung zum physikalischen Inhaltsbereich *Auftrieb in Flüssigkeiten* zurückgegriffen werden (Künsting, 2007; Thillmann, 2008). Eine weitere computerbasierte Lernumgebung zum chemischen Inhaltsbereich *Säuren und Basen* wurde zudem in Kooperation mit der Chemie-Didaktik entwickelt. Bei der Entwicklung der Chemie-Lernumgebung basierend auf dem SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988) wurden sowohl testtheoretische, lehr-lernpsychologische und fachdidaktische Kriterien berücksichtigt als auch die Vergleichbarkeit zu der bereits bestehenden computerbasierten Physik-Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* gewährleistet. Im Folgenden werden zunächst die Physik-Lernumgebung und deren Erweiterungen beschrieben. Anschließend wird die Entwicklung der Chemie-Lernumgebung erläutert.

4.1 Erweiterung der computerbasierten Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten*

Die von Künsting (2007) und Thillmann (2008) entwickelte computerbasierte Lernumgebung zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* konnten in der vorliegenden Arbeit zu großen Teilen übernommen werden. Die Lernumgebung wurde anhand verschiedener Kriterien entwickelt. Zunächst wurde zur Erreichung einer hohen ökologischen Validität der Inhaltsbereich *Auftrieb in Flüssigkeiten*, der Bestandteil des Physikcurriculum in Nordrhein-Westfalen ist, gewählt. Weitergehend wurde die Lernumgebung auf Basis des theoretischen SDDS-Modells entwickelt. Das bedeutet, dass sowohl der Hypothesen- als auch der Experimenterraum den Lernenden in der Lernumgebung grafisch und funktionell zur Verfügung gestellt wurden. Für eine detaillierte Beschreibung der ursprünglichen Physik-Lernumgebung wird an dieser Stelle auf die Arbeiten von Künsting (2007) und Thillmann (2008) verwiesen.

In der vorliegenden Arbeit haben sich aufgrund der vorangegangenen Studien und Erkenntnisse Weiterentwicklungen ergeben. Im Folgenden werden die Weiterentwicklungen bezogen auf den Hypothesen- und den Experimenterraum sowie das Tutorial dargestellt.

4.1.1 Hypothesenraum als Flipchart

Ursprünglicher Hypothesenraum. Aufgrund der Instabilität und der geringen Nutzung des Hypothesenraums (vgl. Thillmann, 2008) wurde dieser grafisch komplett neu gestaltet. So sollte einerseits die Nutzung stabiler, leichter und attraktiver werden. Wie in Abbildung 4.1 zu erkennen ist, wurde der Hypothesenraum in der ursprünglichen Version in zwei Bereiche unterteilt. Im oberen Bereich wurde das Material zur Darstellung von Zusammenhängen (Vierecke mit den Variablen des Inhaltsbereichs, Labels mit den mathematischen Operanden etc. sowie Pfeile für das Einzeichnen und Löschen von Zusammenhängen) bereitgestellt. Der untere Bereich diente den Lernern als Zeichenfläche, auf die sie das Material des oberen Bereichs mit Hilfe der Maus ziehen konnten.

The screenshot shows a software interface for a physics experiment. On the left, a 'Labor' section contains shelves with blocks of different volumes (100cm³, 200cm³, 500cm³, 1000cm³) and masses (100g, 500g, 1000g). Below are two beakers: one with fresh water ($\rho_{FL} = 1g/cm^3$) and one with salt water ($\rho_{FL} = 3g/cm^3$). A small cube is submerged in the salt water, with forces $F_A = 20N$ and $F_G = 1N$ indicated. On the right, a 'Notizblock' (notebook) contains a table:

Körper	Flüssigkeit	Kräfte	Verhalten	Beziehungen
Masse (m)		F_G	steigen	+
Volumen (V)		F_A	schweben	-
Dichte (ρ_K)	Eintauchtiefe	F_A		< > =
Höhe (h)		F_G		↑ ↓ ↻
Form				→ ← ×

Below the table is a diagrammatic workspace with boxes for 'Masse (m)', 'Volumen (V)', 'Dichte (ρ_K)', 'Dichte (ρ_{FL})', and 'sinken'. Arrows and mathematical symbols like ' $>$ ' and ' $<$ ' are used to connect these boxes, representing relationships between variables.

Abbildung 4.1: Screenshot der ursprünglichen Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten*

Gestaltung des neuen Hypothesenraums. Der Hypothesenraum der neuen Lernumgebung wurde dagegen als Flipchart gestaltet (vgl. Abbildung 4.2) und wird im Tutorial als *Ideentafel* bezeichnet. Auf dem Flipchart befinden sich bereits 13 Karteikarten auf denen relevante Konzepte des physikalischen Inhaltsbereich *Auftrieb in Flüssigkeiten* notiert sind, womit die Gesamtheit aller im Labor explorierbaren Zusammenhänge zwischen Variablen als eine Art *Conceptmap* (Hardy & Stadelhofer, 2006; Nesbit & Adesope, van Gog, et. al, 2009) dargestellt werden. Die Erfüllung dieses Kriteriums wurde vor der

Entwicklung der ersten Physik-Lernumgebung durch den Abgleich zweier Expertenmaps sichergestellt.

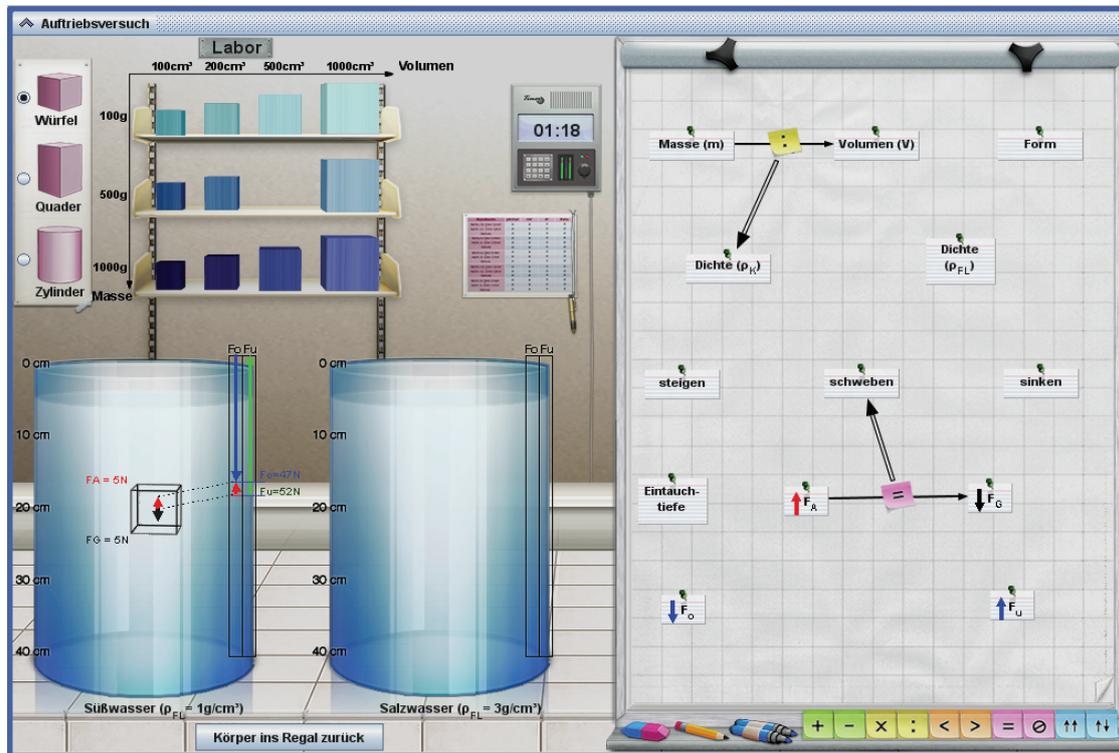


Abbildung 4.2: Screenshot der weiterentwickelten Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten*

Unten an dem Flipchart befindet sich eine Leiste mit 10 als Klebezettel gestalteten *Labels*, zwei Stiften und einem Radiergummi. Die Labels stellen unterschiedliche Möglichkeiten für die Spezifizierung von Zusammenhängen dar. Die ersten vier Labels können als mathematischer Operand einer der Grundrechenarten (+; -; x; :) und die folgenden drei zur Darstellung mathematischer Beziehungen (>; =; <) verwendet werden. Die letzten drei Labels dienen der Formulierung halb-quantitativer Beziehungen (Schecker, Klieme, Niederer, Ebach & Gerdes, 1999) zwischen zwei Variablen. Dazu gehören die beiden Symbole für eine positive und eine negative lineare Beziehung (z. B. „je größer desto kleiner“) sowie ein Symbol für einen nicht vorhandenen Zusammenhang. Die Bedeutung der unterschiedlichen Label und deren Verwendungsmöglichkeiten werden den Lernenden in dem Tutorial zur *Nutzung der Ideentafel* erläutert. Der einfache Bleistift dient dem Lerner zur Darstellung von Zusammenhängen (z. B. „FA“ > „FG“; vgl. Abbildung 4.3) und der doppelte Stift zur Darstellung von Ergebnissen („FA“ > „FG“ bedeutet „steigen“, vgl. Abbildung 4.3). Alle Materialien dieser Leiste dienen dem Lerner folglich zur grafischen Darstellungen von Zusammenhängen bzw. Hypothesen.

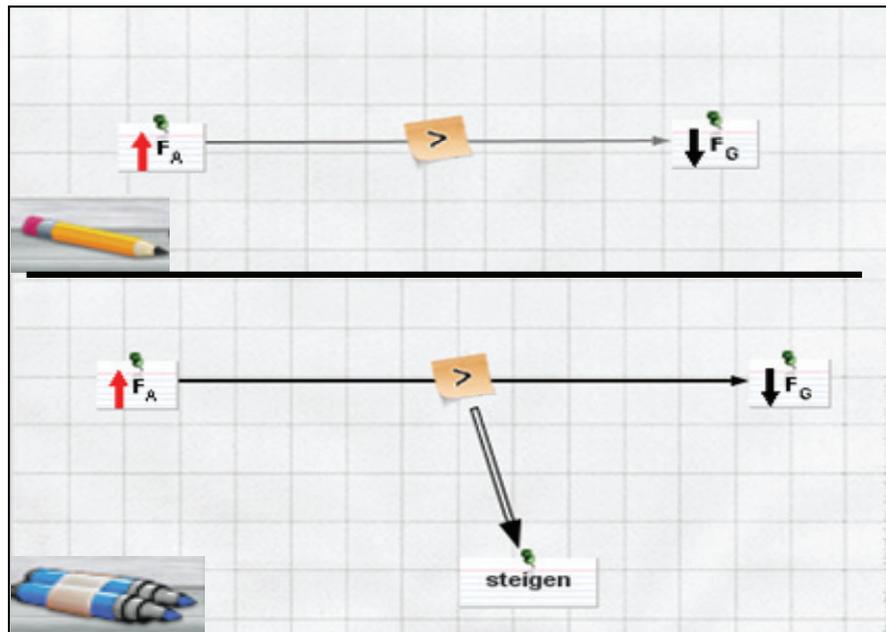


Abbildung 4.3: Nutzung der Tools im Hypothesenraum zur Erstellung von Zusammenhängen

Hypothesen generieren und Erkenntnisse integrieren. Der als Flipchart gestaltete Hypothesenraum soll nach Klahr und Dunbar (1988) den Lerner beim hypothesengeleiteten Experimentieren unterstützen. Darüber hinaus soll er dem Lerner die Möglichkeit geben, durch das *Mappen* von Relationen (Nesbit & Adesope, 2006; van Gog et al., 2009) Wissen zu elaborieren und in die Wissensbasis zu integrieren. Dabei kann das Flipchart als externer Wissensspeicher verstanden werden (Thillmann, 2008), da durch die externe Repräsentation der dargestellten Relationen das Arbeitsgedächtnis entlastet wird (Baddeley, 1992). Um Hypothesen zu notieren, muss der Lerner mit dem gelben Bleistift zwei der Konzepte auf dem Flipchart miteinander verbinden (siehe Abbildung 4.3). Dazu muss er durch einen einfachen Maus-Klick den Stift aktivieren und anschließend mit gedrückter Maustaste die beiden Karten auf dem Flipchart miteinander verbinden. Zwischen den beiden Karten ist dann ein Pfeil zu sehen, in dessen Mitte ein leeres Viereck ist. Um den dargestellten Zusammenhang zu spezifizieren, muss mit gedrückter Maustaste eines der Label aus der Materialleiste auf das leere Viereck des Pfeils gezogen werden. Den doppelten blauen Stift kann der Lerner verwenden, um das Ergebnis eines Zusammenhangs darzustellen. Dazu muss er diesen Stift mit einem einfachen Maus-Klick aktivieren und mit gedrückter linker Maustaste das Label des Zusammenhangs mit der Karte, auf der der Ergebnisbegriff steht, verbinden. 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 Karte oder dem Label zu der zweiten Karte 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 Maus-Klick auf das Label kann der Lerner das Blinken des Pfeils stoppen. Somit kann angegeben werden, dass der dargestellte Zusammenhang überprüft wurde und richtig ist. Es besteht auch die Möglichkeit ein Label auf einem Pfeil durch ein anderes Label zu ersetzen, indem mit gedrückter Maustaste das neue Label auf das bereits auf dem Pfeil stehende Label gezogen wird.

4.1.2 Experimenterraum als Labor

Experimenterraum. Der als Labor gestaltete Experimenterraum wurde gegenüber der ursprünglichen Lernumgebung (vgl. Thillmann, 2008) in zwei Punkten erweitert. Zunächst wurde rechts neben den Körpern zum Experimentieren eine Protokolltabelle hinzugefügt. Diese Tabelle ermöglicht den Lernenden die Angaben und Daten zu den letzten drei Experimenten noch einmal nachzulesen. Z. B. kann ein Lerner, nachdem er einen Körper in einen der Wassertanks (vgl. Abbildung 4.2) geworfen hat, in dieser Tabelle ablesen, welche Form, welches Gewicht und welche Dichte der ausgewählte Körper hatte. Zudem kann er auch sehen, welche Dichte das Wasser im ausgewählten Wassertank hatte und wie sich der Körper im Wasser verhielt.

Eine weitere Ergänzung in dieser Lernumgebung ist die Uhr, die sich oberhalb der Protokolltabelle befindet. Diese ermöglicht den Lernenden, die verbleibende Experimentierzeit abzulesen.

Experimentieren im Labor. Der als Labor gestaltete Experimenterraum soll dem Lerner durch das systematische Durchführen von Experimenten die Möglichkeit geben, neue Informationen, Gesetzmäßigkeiten und Regeln des dargestellten Inhaltsbereichs zu identifizieren (Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997). Um Experimente im Labor durchführen zu können, müssen Lernende einen Körper aus dem Regal per *drag-und-drop* über einen Wassertank ziehen und dann loslassen. Eine Animation zeigt dann, wie der Körper sich in der Flüssigkeit verhält. An den Kräftemessern werden dem Lerner die auf den Körper wirkenden Kräfte angezeigt. Die Daten und Ergebnisse der Experimente kann der Lerner in der oben beschriebenen Protokolltabelle noch einmal nachlesen.

4.1.3 Tutorials zum Experimente- und Hypothesenraum

Um den Lernenden mit der Bedienung der computerbasierten Lernumgebung vertraut zu machen, gibt es sowohl eine kurze Instruktion (Tutorials) zur Bedienung des Experimenterraums als auch zur Bedienung des Hypothesenraums. In der ursprünglichen Version dieser Lernumgebung wurden den Lernenden dazu computerbasierte Texte

präsentiert. Im Hypothesenraum-Tutorial gab es zusätzlich zu den Texten auch Übungen, in denen die Lernenden die Bedienung der einzelnen Elemente des Hypothesenraums kennen lernen sollten. Um das Arbeitsgedächtnis der Lernenden möglichst zu entlasten, wurden den Lernenden in den Tutorials der weiterentwickelten Version der Physik-Lernumgebung sowohl auditive als auch visuelle Informationen dargeboten (Mayer, 2009).

Das neue Tutorial zum Experimenterraum besteht aus Animationen und geschriebenen Text, d. h. auf der linken Bildschirmseite werden Animationen abgespielt, in denen die Bedienung der einzelnen Elemente des Experimenterraums demonstriert wird. Auf der rechten Bildschirmseite können die wichtigsten Aussagen der Animation mit- oder nachgelesen werden (siehe Abbildung 4.4). Es gibt die Möglichkeit sich jede einzelne Animation wiederholt anzusehen. Das Tutorial zum Hypothesenraum besteht ebenso aus Seiten mit Animationen (rechte Bildschirmseite) und geschriebenem Text (linke Bildschirmseite), beinhaltet darüber hinaus aber auch Seiten in denen der Lerner Übungen zum Einzeichnen von Zusammenhängen bzw. Hypothesen sowie Übungen zum Sichern von Erkenntnissen erledigen muss. Bei den Übungen wird das Flipchart, das im Tutorial *Ideentafel* genannt wird, auf der rechten Bildschirmseite angezeigt. Dazu werden dem Lerner auditiv und visuell (linke Bildschirmseite) Instruktionen gegeben. In beiden Tutorials und auf allen Seiten kann erst auf „weiter“ geklickt werden, wenn die Animation einmal vollständig abgespielt wurde bzw. die Übung korrekt gelöst wurde.

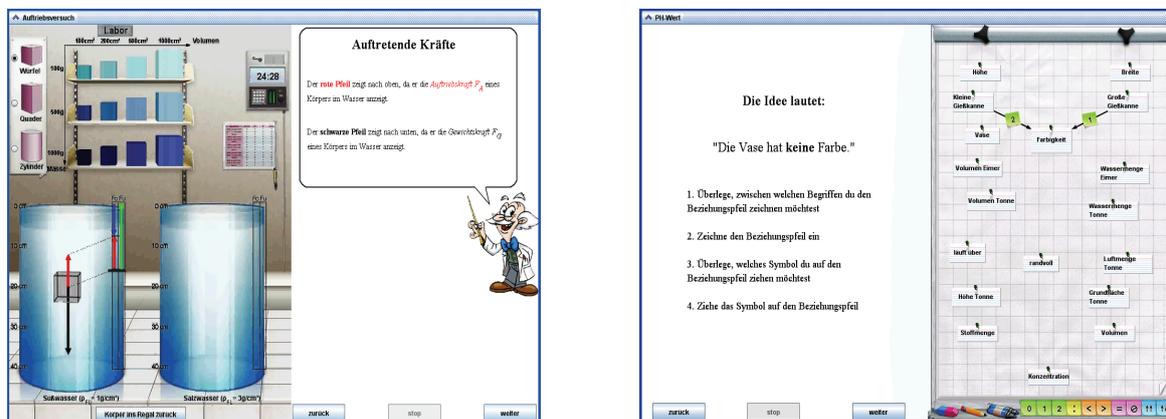


Abbildung 4.4: Screenshots der Tutorials zum Experimenterraum (links) und zum Hypothesenraum (rechts)

4.2 Computerbasierte Lernumgebung *Säuren und Basen*

Kriterien und Konzipierung. Unter der Berücksichtigung der gleichen Kriterien wie für die Entwicklung der Lernumgebung zum physikalischen Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* (vgl. Thillmann, 2008) wurde eine vergleichbare computerbasierte Lernumgebung zum

chemischen Inhaltsbereich *Säuren und Basen* entwickelt. Die Lernumgebung sollte zudem über Eigenschaften eines komplexen dynamischen Systems verfügen (Berry & Broadbent, 1988; Blech & Funke, 2005; Dörner, 1980; Dörner, et al., 1983; Dörner, et al., 1999; Funke, 1992, 2001, 2004; Leutner, 2003) und sollte die Möglichkeit bieten, die Anwendung relevanter Experimentierstrategien zur Entdeckung inhaltspezifischen Wissens (z. B. Chen & Klahr, 1999; Klahr & Dunbar, 1988; Künsting et al., 2008; Nesbit & Adesope, 1996; Njoo & de Jong, 1993b; Vollmeyer & Burns, 1996) verhaltensbasiert und unmittelbar aufzeichnen zu können (Jamieson-Noel & Winne, 2003; Wirth, 2004; 2005). Als erster Entwicklungsschritt wurde für die Chemie-Lernumgebung der Themenbereich *Säuren und Basen* gewählt, der Bestandteil des Chemiecurriculums in Nordrhein-Westfalen ist und somit eine hohe ökologische Validität erzielt werden kann. Dieser Themenbereich ist eigentlich aber für eine höhere Klassenstufe gedacht. Dies führt einerseits dazu, dass die Schwierigkeit und Komplexität des Themenbereichs entsprechend der Altersstichprobe (Sekundarstufe I) angepasst werden muss (Leutner, 1990). Andererseits bietet dies aber die Möglichkeit, den vollständigen Lernprozess beobachten zu können, da davon ausgegangen werden kann, dass die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden wird, wenn auf Schülerinnen und Schüler Bezug genommen wird der Einfachheit halber von Schülern gesprochen) zu diesem Themenbereich kein inhaltspezifisches Vorwissen aufweisen können.

Analog zur Physik-Lernumgebung wurde auch die Chemie-Lernumgebung basierend auf dem SDDS-Modell nach Klahr und Dunbar (1988) entwickelt. Wie in Abbildung 4.5 deutlich wird, wurde die Lernumgebung grafisch und funktionell so dargestellt, dass sie dem Lerner die Möglichkeit bietet das selbständig entdeckende Experimentieren als Interaktion zwischen dem Hypothesenraum und dem Experimenterraum zu gestalten. Der Experimenterraum der Lernumgebung bietet äquivalent zur Physik-Lernumgebung ebenfalls die Möglichkeit Variablen zu simulieren und zu visualisieren, die in der Realität nicht wahrnehmbar sind (de Jong, 1991; Thillmann, 2008; Wirth & Leutner, 2006), um so den Aufbau mentaler Modelle zu unterstützen (Mikelskis, 1997). Folglich bietet die Lernumgebung die Möglichkeit sowohl die Art der Flüssigkeit (Säure oder Base), die Protonigkeit, das Volumen und die Stoffmenge zu variieren, als auch freie Ionen in jeder Lösung oder Gemischen aus Lösungen exemplarisch zu beobachten.

Die Lernumgebung ist darüber hinaus so konzipiert, dass der verhaltensbasierte Strategieeinsatz wie in Abschnitt 2.4 beschrieben in ökonomischer Weise erfasst werden kann (Jamieson-Noel & Winne, 2003; Wirth, 2004). Jede Aktion eines Lerners wird dabei in Form einzelner Maus-Klicks mit präzisen Angaben zur durchgeführten Aktion sowie eines Zeitstempels in ein *logfile* gespeichert. Auf der Basis dieser Logfiles können verhaltensbasierte Maße zur Strategieranwendung gebildet werden, die die Möglichkeit bieten, die Anwendung von Strategien des Experimentierens, wie z. B. die Anwendung der

IVK-Strategie (Chen & Klahr, 1999; Künsting et al., 2008; Wirth, Meyer & Leutner, 2005), aber auch Fehler beim Inquiry-Prozess zu erfassen. Eine genauere Beschreibung der Maße folgt im Abschnitt 4.3.

Ebenso wie die Physik-Lernumgebung wurde auch die Chemie-Lernumgebung so gestaltet, dass sie für Lernende nach kurzen Instruktionen einfach zu bedienen ist. Im Experimenterraum der Lernumgebung können Lernende mit der Computermouse per *drag-and-drop* chemische Lösungen in ein Laborgefäß kippen und so Mischungen herstellen. Im Hypothesenraum kann der Lerner Beziehungen darstellen, indem er bereits präsentierte Konzepte des Themenbereichs mit Pfeilen verbindet. Diese können anschließend mit *Labels* (z. B. „je größer desto kleiner“ oder „geteilt“, etc.) spezifiziert werden.

Abbildung 4.5: Screenshot der Lernumgebung Säuren und Basen

4.2.1 Hypothesenraum als Flipchart

Gestaltung des Hypothesenraums. Der Hypothesenraum der Chemie-Lernumgebung wurde ebenfalls als Flipchart gestaltet (vgl. Abbildung 4.5), auf der bereits 18 Karteikarten mit den relevanten Konzepten des chemischen Inhaltsbereichs *Säuren und Basen* vorhanden sind (Hardy & Stadelhofer, 2006). Die Funktionalität des Hypothesenraums ist identisch zur Physik-Lernumgebung. Auch hier können die Konzepte mit Pfeilen verbunden werden, um Zusammenhänge darzustellen. Mittels der als Klebezettel gestalteten *Labels* können diese Zusammenhänge spezifiziert werden. Die Beschriftung der Labels ist allerdings geringfügig anders. Die ersten drei Labels (null; eins; zwei)

dienen hier dazu Wertigkeiten bezüglich der freien Ionen in den Lösungen darzustellen. Die folgenden vier Labels können einerseits als mathematischer Operand einer der Grundrechenarten (:) oder zur Darstellung mathematischer Beziehungen (>;=<) verwendet werden. Die letzten drei Labels dienen wie in der Physik-Lernumgebung der Formulierung halb-quantitativer Beziehungen (Schecker, et al., 1999) zwischen zwei Variablen.

4.2.2 Der Experimenterraum als Labor

Gestaltung des Experimenterraums. Wie in Abbildung 4.5 zu erkennen ist, befindet sich auf der linken Seite der computerbasierten Lernumgebung der grafisch als Labor gestaltete Experimenterraum. In dem Labor befindet sich unten rechts ein zunächst leeres Laborgefäß, an dem zwei Säulen angebracht sind, die, sobald eine Lösung in das Gefäß gekippt wird, die symbolische Anzahl der H^+ und OH^- Ionen einer Lösung anzeigen. Unterhalb des Gefäßes gibt es einen Knopf mit der Aufschrift „Gefäß leeren“, den der Lernende mit einem Maus-Klick nutzen kann, um das Gefäß wieder zu leeren. An dem Gerät neben dem Laborgefäß, kann der Lernende den pH-Wert der Lösung ablesen und ein Universalindikator zeigt die Art der Flüssigkeit (Säure oder Base) farblich an. Die Lupe, die sich links unten befindet, kann verwendet werden, um sich symbolisch die Teilchen der Lösung anzusehen. Oberhalb des Gefäßes befindet sich ein Regal mit vier Fächern. Ganz unten stehen vier Becher mit Wasser die von links nach rechts die Volumina 1,5l, 2l, 3l und 4l annehmen. Darüber stehen 12 Becher die ebenfalls von links nach rechts die Volumina 1,5l, 2l, 3l und 4l annehmen und von oben nach unten eine Stoffmenge von 0,1mol, 0,2mol und 0,3mol aufweisen. Somit haben alle Becher in einer Regalzeile dieselbe Stoffmenge und alle Becher in einer Regalspalte dasselbe Volumen. Mit einem einfachen Maus-Klick auf einen beliebigen Becher, wird dem Lernenden zusätzlich die Konzentration der Lösung angezeigt. Die Art der Lösung, die in den Bechern im Regal ist, kann der Lerner an der linken Seite neben dem Regal bestimmen, indem er auf eine der vier Flaschen klickt. Die vier Flaschen stehen für die Lösungen Salzsäure-Lösung, Natriumhydroxid-Lösung, Schwefelsäure-Lösung und Bariumhydroxid-Lösung und sind mit den chemischen Abkürzungen der jeweiligen Lösung gekennzeichnet. Rechts neben dem Laborgefäß gibt es eine Protokolltabelle, die sich mit einem doppelten Maus-Klick öffnen lässt. Hier können die Daten (Art der Lösung, Protonigkeit, Volumen, Stoffmenge und bei Mischungen das Mischergebnis) der letzten drei Experimente noch einmal nachgelesen werden. Wenn ein Lerner z. B. zwei Flüssigkeiten im Laborgefäß mischt, kann er anschließend in der Protokolltabelle noch einmal nachlesen, welches Volumen, Stoffmenge und Protonigkeit die ausgewählten Flüssigkeiten hatten und

welchen pH-Wert die Mischung hatte bzw. welche Farbe der Universalindikator angezeigt hat.

Auf der Uhr oberhalb der Protokolltabelle kann abgelesen werden, wie viel Zeit zum Experimentieren verbleibt.

Experimentieren im Labor. Der Experimenterraum soll dem Lerner auch hier durch das systematische Durchführen von Experimenten die Möglichkeit geben, neue Informationen, Gesetzmäßigkeiten und Regeln des dargestellten Inhaltsbereichs zu identifizieren (Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997). Um Experimente im Labor durchführen zu können, müssen Lernende einen Becher aus dem Regal per *drag-und-drop* über das Laborgefäß ziehen und dann loslassen. Eine Animation zeigt dann, wie die Lösung aus dem Becher in das Gefäß fließt. Gleichzeitig wird an den Säulen symbolisch angegeben, wie viele freie H^+ bzw. OH^- Ionen in der Lösung sind, wie groß der pH-Wert ist und welche Farbe der Universal-Indikator annimmt. Der Lerner hat danach die Möglichkeit eine weitere Lösung in das Laborgefäß zu kippen, um die beiden Lösungen zu mischen oder die Lösung wieder aus dem Gefäß zu entfernen. In dem Laborgefäß können maximal zwei Lösungen gemischt werden. Die Daten und Ergebnisse der Experimente kann der Lerner in der oben beschriebenen Protokolltabelle noch einmal nachlesen.

4.2.3 Tutorials zum Experimente- und Hypothesenraum

Um den Lernenden mit der Bedienung der computerbasierten Lernumgebung vertraut zu machen, gibt es auch für die Chemie-Lernumgebung sowohl ein Tutorial zur Bedienung des Experimenterraums als auch zur Bedienung des Hypothesenraums. Das Tutorial zum Experimenterraum besteht aus Animationen und geschriebenem Text, d. h. auf der linken Bildschirmseite, werden Animationen abgespielt, in denen die Bedienung der einzelnen Elemente des Experimenterraums demonstriert wird. Auf der rechten Bildschirmseite können die wichtigsten Aussagen der Animation mit- oder nachgelesen werden (vgl. Abbildung 4.4). Das Tutorial zum Hypothesenraum besteht ebenso aus Seiten mit Animationen (rechte Bildschirmseite) und geschriebenem Text (linke Bildschirmseite), beinhaltet darüber hinaus aber auch Seiten in denen der Lerner Übungen zum Einzeichnen von Zusammenhängen bzw. Hypothesen und zum Sichern von Erkenntnissen erledigen muss. Beide Tutorials enthalten sowohl auditive als auch visuelle Informationen, um die Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu reduzieren (Mayer, 2009).

4.3 Verhaltensbasierte Maße

Alle Eingriffe, die Lernende in den Lernumgebungen vornehmen, werden unmittelbar in ein Logfile gespeichert. Um die Anwendung von Strategien aus den im Logfile gespeicherten Daten extrahieren zu können, wurden basierend auf dem SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988) Verhaltensindikatoren für Experimentierstrategien gebildet. Diese wurden in Algorithmen in Form von Makro-Prozeduren umgesetzt. Die Algorithmen werden anschließend genutzt, um Maße für die Strategieanwendung und Fehler beim Experimentieren zu berechnen. Im Folgenden werden zunächst die Entwicklung der Algorithmen und Maße zu den Strategien und anschließend zu den Fehlern beschrieben.

4.3.1 Erfassung von Strategien des Experimentierens

Um das SDDS-Modell und damit die Effektivität der Interaktions-Strategie überprüfen zu können, sollen Maße für das systematische Suchen in einem der Räume (Experimente- oder Hypothesenraum) und die Interaktion zwischen den Räumen berechnet werden.

Für die Suche im Hypothesenraum wird ein Maß berechnet, das als *Mapping* bezeichnet wird. Dieses Maß kann allerdings nicht als Indikator für die Qualität der Suche im Hypothesenraum genutzt werden, da die Suche im Hypothesenraum sich erst mittels der Interaktion mit dem Experimenterraum als systematisch oder unsystematisch bewerten lässt. Für die Suche im Experimenterraum wird ein Maß berechnet, das als *systematisches Experimentieren* bezeichnet wird und im Gegensatz zum Mapping auch als Indikator für Qualität der Suche im Experimenterraum genutzt werden kann. Demnach wird im Folgenden lediglich das *systematische Experimentieren* als systematische Suche in nur einem der Räume berücksichtigt. Dies wird auch als legitim erachtet, da im *scientific discovery learning* maßgeblich das Identifizieren neuer Informationen durch Experimente betont wird (Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1998). Für die systematische Interaktion zwischen den beiden Räumen wird ein Maß berechnet, das als *Interaktion* bezeichnet wird. Darüber hinaus wird ein Maß für unsystematisches Experimentieren berechnet. Dadurch wird ermöglicht, die Effektivität der Anwendung interagierender Strategien mit isolierter Strategieanwendung bzw. unsystematischen Agieren zu vergleichen.

Im Folgenden werden die Ableitung der Verhaltensindikatoren und die Entwicklung der Algorithmen und Maße für die Strategien des systematischen Experimentierens, des Hypothesenaufstellens und der Interaktion beschrieben. Da sich der Algorithmen zur Berechnung von Maßen für die Strategien im Experimenterraum für die Physik-Lernumgebung von dem für die Chemie-Lernumgebungen unterscheidet, werden

zunächst die unterschiedlichen Algorithmen für das Experimentieren dargestellt und anschließend die Algorithmen, die für beide Lernumgebungen gleich sind.

4.3.1.1 Systematische Experimente *Physik*

Verhaltensindikatoren. Als systematischer Suchprozess im Experimenterraum soll einerseits die IVK-Strategie operationalisiert werden (vgl. Chen & Klahr, 1999, Klahr, 2000; Künsting et al., 2008; Kuhn, et al., 2000), die im Bereich des Experimentierens als prototypische Strategie des Identifizierens neuer Informationen betrachtet wird (vgl. Künsting, 2007; Thillmann, 2007). Ein besonderer Vorteil dieser Strategie liegt in der Eindeutigkeit ihrer Verhaltensindikatoren.

Da im Experimenterraum z. B. die Hypothese, dass ein Körper im Wasser schwebt, wenn die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) der Dichte des Körpers (ρ_K) entspricht, überprüft werden kann, indem die ρ_{FL} und die ρ_K konstant gehalten werden, das Volumen und die Masse aber variiert werden, sollte andererseits ein weiterer Verhaltensindikator gebildet werden. Mit solchen Experimenten kann gezielt ein Zustand zur Überprüfung einer Relation hergestellt werden, daher wird diese Strategie *isolierenden Relationenkontrolle* (IRK-Strategie) genannt.

Algorithmus. Zunächst konnte auf den von Künsting et al. (2008) entwickelten Algorithmus „IVK-between“ zur Erfassung der IVK-Strategie zurückgegriffen werden. Dieser Algorithmus listet vorab alle unabhängigen, in der Lernumgebung manipulierbaren Variablen (Masse M , Volumen V und Form des Körpers sowie Dichte der Flüssigkeit ρ_{FL}) sowie alle abhängigen, in der Lernumgebung beobachtbaren Variablen (Auftriebskraft F_A , Gewichtskraft F_G , die Kräfte F_u und F_o und das sichtbare Verhalten des Körpers, in den Ausprägungen *steigen*, *schweben* oder *sinken*) auf. Bei der Durchführung eines Experimentes werden die Ausprägungen der unabhängigen Variablen gespeichert. Ein IVK-Experiment wird immer dann registriert, wenn im zweiten zweier aufeinander folgender Experimente die Werte aller bis auf einer unabhängigen Variablen konstant gehalten werden. Der Algorithmus „IVK-between“ wurde dahingehend erweitert, dass IRK-Experimente registriert werden, wenn im zweiten zweier aufeinander folgender Experimente die Werte der Variablen Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) und Dichte des Körpers (ρ_K) konstant gehalten, die Variablen Masse M und Volumen V aber variiert werden.

Maß. Das Maß für die Strategie *systematische Experimente* wird aus der Anzahl der Experimente, die mit isolierender Variablenkontrolle oder Relationenkontrolle durchgeführt werden, berechnet. Zu diesen Experimenten wurde aber keine passende Hypothese notiert. Basierend darauf wird auch ein Maß für das *unsystematische Experimentieren* aus der Anzahl der Experimente, die ohne eine Experimentierstrategie durchgeführt wurden, berechnet.

4.3.1.2 Systematisches Experimente *Chemie*

Verhaltensindikatoren. Als Verhaltensindikator für einen systematischen Suchprozess im Experimenterraum soll einerseits die IVK-Strategie (vgl. Chen & Klahr, 1999, Klahr, 2000; Künsting et al., 2008; Kuhn, et al., 2000) und andererseits weitere Experimentierstrategien operationalisiert werden. Als weitere Verhaltensindikatoren sollen die so genannte HOTAT-Strategie (*hold one thing at time*; Tschirgi, 1980), die sich auf das konstant halten einer unabhängigen Variable bezieht, während alle anderen unabhängigen Variablen variiert werden und die IRK-Strategie (vgl. Abschnitt 4.3.1.1) operationalisiert werden. Die IRK-Strategie bezieht sich in der Chemie-Lernumgebung auf das Mischen von Lösungen. Auch die IVK-Strategie soll als Verhaltensindikator für systematisches Mischen beim Experimentieren herangezogen werden.

Algorithmus. Zur Erfassung der Nutzung dieser Strategien in der Chemie-Lernumgebung werden ebenso vorab alle unabhängigen, in der Lernumgebung manipulierbaren Variablen (Art der Flüssigkeit, Protonigkeit, Volumen V und Stoffmenge mol) sowie alle abhängigen, in der Lernumgebung beobachtbaren abhängigen Variablen (symbolische Anzahl der H^+ - oder OH^- - Ionen in der Lösung, pH-Wert, Farbe des Universalindikators und die beobachtbare entstanden Lösung, in den Ausprägungen *neutral*, *sauer* oder *basisch*) aufgelistet. Bei der Durchführung eines Experimentes werden die Ausprägungen der unabhängigen Variablen im Algorithmus gespeichert. Dazu wird bei Mischungen neben den Ausprägungen der unabhängigen Variablen, auch das Mischergebnis mit den Angaben der Farbe des Universalindikators, der H^+ und OH^- Ionen in der Lösung, des pH-Werts und dem Volumen V in das Logfile gespeichert.

Ein IVK-Experiment wird immer dann registriert, wenn im zweiten zweier aufeinander folgender Experimente die Werte aller bis auf einer unabhängigen Variablen konstant gehalten werden. IVK-Mischungen werden dagegen registriert, wenn bei zwei unterschiedlichen aufeinander folgenden Mischungen die Werte aller bis auf einer unabhängigen Variablen konstant gehalten werden. Ein HOTAT-Experiment wird immer dann registriert, wenn im zweiten zweier aufeinander folgender Experimente die Werte aller bis auf einer unabhängigen Variablen verändert werden und ein IRK-Experiment wird registriert, wenn mit zwei unterschiedlichen aufeinander folgenden Mischungen exakt dasselbe Mischergebnis erzeugt wird. Ein Beispiel für die Anwendung der IRK-Strategie ist das Herstellen von zwei Mischungen, die beide neutral sind, wobei aber eine Mischung mit einprotonigen Lösungen (Natriumhydroxid und Salzsäure) und eine mit zwei protonigen Lösungen (Bariumhydroxid und Schwefelsäure) hergestellt wurde.

Maß. Das Maß für die Strategie *systematische Experimente* wird aus der Anzahl der Experimente, die mit isolierender Variablenkontrolle, Relationenkontrolle oder HOTAT durchgeführt wurden, berechnet. Zu diesen Experimenten wurde aber keine passende

Hypothese notiert. Basierend darauf wird auch ein Maß für das *unsystematische Experimentieren* aus der Anzahl der Experimente, die ohne eine Experimentierstrategie durchgeführt wurden, berechnet.

4.3.1.3 Mapping-Strategie

Verhaltensindikator. Die systematischen Suchprozesse im Hypothesenraum können nur schwer als einzelstehende, unabhängige Prozesse vom Experimenterraum als systematisch operationalisiert werden. Dies kommt dadurch zustande, dass alle im Hypothesenraum notierten Zusammenhänge zunächst nur Vermutungen oder Annahmen darstellen, die es noch zu überprüfen gilt. Erst wenn zu dem notierten Zusammenhang ein systematisches Experiment ausgeführt wird, das die Annahme bestätigen oder widerlegen kann, kann von einer systematischen Aktion gesprochen werden. Wird die Annahme aber gar nicht oder mit einem unpassenden Experiment überprüft, kann die Aktion als unsystematisch bewertet werden. Hier werden als Verhaltensindikator alle notierten Zusammenhänge operationalisiert. Demnach wird die Qualität der Zusammenhänge nicht berücksichtigt.

Algorithmus. Der Algorithmus für das *Mapping* registriert, dass ein Zusammenhang auf dem Flipchart notiert wird, wenn zwei Konzepte (unabhängige und abhängige Variablen) mit einem Beziehungspfeil (vgl. Abschnitt 4.2.1) auf dem Flipchart verbunden werden oder zu dieser Beziehung ein Ergebnisfeld hinzugefügt wird.

Maß. Das Maß für die *Mapping-Strategie* wird aus der Anzahl der eingezeichneten Zusammenhänge berechnet. Dabei handelt es sich zwar um ein quantitativ berechnetes Maß (Wirth & Leutner, 2008), das aber nicht anhand von qualitativen Standards bewertet und demnach nicht als Indikator für die Qualität dieses Zusammenhangs genutzt werden kann.

4.3.1.4 Interaktions-Strategie

Verhaltensindikator. Als systematischer Suchprozess in beiden Räumen soll die Interaktion zwischen Hypothesen und systematischen Experimenten operationalisiert werden. Das bedeutet, dass die Passung zwischen notierten Hypothesen und durchgeführten systematischen Experimenten als Verhaltensindikator dient.

Algorithmus. Der Algorithmus für die Interaktion ist die Verknüpfung zwischen dem Algorithmus für systematische Experimente und dem Algorithmus für das Mapping. Es wird registriert, wenn zwischen notierten Zusammenhängen und vorangegangenen oder nachfolgenden systematischen Experimenten eine Passung vorliegt. Sobald ein systematisches Experiment registriert wird, wird dies im Algorithmus gespeichert. Zudem wird auch gespeichert, welche unabhängige Variable in den zwei aufeinander folgenden

Experimenten verändert wurde (z. B. die Masse des ausgewählten Körpers bzw. die Protonigkeit einer Lösung) oder ob es ein IVK-, IRK- bzw. HOTAT-Experiment ist. Dies ermöglicht zu überprüfen, ob ein systematisches Experiment zu einem notierten Zusammenhang passt und diesen testet. Der Algorithmus speichert bis zu drei systematische Experimente. Wird nach einem systematischen Experiment ein Zusammenhang eingezeichnet, so wird überprüft, ob eines der gespeicherten Experimente zu den gespeicherten Variablen des Zusammenhangs passt. Es können ebenfalls bis zu fünf notierte Zusammenhänge gespeichert werden. Dabei werden immer die Konzepte, die mit einem Pfeil verbunden wurden (z. B. „Masse“ und „Gewichtskraft“ oder „Natrium“ und „blau“) registriert und gespeichert. Wird nach einem oder mehreren notierten Zusammenhängen ein systematisches Experiment durchgeführt, so wird überprüft, ob einer der gespeicherten Zusammenhänge durch dieses Experiment überprüft wurde. Mit diesen beiden Überprüfungsmaßnahmen, ermöglicht es der Algorithmus die Interaktion zwischen dem Hypothesen- und Experimenterraum flexibel zu betrachten.

Für die Chemie-Lernumgebung wird der Algorithmus zusätzlich um eine weitere Interaktion erweitert. Da Beobachtungen in der Chemie eine große Bedeutung beim Experimentieren zugewiesen wird (Wahser, 2007), werden einzelne Experimente und Mischungen, die auch zu vorangegangenen bzw. nachfolgenden Zusammenhängen passen, ebenfalls als Interaktion gewertet. Wenn ein Lerner z. B. einen Becher mit der Base Natriumhydroxid in das Laborgefäß kippt, zeigt der Universalindikator die Farbe Blau an. Notiert der Lernende unmittelbar danach auf dem Notizblock „Natriumhydroxid gleich blau“, wird diese Aktion als Beobachtung und somit als Interaktion gewertet.

Maß. Das Maß für die Strategie *Interaktion* wird aus der Anzahl der systematischen Experimente, zu denen eine passende Hypothese notiert wurde, berechnet.

4.3.2 Erfassung von Fehlern beim selbständig entdeckenden Experimentieren

Um anhand der im Logfile gespeicherten Daten, die aus der Literatur abgeleiteten Schwierigkeiten mit dem selbständig entdeckenden Experimentieren (z. B. de Jong & van Joolingen, 1998) überprüfen zu können, wurden ebenfalls Verhaltensindikatoren für das Abweichen vom Experimentierzyklus und ein fehlerhaftes Anwenden von Strategien gebildet. Mit Hilfe der entwickelten Algorithmen konnten anschließend Maße für die Fehlertypen berechnet werden. Da die Algorithmen und die Berechnung der Maße für beide Lernumgebungen identisch sind, werden die Ableitung der Verhaltensindikatoren und die Entwicklung des Algorithmus und der Maße allgemein besprochen.

4.3.2.1 Abweichen vom Experimentierzyklus

Verhaltensindikatoren. Für den Fehlertyp *Abweichen vom Experimentierzyklus* werden vier verschiedene aus der Literatur (de Jong & van Joolingen, 1998) hergeleitete Fehlerarten operationalisiert. Eine häufige Fehlerart beim Abweichen vom Experimentierzyklus ist die fehlende Hypothesenbildung (Njoo & de Jong, 1993b). Weitere Verhaltensindikatoren werden für das *fehlende Experimentieren*, *fehlende Sichern von Ergebnissen* und das *Sichern von Ergebnissen ohne zuverlässige Experimentierbasis* gebildet

Algorithmus. Der Algorithmus für den Fehlertyp *Abweichen vom Experimentierzyklus* baut auf dem Algorithmus für die Interaktions-Strategie auf. Die Fehlerart der *fehlenden Hypothesenbildung* wird registriert, wenn nach einer Phase des explorierenden Experimentierens zum Identifizieren neuer Informationen (drei systematische Experimente) keine Hypothesen generiert, d. h. keine Zusammenhänge auf dem Flipchart (Hypothesenraum) notiert wurden. Die Fehlerart der *fehlenden Experimente* wird registriert, wenn nach einer Anzahl notierter Hypothesen (drei notierte Zusammenhänge) keine systematischen Experimente zu deren Überprüfung durchgeführt wurden. Das *fehlende Sichern von Ergebnissen* wird immer dann registriert, wenn generierte Hypothesen mit systematischen Experimenten überprüft wurden, aber anschließend (nach 5 oder mehr folgenden Aktionen), die Ergebnisse nicht gesichert wurden. Um ein Ergebnis zu sichern, muss der Lernende die schwach auf dem Flipchart blinkenden Pfeile mit einem doppelten Maus-Klick anklicken (vgl. Abschnitt 4.2.1). Somit kann angegeben werden, dass der dargestellte Zusammenhang überprüft wurde und richtig ist. Das *Sichern von Ergebnissen ohne zuverlässige Experimentierbasis* wird immer dann registriert, wenn generierte Hypothesen ohne systematische Überprüfung, gesichert wurden (siehe Abschnitt 4.1.1).

Maß. Das Maß für die Fehlerart *Fehlende Hypothesenbildung* errechnet sich aus dem Verhältnis der Anzahl der fehlenden Hypothesenbildungen zu allen bewerteten Eingriffen, bei denen der Fehler hätte auftreten können. Die bewerteten Eingriffe werden dabei als die Anzahl der systematisch durchgeführten Experimente definiert exklusive der zulässigen Explorationsphase zur Identifizierung neuer Informationen. Als bewertete Eingriffe werden nur die systematischen Experimente berechnet, da in den vorliegenden Maßen nur die Interaktion zwischen systematischen Experimenten und notierten Zusammenhängen berechnet wird. Dies könnte möglicherweise aber einen Einfluss auf die Validität dieses Maßes haben, wenn z. B. ein Lerner eine geringe Anzahl systematischer Experimente durchführt und sehr viele unsystematische Experimente aber auch zu den unsystematischen Experimenten keine passenden Hypothesen notiert. Somit gibt das Maß den Anteil fehlender Hypothesenbildung an allen systematischen

Experimenten wieder und kann Werte zwischen 0 (zu allen Experimenten werden Hypothesen generiert) und 1 (zu den systematisch durchgeführten Experimenten werden keine Hypothese generiert) annehmen.

Das Maß für die Fehlerart *Fehlende Experimente* lässt sich aus dem Verhältnis der Anzahl der fehlenden Experimente zu allen bewerteten Eingriffen, bei denen der Fehler hätte auftreten können, berechnen. Die bewerteten Eingriffe entsprechen dabei der Anzahl der notierten Zusammenhänge (Mapping-Strategie). Folglich stellt das Maß den Anteil fehlender Experimente an allen notieren Zusammenhängen dar und kann Werte zwischen 0 (zu allen Hypothesen werden Experimenten durchgeführt) und 1 (zu Hypothesen werden keine Experimente durchgeführt) annehmen.

Das Maß für die Fehlerart *Fehlende Ergebnissicherung* ergibt sich aus dem Verhältnis der Anzahl der fehlenden Sicherungen zu allen bewerteten Eingriffen, bei denen der Fehler hätte auftreten können. Die bewerteten Eingriffe sind dabei die Anzahl der Interaktionen zwischen den Aktionen im Experimente- und Hypothesenraum. Demnach gibt das Maß den Anteil fehlender Ergebnissicherungen an allen notieren Interaktionen wieder und kann Werte zwischen 0 (zu allen Interaktionen werden Ergebnisse gesichert) und 1 (die Ergebnisse der Interaktionen werden nicht gesichert) annehmen.

Die Berechnung des Maßes für die Fehlerart *Ergebnissicherung ohne zuverlässige Experimentierbasis* ergibt sich aus dem Verhältnis der Anzahl der Sicherungen ohne zuverlässige Experimentierbasis zu allen bewerteten Eingriffen, bei denen der Fehler hätte auftreten können. Die bewerteten Eingriffe ergeben sich aus der Anzahl der gesicherten Ergebnisse. Somit stellt dieses Maß den Anteil der Sicherungen ohne zuverlässige Experimentierbasis an allen Ergebnissicherungen dar und kann Werte zwischen 0 (alle Sicherungen der Ergebnisse erfolgen auf Basis einer zuverlässigen Experimentierbasis) und 1 (alle Sicherungen der Ergebnisse erfolgen ohne zuverlässige Experimentierbasis) annehmen.

4.3.2.2 Fehlerhafte Anwendung von Strategien

Verhaltensindikatoren. Für den Fehlertyp *fehlerhafte Anwendung von Strategien* werden drei verschiedene theoretisch aus der Literatur (de Jong & van Joolingen, 1998) hergeleitete Fehlerarten operationalisiert. Eine häufig auftretende Fehlerart ist das *unsystematische Experimentieren* (de Jong & van Joolingen, 1998). Hierfür wird bereits ein Maß mittels des Algorithmus für das systematische Experimentieren berechnet, welches an dieser Stelle übernommen wird (siehe Abschnitt 4.3.1.1/4.3.1.2). Weitere Verhaltensindikatoren werden für das *unsystematische Überprüfen von Hypothesen* und das *Sichern von Ergebnissen wider einer zuverlässigen Experimentierbasis* gebildet.

Algorithmus. Der Algorithmus für den Fehlertyp *fehlerhaft Anwendung von Strategien* baut auf dem Algorithmus für die Interaktions-Strategie auf. Die Fehlerart der *unsystematischen Überprüfen von Hypothesen* wird registriert, wenn nach dem Generieren einer Hypothese ein unsystematisches Experiment oder ein unpassendes IVK-Experiment zur Überprüfung durchgeführt wurde. Die Fehlerart *Sichern eines Ergebnisses wider einer zuverlässigen Experimentierbasis* wird registriert, wenn ein Ergebnis gesichert wurde, obwohl zu einer generierten Hypothese IVK-Experimente durchgeführt wurden, die die Hypothese nicht bestätigen bzw. widerlegen.

Maß. Die Berechnung des Maßes für die Fehlerart *unsystematisches Überprüfen von Hypothesen* errechnet sich aus dem Verhältnis der Anzahl der unsystematischen Überprüfungen von Hypothesen zu allen bewerteten Eingriffen, bei denen der Fehler hätte auftreten können. Die bewerteten Eingriffe bilden dabei die Anzahl der durchgeführten Experimente, die auf einen notierten Zusammenhang folgen. Das Maß für diese Fehlerart kann folglich einen Wert zwischen 0 (alle Hypothesen werden mit passenden, systematischen Experimenten überprüft) und 1 (keine Hypothese wird mit einem passenden, systematischen Experimenten überprüft) annehmen.

Das Maß für die Fehlerart *Ergebnissicherung wider einer zuverlässigen Experimentierbasis* wird aus dem Verhältnis der Anzahl der Ergebnissicherungen wider zuverlässiger Experimentierbasis zu allen bewerteten Eingriffen berechnet. Die bewerteten Eingriffe sind dabei die Anzahl der durchgeführten Experimente, die auf eine generierte Hypothese folgen. Das Maß für diesen Fehlertyp kann folglich einen Wert zwischen 0 (alle Hypothesen werden mit passenden, systematischen Experimenten überprüft) und 1 (keine Hypothese wird mit einem passenden, systematischen Experiment überprüft) annehmen.

Fazit: Die äquivalent zur computerbasierten Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* neu entwickelte computerbasierte Lernumgebung *Säuren und Basen* erfüllt durch den gewählten Inhaltsbereich, den formalen Aufbau, die Visualisierung der relevanten Variablen und die Möglichkeit der Aufzeichnung von Logfiles dieselben Kriterien, die bei der Physik-Lernumgebung berücksichtigt wurden (vgl. Thillmann, 2008). Dadurch können die Lernumgebungen als äquivalente Diagnoseinstrumente zur Überprüfung der Anwendung von Strategie und der Fehler beim Experimentieren eingesetzt werden. Insbesondere die Konzipierung der Lernumgebung als Experimente- und Hypothesenraum gemäß dem SDDS-Modell bietet die Möglichkeit der empirischen Überprüfung und die Generalisierbarkeit des SDDS-Modells vorzunehmen.

Dazu bieten die theoretisch hergeleiteten Verhaltensindikatoren und die entwickelten Algorithmen für die Strategieranwendung gemäß dem SDDS-Modell die Möglichkeit, die prozessnahen, im Logfile gespeicherten Daten analysieren zu können. Des Weiteren

können auch die theoretisch gebildeten Verhaltensindikatoren zu Fehlern beim Experimentieren genutzt werden, um das selbständig entdeckenden Experimentieren mittels Algorithmen zu analysieren und somit Maße zur Überprüfung des Einflusses verschiedener Fehlertypen auf die Lernwirksamkeit zu untersuchen.

5 Re-Analyse

Ziel der ersten Studie ist die Überprüfung des SDDS-Modells hinsichtlich des deklarativ-konzeptuellen Wissens und des Handlungswissens. Die Überprüfung verhaltensbasierter Experimentierdaten soll dabei anhand der entwickelten Algorithmen erfolgen. Dazu wurden Experimentierdaten re-analysiert, die von Künsting (2007) und Thillmann (2008) im Rahmen einer Evaluationsstudie mit der ursprünglichen Version der computerbasierten Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* (vgl. Abschnitt 4.1) erhoben wurden. Darüber hinaus soll auch der Einfluss von Fehlern beim Experimentieren auf den Lernerfolg ermittelt werden. Zur Überprüfung des SDDS-Modells wurden die gebildeten Maße für die Anwendung von Strategien (siehe Abschnitt 4.3.1) und zur Überprüfung des Einflusses von Fehlern beim Experimentieren auf den Lernerfolg die gebildeten Maße zu den Fehlertypen (siehe Abschnitt 4.3.2) eingesetzt.

5.1 Fragestellung und Hypothesen

Mit der Durchführung der Re-Analyse der Logfile-Daten werden zwei Ziele verfolgt. Erstens soll aus theoretischer Sicht vor dem Hintergrund des Defizits der empirischen Bestätigung des SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 1988) dieses Modell verifiziert werden. Dabei wird geprüft, ob sich die von Klahr und Dunbar (1988) postulierte Lernförderlichkeit der Interaktion zwischen dem Hypothesen- und Experimenterraum sowohl in Bezug auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen als auch für das erworbene Handlungswissen nachweisen lässt. Zweitens soll aus theoretischer Perspektive hinsichtlich der in Abschnitt 2.5.1 berichteten Probleme beim selbständig entdeckenden Experimentieren (de Jong & van Joolingen, 1998; Manlove, Lazonder & de Jong, 2006) ein aus der Literatur abgeleitetes Fehlermodell getestet werden. Dazu soll mittels der Maße zu den Fehlern geprüft werden, ob das Abweichen vom Experimentierzyklus und die fehlerhafte Anwendung von Strategien einen negativen Effekt auf den Lernerfolg haben. Insgesamt lassen sich aus den oben formulierten Fragen folgenden Hypothesen ableiten:

- H1 Die gemäß dem SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988) erfasste Strategieranwendung korreliert mit den Strategiewissensmaßen und es zeigt sich ein lernwirksamer Effekt der systematischen Strategieranwendung für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb und das Handlungswissen.
- H2 Das Abweichen vom Experimentierzyklus und die fehlerhafte Anwendung von Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren wirken sich negativ auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen und das erworbene Handlungswissen aus.

5.2 Verhaltensbasierte Maße

5.2.1 Strategieranwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren

Strategiemaße. Um die Anwendung der Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu erfassen, wurden die im Abschnitt 4.3.1. erläuterten logfile-basierten Maße für die Anwendung von Experimentierstrategien berechnet (Chen & Klahr, 1999; Klahr, 2000; Künsting et al., 2008; Tschirgi, 1980). Mit Hilfe der computerbasierten Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* wurde die Anwendung von Strategien in jeweils einem der Räume in Form der *Mapping-Strategie* (Hypothesenraum) und die Anwendung der systematischen Experimente (Experimenterraum) erfasst (vgl. Abschnitt 4.3.1.1). Das Maß für die Mapping-Strategie umfasst dabei die notierten Zusammenhänge in Hypothesenraum. Das Maß für die systematischen Experimente bezieht sich nur auf die systematischen Experimente, zu denen es keinen Bezug zum Hypothesenraum und demnach keine Interaktion gibt. Des Weiteren wurde ein Maß für die Interaktions-Strategie berechnet, das die Interaktion zwischen systematischen Experimenten und notierten Hypothesen erfasst.

Fehlermaße. Um darüber hinaus auch die Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren erfassen zu können, wurden die in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Maße zur Berechnung der Fehlertypen genutzt. Da die Studie mit der ursprünglichen Version der Physik-Lernumgebung durchgeführt wurde und es darin noch nicht die Möglichkeit gab Ergebnisse zu sichern, indem das Blinken eines Pfeils gestoppt wird (vgl. Abschnitt 4.2.1), konnten noch nicht alle Fehlerarten erfasst werden. Folglich wurden nur die Fehlerarten *fehlende Experimente*, *fehlende Hypothesen*, *unsystematische Experimente* und *unsystematische Hypothesen* erfasst. Darauf basierend wurden die Maße für das Abweichen vom Experimentierzyklus und die fehlerhafte Anwendung von Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren berechnet. Die Berechnung der Maße für die einzelnen Fehlerarten wird ebenfalls im Abschnitt 4.3.2 erläutert.

5.2.2 Strategiewissen zum selbständig entdeckenden Experimentieren

Das Strategiewissen der Lernenden wurde mit einem papierbasierten Strategiewissenstest zu Strategien des selbständig entdeckenden Experimentierens erfasst (Thillmann, 2008). Dieser Test bestand aus sechs Items, in denen Lernende aufgelisteten Handlungsalternativen vor dem Hintergrund einer jeweiligen Situationsbeschreibung und einer Zielvorgabe hinsichtlich ihrer Nützlichkeit beurteilen sollten. Dazu sollten die Lernenden jeder Handlungsalternative eine Schulnoten (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend) geben. Anhand nachträglich gebildeter *Quasi-Paarvergleiche* zwischen

Handlungsalternativen wird aus dem Verhältnis der Übereinstimmung der Beurteilung der Handlungsalternativen durch Lernende mit einem vorab aggregierten Expertenrating ein Strategiewissensscore gebildet (vgl. Ramm et al., 2006; Schlagmüller & Schneider, 2007). Dabei wurde zwischen Strategiewissen bezogen auf das Identifizieren von Informationen, das Integrieren von Informationen und die Anwendung der IVK-Strategie unterschieden. Für eine genaue Übersicht über die Punktevergabe wird auf die Arbeit von Thillmann (2008; S. 95) verwiesen.

5.2.3 Deklarativ-konzeptuelles Wissen

Zur Erfassung des deklarativ-konzeptuellen Wissens zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* wurde ein computerbasierter Multiple-Choice-Test mit insgesamt 25 Items verwendet (Künsting, 2007; Thillmann, 2008). Der Tests wurde zunächst vor der Lernphase mit der computerbasierten Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* eingesetzt, um das deklarativ-konzeptuelle Vorwissen zu erfassen (siehe Anhang A). Eine aus 17 identischen Anker-Items sowie 8 weiteren Items bestehende parallele Version dieses Tests wurde nach der Lernphase eingesetzt, um das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen zu erfassen (siehe Anhang A).

Der Test wurde nach dem Prinzip eines inhaltvaliden Tests konstruiert (Klauer, 1987), indem alle 14 relevanten und explorierbaren Relationen zwischen den unabhängigen und abhängigen Variablen der Lernumgebung (siehe Anhang C) berücksichtigt wurden. Aus der Gesamtheit aller abgebildeten Variablen sowie Relationen zwischen den Variablen wurde anschließend eine zufällige Auswahl getroffen, so dass zwei Arten von Items gebildet wurden: Items zur Überprüfung von Wissen über relevante Variablen und Items zur Überprüfung von Wissen über relevante Relationen zwischen Variablen. Ein Beispiel für ein Item, das das Wissen über relevante Variablen abfragt, ist „Das Volumen (V) eines Körpers meint sein räumliches Ausmaß und kann zum Beispiel in cm^3 ausgedrückt werden.“ Ein Beispiel für ein Item, anhand dessen eine Relation zwischen zwei relevanten Variablen abgefragt wird, ist „Ein Körper, dessen Dichte (ρ_K) genauso hoch ist wie die von Wasser (ρ_{FL}), schwebt im Wasser.“ Alle Items haben ein dreistufiges Antwortformat, das aus den Antwortalternativen *richtig*, *falsch* und *weiß nicht* besteht. Die Antwortoption *weiß nicht* wurde dabei eingeführt, um insbesondere bei fehlendem deklarativ-konzeptuellen Vorwissen die Ratetendenz zu minimieren. Der Score des deklarativ-konzeptuellen Wissens errechnet sich jeweils aus dem prozentualen Anteil korrekt beantworteter Items.

5.2.4 Handlungswissen

Um das erworbene Handlungswissen zum Themenbereich *Auftrieb in Flüssigkeiten* erfassen zu können, wurde ein computerbasierter Handlungswissenstest eingesetzt. Die 15 Problemlöseaufgaben des Handlungswissenstest werden den Lernenden in einem strukturell und funktional ähnlichen Labor wie in der Lernphase präsentiert (vgl. Künsting, 2007) und können mittels der Anwendung der zur Verfügung stehenden Materialien gelöst werden (siehe Abbildung 5.1). Der Test überprüft somit die Fähigkeit des Anwendens und Transferierens des in der Lernphase erworbenen Handlungswissens in einem neuen Anwendungsbereich. Die Problemlöseaufgaben werden den Lernenden dabei in ansteigender Schwierigkeit präsentiert, d. h. dass bei den ersten Aufgaben zunächst die neue Lernumgebung bedient, anschließend Gelerntes angewandt werden muss und bei den letzteren Aufgaben eine Transferleistung des Gelernten erforderlich ist. Ein Beispiel für Aufgaben des Handlungswissenstests, die auf die Bedienung der computerbasierten Lernumgebung Bezug nehmen, ist „Hefte den kleinsten Blei- und den größten Styroporkörper mit Hilfe der Heftmaschine zusammen!“. Die inhaltliche Anwendung des Gelernten wurde mit Aufgaben wie z. B. „Wirf einen einzelnen Hartgummikörper mit der größten Auftriebskraft (FA) ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte (ρ_{FL})!“ überprüft. Aufgaben wie z. B. „Bringe einen Bleikörper irgendwie zum Steigen!“ prüfen dahingegen den Transfer des zuvor Gelernten. Die Transferaufgaben verlangen, dass Lernende Konzepte wie z. B. das Konzept der *Mittleren Dichte* übertragen. Um beispielsweise die obengenannte Transferaufgabe lösen zu können, müssen Lernende an einen Bleikörper andere Körper mit entsprechend geringerer Dichte (z. B. Styroporkörper) anheften, so dass die mittlere Dichte des konstruierten Körperturms (ρ_K) kleiner als die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) ist.

Die Problemlöseaufgaben werden den Lernenden in dem neuen computerbasierten Labor für eine zuvor bestimmte maximale Dauer präsentiert. Löst ein Lerner die Aufgabe in der ihm zur Verfügung stehenden Bearbeitungszeit, so wird dies vom Programm erkannt und in ein Logfile als *gelöst* gespeichert. Dem Lerner wird zurückgemeldet, dass die Aufgabe korrekt gelöst wurde und anschließend wird automatisch die nächste Aufgabe eingeblendet. Löst ein Lerner die Aufgabe nicht, so wird die Aufgabe im Logfile mit *falsch* gespeichert. Dem Lerner wird dies ebenfalls zurückgemeldet und die nächste Aufgabe wird automatisch eingeblendet. Zusätzlich kann der Lerner selbst durch das Drücken eines *Weiter-Buttons* noch vor dem Bearbeiten einer Aufgabe zur nächsten Aufgabe übergehen, was im Logfile mit *abgebrochen* registriert wird. Der Score zum Handlungswissen errechnet sich aus dem prozentualen Anteil korrekt gelöster Aufgaben, der Werte von null bis eins annehmen kann.

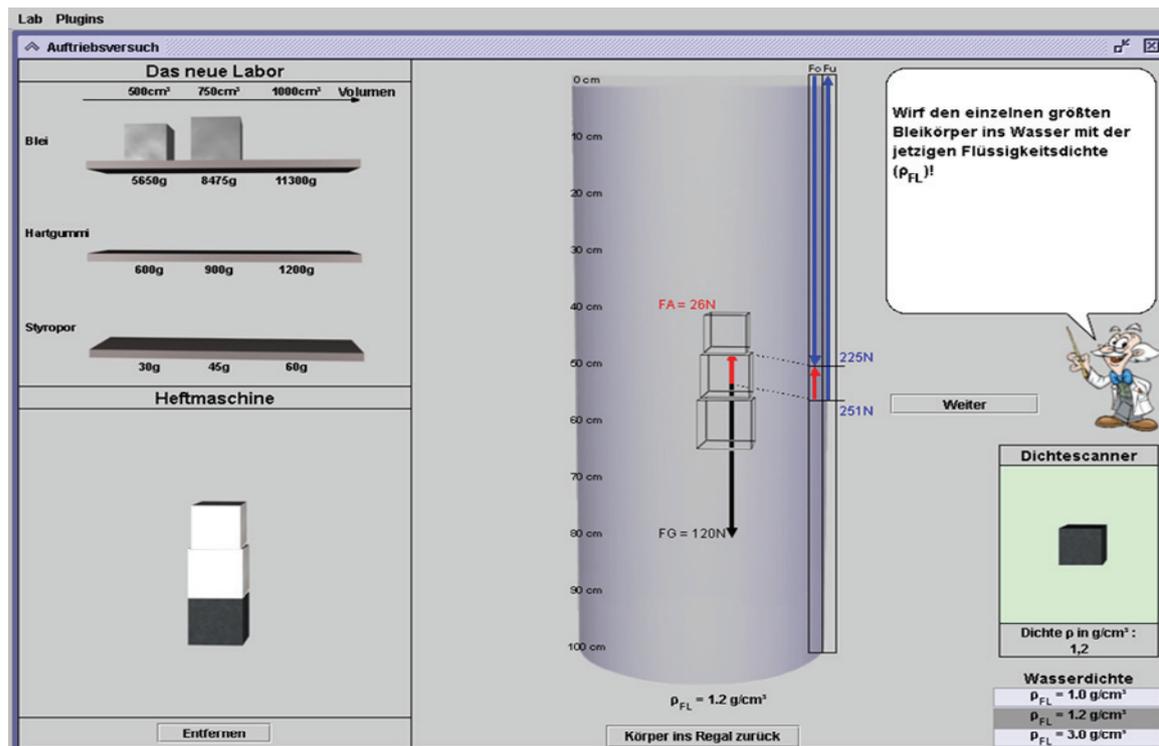


Abbildung 5.1: Screenshot des Handlungswissenstests aus dem Projekt *Diagnose und Förderung des Lernens und Problemlösens im naturwissenschaftlichen Unterricht*

5.2.5 Intelligenz

Die allgemeine Intelligenz wurde mit der Subskala *Figurale Analogien* des Kognitiven Fähigkeitstests 4-12+ von Heller, Gaedicke und Weinläder (1985) als ökonomischer Schätzer für die allgemeine Intelligenz erfasst. Aufgrund der hohen Ladung dieser Subskala auf dem g-Faktor der Allgemeinen Intelligenz (Heller & Perleth, 2000, S. 47) wurde diese non-verbale Subskala als ökonomischer Schätzer für die allgemeine Intelligenz eingesetzt. Die Subskala enthält 25 Items, die das räumlich-visuelle Schlussfolgern durch das Erkennen und Übertragen eines räumlichen Prinzips erfassen. Der Intelligenzscore ergibt sich aus dem Anteil korrekt beantworteter Items.

5.3 Selbstauskunftbasierte Maße

5.3.1 Motivation

Zur Erfassung der Motivation wurde der *Fragebogen zur Aktuellen Motivation* (FAM) von Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001) nach der Einführung in die Lernumgebung anhand der beiden computerbasierten Tutorials und der Arbeitsanweisung „Finde so viel wie möglich darüber heraus, wovon es abhängt ob ein Körper sinkt, schwebt oder steigt“ und somit unmittelbar vor der Lernphase eingesetzt. Die Lernenden müssen dabei ihre

aufgabenspezifische Motivation selbst einschätzen. Um eine möglichst kurze Unterbrechung des gesamten Ablaufs zu gewährleisten, wurden nur zwei der vier Subskalen (*Herausforderung* und *Interesse*) eingesetzt, die sich durch eine hohe Prädiktionskraft auf den Lernerfolg auszeichnen (Rheinberg, 2004). Ein Beispielitem für die Subskala *Herausforderung* lautet „Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.“ Ein Beispielitem für die Subskala *Interesse* lautet „Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.“ Diese beiden Subskalen enthalten insgesamt neun Aussagen, bei denen Lernende auf einer siebenstufigen Skala (1 = trifft nicht zu bis 7 = trifft zu) bewerten müssen, inwiefern die Aussage auf sie zutreffen. Der Score für die Motivation errechnet sich aus der mittleren Bewertung aller neun Items.

5.3.2 Interesse und demografische Variablen

Um das Interesse am Fach Physik ermitteln zu können, wurde ein Fragebogen von Baumert, Roeder, Sang und Schmitz (1986) eingesetzt, der bereits zur Erfassung des Interesses an verschiedenen Fächern eingesetzt wurde. Der Test zeichnet sich durch eine sehr gute Reliabilität und Validität und zudem durch eine hohe Ökonomie aus. Der Fragebogen besteht aus sechs Aussagen, bei denen Lernende auf einer vierstufigen Skala bewerten müssen, inwiefern die Aussagen auf sie zutreffen (1 = trifft gar nicht zu bis 4 = trifft völlig zu). Ein Beispiel für ein Item ist „In Physik würde ich gern mehr Unterricht haben“. Der Score für das Interesse am Fach Physik errechnet sich aus der mittleren Bewertung aller sechs Items.

Um bei den folgenden Analysen mögliche systematische Effekte demografischer Variablen überprüfen zu können, wurden die Lerner mittels eines selbstentwickelten Fragebogens zu ihrem Alter, ihrem Geschlecht sowie zu ihren letzten Zeugnisnoten in den Fächern Physik, Chemie, Biologie, Mathematik, Deutsch und Englisch befragt.

5.4 Stichprobe

An der Evaluationsstudie, die von Künsting (2007) und Thillmann (2008) durchgeführt wurde, nahmen insgesamt 436 Schüler der Sekundarstufe I aus drei Hauptschulen, vier Realschulen und zwei Gymnasien in NRW teil, die das Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* vorher im Unterricht noch nicht bearbeitet hatten. In der Studie mussten Schüler an zwei Testtagen selbständig mit unterschiedlichen computerbasierten Lernumgebungen arbeiten. Für die vorliegende Re-Analyse der Experimentierdaten aus der Evaluationsstudie wurden jedoch lediglich die Daten, die mit der Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* erhoben wurden, verwendet. Die Stichprobe dezimierte sich

ungewöhnlich stark aufgrund von Programmierfehlern, Systemabstürzen bzw. einem Nicht-Speichern der Experimentierdaten in den von der Lernumgebung produzierten Logfiles (vgl. Thillmann, 2008). Darüber hinaus konnten aufgrund von zu kurzen Explorationszeiten bzw. unvollständiger Anwendung der Lernumgebung (z. B. keine Anwendung des Hypothesenraums) nur die Daten von 255 Schülern für die Re-Analyse verwendet werden, die die Grundlage aller folgenden Angaben und Analysen bilden. Von den verbliebenen 255 Schülern waren 49.4% weiblich, 49.8% männlich und 0.8% machten keine Angabe zu ihrem Geschlecht. Die Schüler waren im Durchschnitt 15.1 Jahre alt ($SD = 0.91$) und die Stichprobe teilte sich in 19.6% Schüler von Hauptschulen, 32.2% Schüler von Gymnasien und 48.2% Schüler von Realschulen.

5.5 Generierung der Daten

Die durchgeführte Studie fand an zwei Testtagen statt (vgl. Künsting, 2007; Thillmann, 2008). Für die Re-Analyse wurden jedoch lediglich die Experimentierdaten des zweiten Testtages verwendet. Zusätzlich wurde die am ersten Testtag erhobene Intelligenz, das inhaltspezifische Vorwissen zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten*, das Interesse am Fach Physik und die Auskünfte zu den demografischen Variablen berücksichtigt. Anschließend wurden alle Experimentierdaten zunächst mit den in Abschnitt 4.3.1 erläuterten Algorithmen für die Anwendung von Experimentierstrategien analysiert. Im Anschluss daran erfolgte schließlich eine Analyse anhand der in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Algorithmen für die Fehler beim Experimentieren.

5.6 Ergebnisse

5.6.1 Deskriptivstatistik

Aus der deskriptiven Statistik wird deutlich, dass bei einer verbleibenden Stichprobe von $N = 255$ die Schwierigkeit aller eingesetzten Instrumente mit einem Mittelwert zwischen $M = .39$ und $M = .65$ angemessen ist. Die Mittelwerte für die neu entwickelten Strategiemäße liegen mit $.11 < M < .43$ teilweise deutlich darunter. Wie aus Tabelle 5.1 ersichtlich wird, ist insbesondere die Schwierigkeit der Interaktions-Strategie erhöht.

Daneben weist die Reliabilität, die im Sinne der internen Konsistenz mittels Cronbach's α überprüft wurde, für die Leistungs-, Strategiewissens-, Motivations- und Intelligenzmaße z. T. sehr zufriedenstellende Werte auf.

Zur Überprüfung der Reliabilität der mittels der Algorithmen berechneten Maße für Strategien und Fehler beim Experimentieren, wurden für jedes Maß zunächst drei zeitunabhängige Werte (Einheiten) berechnet. Die Zeitunabhängigkeit ist dabei relevant,

da angenommen wird, dass sich die Anwendung der unterschiedlichen Strategien und der Fehler beim Experimentieren über die Zeit verändert. Das bedeutet z. B. für das Maß systematische Experimente, dass alle durchgeführten Experimente der Reihe nach den zeitunabhängigen Einheiten zugewiesen werden. Dadurch entsteht für alle systematischen Experimente eine zufällige und zeitunabhängige Zuordnung zu diesen Einheiten. Die drei Einheiten gingen jeweils als *Items* in die Berechnung der internen Konsistenz ein. Wie Tabelle 5.1 zu entnehmen ist, weist Cronbach's α auch für die gebildeten Strategie- und Fehlermaße größtenteils zufriedenstellende bis sehr gute Werte auf ($.62 \leq \alpha \leq .91$). Nur das Maß für die Anwendung der Mapping-Strategie ($\alpha = .62$) liegt knapp unter dem akzeptablen Wert von $.70$ (vgl. Lienert & Raatz, 1998).

Tabelle 5.1: Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der Re-Analyse

Maß	<i>M</i>	<i>SD</i>	Entspricht in %	Reliabilität	Items
Inhaltswissen Prä	.483	.201		.745	20
Inhaltswissen Post	.509	.195		.699	18
Handlungswissen	.505	.279		.817	10
Strategiewissen Identifizieren	.605	.187		.772	18
Strategiewissen Integrieren	.542	.132		.733	17
Strategiewissen IVK	.626	.283		.745	6
Motivation	.472	.209		.866	9
Fachinteresse	.451	.252		.866	6
Intelligenz	.616	.205		.893	25
Systematische Experimente	11.980	10.539	40%	.907	3
Mapping-Strategie	3.365	2.026	43%	.620	3
Interaktions-Strategie	2.306	1.746	11%	.809	3
Fehlende Hypothesen	.650	.246		.907	3
Unsystematische Experimente	.602	.205		.760	3
Fehlende Experimente	.541	.289		.765	3
Unsystematische Hypothesen	.501	.355		.716	3

5.6.2 Testung des SDDS-Modells

Zur Überprüfung der Hypothese H_1 bezüglich der Lernwirksamkeit der Strategieranwendung gemäß dem SDDS-Modell erfolgte die verhaltensbasierte Erfassung (Wirth, 2004) der Anwendung von Experimentierstrategien im Logfile, die die Analyse der Häufigkeit der Strategieranwendung in den beiden Räumen ermöglicht nach der in Abschnitt 5.2.1. (vgl. auch Abschnitt 4.3.1.1) beschriebenen Operationalisierung.

5.6.2.1 Lernerfolg und Strategiewissen

Lernerfolg. Zunächst wurde überprüft, ob die computerbasierte Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* über eine ausreichende Lernwirksamkeit verfügt, um einen signifikanten deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb beim selbständig entdeckenden Experimentieren messen zu können. Ein lernwirksamer Effekt des selbständig entdeckenden

Experimentierens konnte im prä-post-Vergleich festgestellt werden ($t(254) = 2.13; p < .05; d = 0.14$).

Darüber hinaus konnten bedeutsame Zusammenhänge zwischen dem Anwenden von Experimentierstrategien und den Lernerfolgsmäßen mittels einer korrelativen Analyse gefunden werden (siehe Tabelle 5.2). Die korrelativen Analysen zeigten zwar, dass die erfasste Anwendung der Mapping-Strategie im Hypothesenraum nicht mit den Lernerfolgsmäßen (deklarativ-konzeptuelles Wissen und Handlungswissen) korreliert. Dies ist vor dem Hintergrund, dass die Mapping-Strategie kein Indikator für die inhaltliche Qualität einer Aktion ist (vgl. Abschnitt 4.3.1) nicht erwartungswidrig. Dagegen zeigen sich aber signifikante Zusammenhänge zwischen dem Maß für systematische Experimente und dem Maß für die Interaktions-Strategie mit den Lernerfolgsmäßen ($.176 < r > .442$).

Gegen die Erwartungen zeigte sich aber, dass systematische Experimente stärker mit dem deklarativ-konzeptuellen Wissen (post) bzw. deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb korrelieren als die Interaktions-Strategie. Der Wissenserwerb stellt dabei das standardisierte Residuum dar, das sich aus der regressionsanalytischen Vorhersage des deklarativ-konzeptuellen Wissens im Posttest durch das deklarativ-konzeptuelle Wissen im Prätest errechnet. Weitergehend zeigt sich, dass die Anwendung der Interaktions-Strategie mit dem Vorwissen zusammenhängt, was darauf hindeutet, dass ein höheres Vorwissen das Aufstellen von Hypothesen, als Grundlage für die Anwendung der Interaktions-Strategie, erleichtert. Die teilweise geringen Korrelationen der Strategieranwendung mit den Lernerfolgsmäßen sind auf die insgesamt geringe spontane Strategieranwendung zurückzuführen.

Die Korrelationen geben einerseits Hinweise darauf, dass die Strategieranwendung gemäß dem SDDS-Modell erfasst werden und andererseits als Indikator für die Relevanz des systematischen Agierens in einem der Räume und der Anwendung von interagierenden Strategien in beiden Räumen gesehen werden kann. Weitergehend zeigt sich, dass die Anwendung der Strategien im Gegensatz zum unsystematischen Experimentieren auch bedeutsam mit der Motivation zusammenhängt.

Strategiewissen. Darüber hinaus wird deutlich, dass das Strategiewissen zum Integrieren erwartungsgemäß mit dem Anwenden der Interaktions-Strategie, während das Strategiewissen zum Identifizieren dagegen erwartungsgemäß mit der Anwendung der Strategie des systematischen Experimentierens zusammenhängt (vgl. Thillmann, 2008). Auch wenn die gefundenen Korrelationen klein sind, können sie als Hinweise darauf gewertet werden, dass es sich bei den Mäßen um valide Maße handelt.

Tabelle 5.2: Interkorrelationen der Leistungs-, Strategie- & Intelligenz-Maße

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12
1. Unsystematische Experimente	1											
2. Mapping-Strategie	.201**	1										
3. Systematische Experimente	.272**	.291**	1									
4. Interaktions-Strategie	-.069	.205**	.101	1								
5. Deklarativ-konzeptuelles Wissen (Prä)	-.078	-.074	.083	.221**	1							
6. Deklarativ-konzeptuelles Wissen (Post)	-.039	.019	.249**	.176**	.533**	1						
7. Deklarativ-konzeptueller Wissenserwerb	.001	.066	.245**	.077	.037	.865**	1					
8. Handlungswissen	.116	.048	.315**	.442**	.457**	.438**	.246**	1				
9. Intelligenz	.006	-.054	.215**	.216**	.351**	.378**	.238**	.428**	1			
10. Strategiewissen Identifizieren	.007	-.027	.118	.054	.336**	.345**	.210**	.334**	.298**	1		
11. Strategiewissen Integrieren	-.053	.014	.060	.128*	.273**	.307**	.201**	.251**	.302**	.438**	1	
12. Strategiewissen IVK	-.096	-.076	.112	.150*	.350**	.330**	.181**	.253**	.258**	.664**	.364**	1

* $p < .05$; ** $p < .001$

5.6.2.2 Lernwirksamkeit der Interaktions-Strategie

Varianzanalysen. Um zu überprüfen, ob der im SDDS-Modell postulierte lernwirksame Effekt der Interaktions-Strategie mittels der Strategiemasse aufgezeigt werden kann, wurde unter Berücksichtigung des Vorwissen geprüft, ob die Anwendung der Interaktions-Strategie einen größeren Effekt auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen (post) hat als systematische Experimente oder unsystematische Experimente. In einem allgemeinen linearen Modell zeigte sich für den deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg kein zusätzlicher Effekt der Interaktions-Strategie gegenüber dem systematischen Experimentieren. Es zeigte sich lediglich ein signifikanter Haupteffekt für die Anwendung des systematischen Experimentierens mit einem kleinen Effekt ($F(1,250) = 15.02$; $p < .001$; partielles $\eta^2 = .057$). Ein zusätzlicher lernförderlicher Effekt der Anwendung der Interaktions-Strategie konnte aber für das Handlungswissen nachgewiesen werden. Es zeigte sich hier sowohl ein signifikant negativer Haupteffekt für das unsystematische Experimentieren ($F(1,250) = 4.55$; $p < .05$; partielles $\eta^2 = .018$), darüber hinaus ein signifikanter Haupteffekt für das systematische Experimentieren ($F(1,250) = 18.27$; $p < .001$; partielles $\eta^2 = .068$) und darüber hinaus ein signifikanter Haupteffekt für das Anwenden der Interaktions-Strategie ($F(1,250) = 47.05$; $p < .001$; partielles $\eta^2 = .158$).

Pfadmodelle. Wie in Abbildung 5.2 dargestellt konnte zusätzlich mittels Pfadmodellen gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung des Vorwissens und der Motivation, alle Variablen einen eigenständigen Beitrag zur Erklärung des Handlungswissens leisten. Wie erwartet zeigte sich, dass die Anwendung der Interaktions-Strategie ($b = .34$, $p < .01$) nach dem Vorwissen einen stärkeren Einfluss auf das Handlungswissen hat als das systematische Experimentieren ($b = .22$, $p < .01$) und das unsystematische Experimentieren ($b = .11$, $p < .05$).

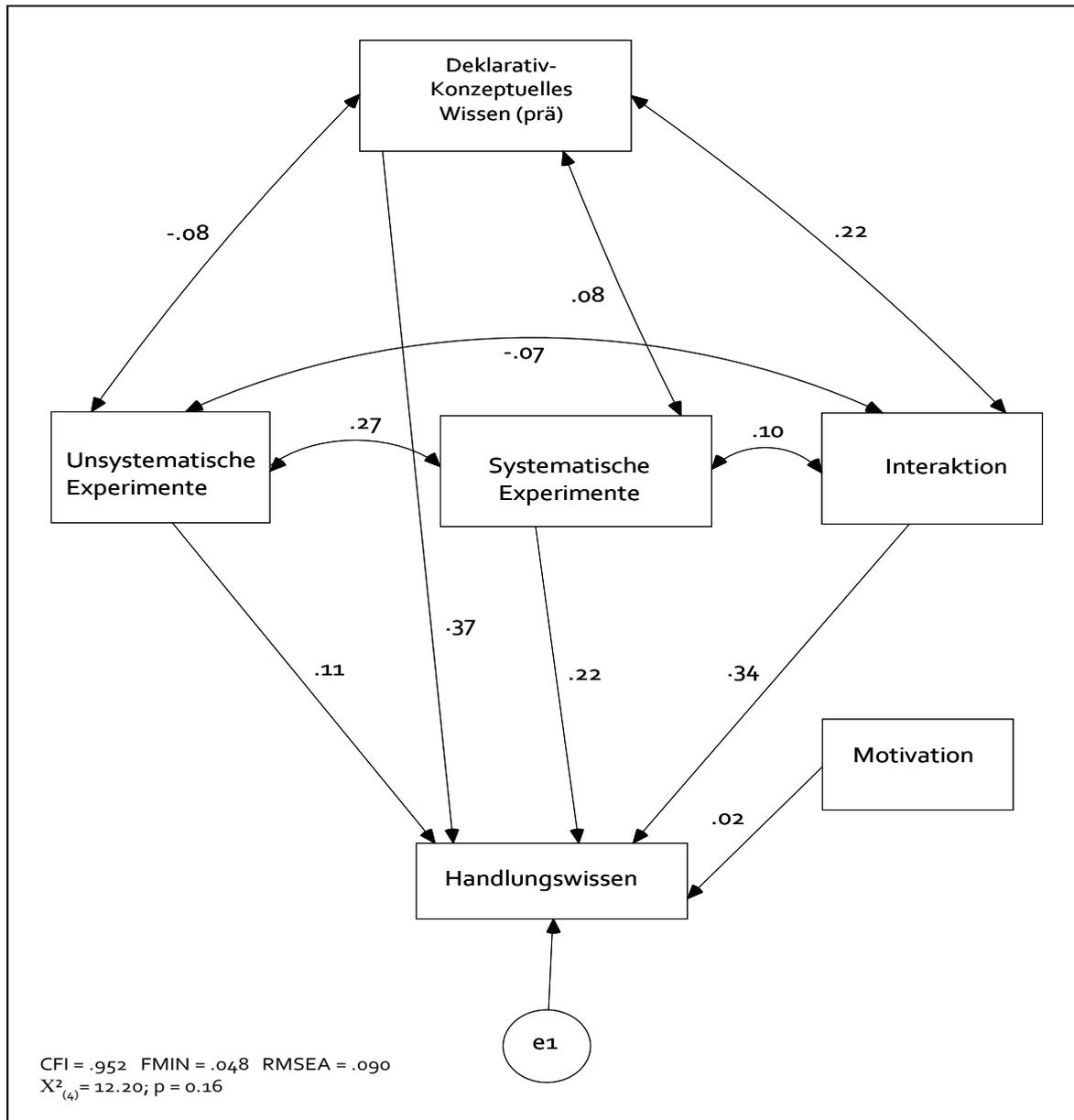


Abbildung 5.2: Pfadmodell (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Interaktion beider Räume auf das Handlungswissen)

Wie sich bereits in dem allgemeinen linearen Modell andeutete, zeigt sich auch mittels eines Pfadmodells (siehe Abb. 5.3), dass die Anwendung der Interaktions-Strategie nicht der stärkste Prädiktor für das deklarativ-konzeptuellen Wissens (post) ist. Gegen die Erwartungen zeigte sich, dass das systematische Experimentieren ($b = .22, p < .01$) den stärksten Einfluss auf das deklarativ-konzeptuelle Wissens (post) hat. Die Anwendung der Interaktions-Strategie sowie das unsystematische Experimentieren haben nur einen geringen Einfluss.

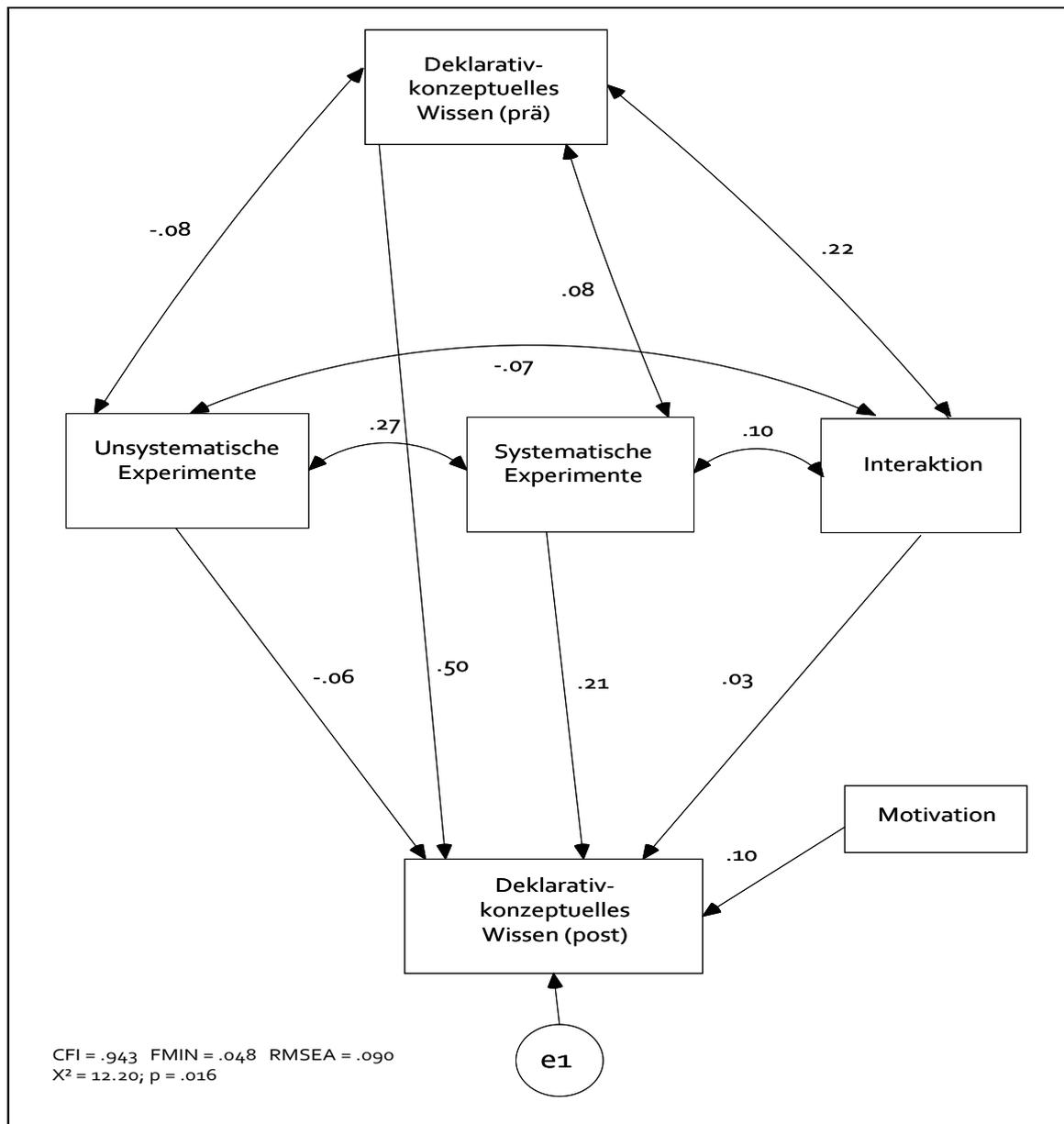


Abbildung 5.3: Pfadmodell (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Interaktion beider Räume auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen)

Eine Erklärung für diesen erwartungswidrigen Befund könnte eine sehr hohe Ratewahrscheinlichkeit sein, wodurch nicht scharf genug zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Experimentierern unterschieden werden kann. Obwohl der Test des inhaltspezifischen Wissenserwerbs mit Cronbach's $\alpha = .71$ eine zufriedenstellenden Reliabilität und eine angemessene Schwierigkeit ($M = .51$, $SD = .22$) aufweist, zeigte sich, dass das Antwortformat *weiß nicht* selten genutzt wurde. Im deklarativ-konzeptuellen Vorwissenstest wurde die Antwort *weiß nicht* im Schnitt nur in 28.38% der Fälle angeklickt und die Schwierigkeit war, im Hinblick auf das eigentlich nicht vorhandene Wissen zu dem Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten*, relativ hoch ($M = .48$; $SD = .20$). So lässt sich vermuten, dass die Schwierigkeit der Aufgaben des inhaltspezifischen Wissenstest zu

gering ist, um die Notwendigkeit und Effektivität des Anwendens der Interaktions-Strategie abbilden zu können.

Zusammenfassend ist es mit den neu entwickelten Maßen gelungen die Lernförderlichkeit der Interaktions-Strategie gemäß dem SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988) aufzuzeigen. Dies bezieht sich allerdings nur auf das Lernerfolgsmaß des Handlungswissens. Folglich kann die Hypothesen H1 nur teilweise bestätigt werden.

5.6.3 Testung des Fehler-Modells

Nach Manlove et al. (2006) haben Lerner häufig Schwierigkeiten mit dem selbständig entdeckenden Experimentieren, was folglich den Lernerfolg verringern könnte. De Jong und van Joolingen (1998) haben in einem Literaturreview Fehler bezüglich aller Strategien beim Experimentieren bzw. des Experimentierzyklus dokumentiert (vgl. Abschnitt 2.5.1). Die verhaltensbasierte Erfassung der Anwendung von Experimentier-Strategien im Logfile (Künsting et al., 2008; Wirth, 2004) ermöglicht auch hier, die Häufigkeit der Fehler bei der Strategieranwendung zu analysieren. Dabei wurden für die Fehler, die in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Operationalisierungen angewandt. Wie in Tabelle 5.1 erkennbar ist, zeigte sich, dass auch beim selbständig entdeckenden Experimentieren in dieser Studie alle Fehlertypen häufig vorkommen.

Um die in Hypothese H2 formulierte Annahme zu testen, dass sich das Abweichen vom Experimentierzyklus und die fehlerhafte Anwendung von Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren negativ auf das deklarativ-konzeptuellen Wissen und das Handlungswissen auswirkt, wurden die vier Fehlerarten in zwei Fehlertypen unterteilt. Unterschieden werden dabei Fehler, die sich auf das *Abweichen vom Experimentierzyklus* (fehlende Experimente/Hypothesen) bzw. auf Fehler, die sich auf das *fehlerhaftes Anwenden von Strategien* (unsystematische Experimente/Hypothesen) beziehen.

5.6.3.1 Lernerfolg und Strategiewissen

Aus den Korrelationen zwischen den Maßen für die Fehler beim Experimentieren mit den Skalen des Strategiewissenstest wird deutlich, dass angenommen werden kann, dass Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren mit einem fehlenden Strategiewissen erwartungsgemäß zusammenhängen. Wie in Tabelle 5.3 deutlich wird, zeigen sich erwartungsgemäß überwiegend negative Korrelationen zwischen den Fehlern beim selbständig entdeckenden Experimentieren und dem Strategiewissen. Bedeutsame negative Korrelationen zeigen sich jedoch lediglich für das unsystematische Experimentieren. Dies deutet darauf hin, dass das unsystematische Agieren stärker durch mangelndes Strategiewissen geprägt ist als das Abweichen vom Experimentierzyklus.

Tabelle 5.3: Interkorrelationen der Fehler- & Strategiewissensmaße

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1. Fehlende Hypothesen	1							
2. Unsystematische Experimente	-.006	1						
3. Fehlende Experimente	-.190**	.097	1					
4. Unsystematische Hypothesen	-.028	.246**	.244**	1				
5. Strategiewissen	.021	-.183**	-.025	-.027	1			
6. Strategiewissen Identifizieren	-.026	-.162**	.013	-.094	.900**	1		
7. Strategiewissen Integrieren	-.052	-.156*	.017	-.048	.636**	.438**	1	
8. Strategiewissen IVK	-.038	-.245**	.077	-.091	.610**	.664**	.364**	1

$p < .05$; ** $p < .001$

5.6.3.2 Einfluss der Fehler auf den Lernerfolg

Wie Abbildung 5.4 entnommen werden kann zeigte sich in einem Pfadmodell, dass die fehlerhafte Anwendung von Strategien unter Berücksichtigung des Vorwissens und der Motivation einen negativen Einfluss ($b = -.24$, $p < .01$) auf das erworbene Handlungswissen hat. Das Abweichen vom Experimentierzyklus hat dagegen keinen Einfluss auf das erworbene Handlungswissen.

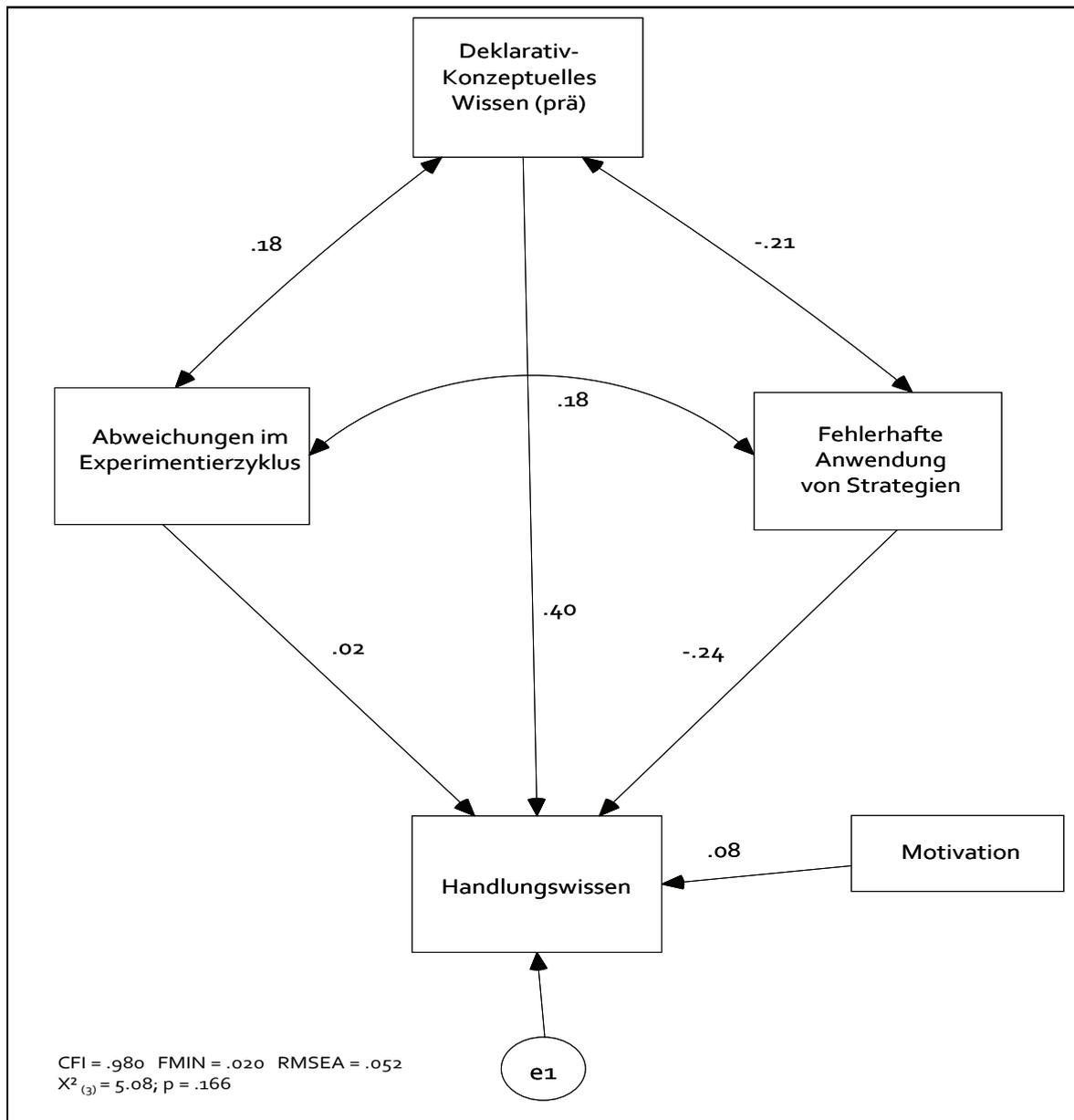


Abbildung 5.4: Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das Handlungswissen)

Wie in Abbildung 5.5 zu sehen ist, zeigt sich auch bei einem Pfadmodell für das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen unter Berücksichtigung des Vorwissens und der Motivation, ein geringer Einfluss des Abweichens vom Experimentierzyklus. Auch der Einfluss der fehlerhaften Anwendung von Experimentierstrategien auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb ist knapp nicht signifikant ($b = -.08, p = .06$).

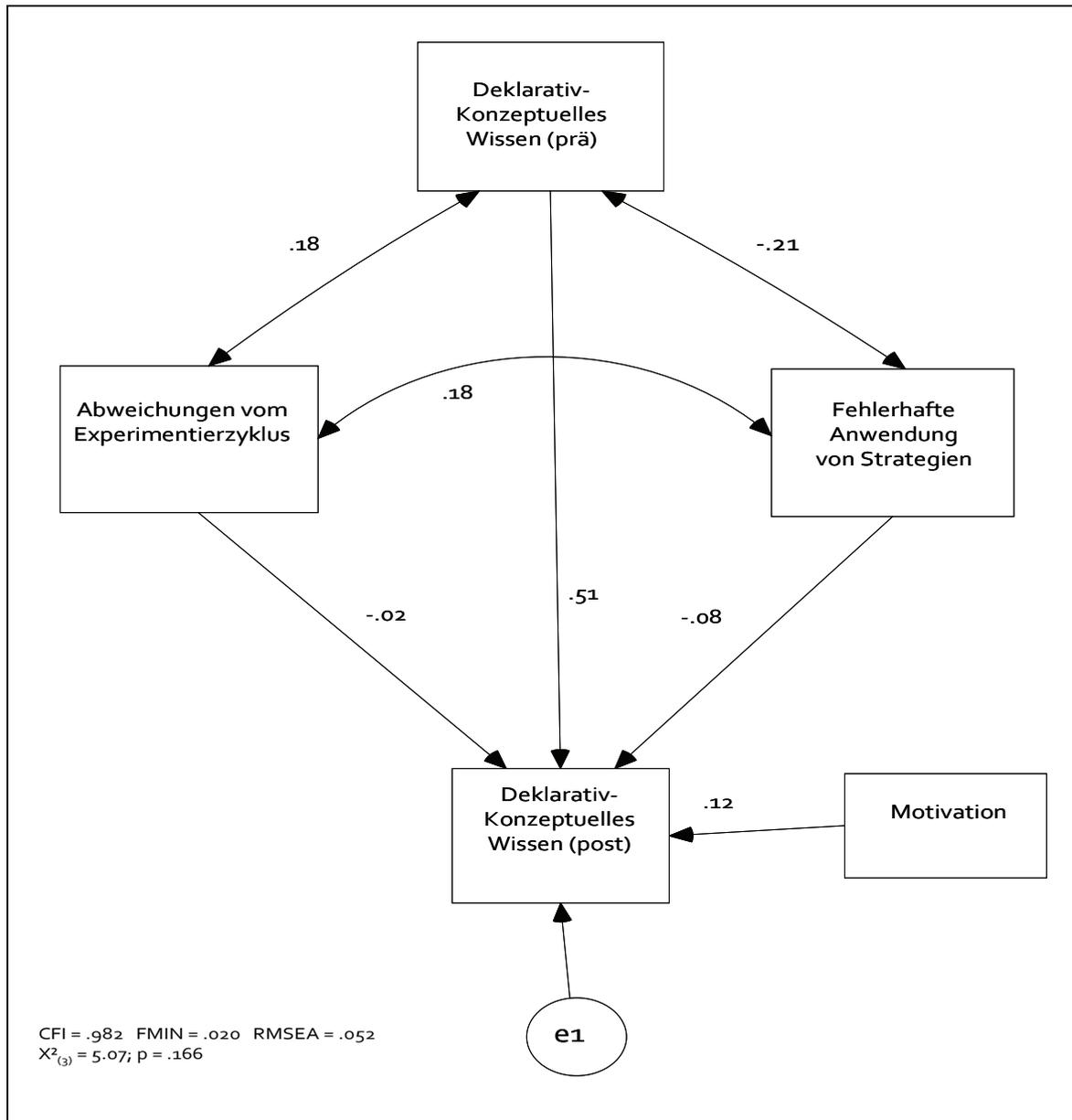


Abbildung 5.5: Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen)

Zusammenfassend zeigt sich, dass Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren häufig vorkommen. Einen negativen Einfluss auf den Lernerfolg haben insbesondere Fehler, die sich auf das unsystematische Anwenden von Strategien beziehen, d. h. das Prozesse oder *Suchen* in einem der beiden Räume (Klahr & Dunbar, 1988) beim Experimentieren fehlerhaft ausgeführt werden. Folglich kann Hypothese H2 teilweise bestätigt werden und das gezeigte Fehlermodell kann als Grundlage für die weitere Überprüfung des Modells genutzt werden.

5.7 Diskussion

Zusammenfassend konnte anhand der Re-Analyse der Logfile-Daten gezeigt werden, dass die Anwendung der Interaktions-Strategien gemäß dem SDDS-Modell mit dem erworbenen Handlungswissen erwartungsgemäß zusammenhängt. In Übereinstimmung mit den Befunden von Azevedo et al. (2004) sowie de Jong und van Joolingen (1998) zeigte sich aber, dass die spontane Anwendung von Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren gering ist und Fehler häufig vorkommen. Insbesondere interagierende, sich gegenseitig beeinflussende Suchen im Hypothesen- und Experimenterraum kommen spontan selten vor.

Aus methodischer Perspektive konnten in der Re-Analyse erwartungsgemäß keine Korrelationen zwischen dem Anwenden der Mapping-Strategie und den Lernerfolgs- oder Strategiewissensmaßen gefunden werden. Dies ist möglicherweise in der Tatsache begründet, dass allein auf Basis einer Suche im Hypothesenraum kein Urteil über die inhaltliche Qualität dieses Prozesses gebildet werden kann (vgl. Abschnitt 4.3.1). Folglich lässt sich die Qualität der Anwendung von Strategien im Hypothesenraum nur im Maß der Anwendung der Interaktions-Strategie erfassen. Zur empirischen Überprüfung des SDDS-Modells wurde deshalb zur Erfassung der systematischen Strategieverwendung in nur einem der Räume lediglich das systematische Experimentieren und nicht die Mapping-Strategie operationalisiert.

Um dennoch einen Indikator für die Qualität des Mapping zu erlangen, könnte zusätzlich der Anteil der notierten Zusammenhänge, die sich auf die 14 relevanten Relationen beziehen (siehe Anhang C), von allen notierten Zusammenhängen ermittelt werden. Dafür bedarf es einer Erweiterung des Algorithmus zur Berechnung des Maßes für die Mapping-Strategie. Bei dieser Erweiterung muss registriert werden, ob eine notierte Relation eine der 15 relevanten Relationen ist oder nicht. Die Unterscheidung von relevanten und nicht relevanten notierten Zusammenhängen kann dann als Indikator für die Qualität des Mapping gewertet werden.

Um eine generell häufigere Anwendung des Hypothesenraums in Form der Mapping-Strategie und Interaktions-Strategie anzuregen, soll eine optisch attraktivere Gestaltung des Hypothesenraums vorgenommen werden. Dies soll in folgenden Studien dazu führen, dass sowohl die Anwendung der Strategien als auch deren Erfassung optimiert werden.

Aus methodischer Perspektive konnte des Weiteren mittels der Re-Analyse der Logfile-Daten gezeigt werden, dass sich die in Hypothese H1 formulierte, theoretisch aus dem SDDS-Modell angenommene Lernförderlichkeit der Anwendung interagierender Strategien abbilden lässt. Weitergehend zeigen sich erste Hinweise für eine empirische Bestätigung des *Scientific Discovery as Dual Search*-Modells (Klahr & Dunbar, 1988). In Bezug auf die Hypothesen H1a und H1b muss dennoch ein differenziertes Resümee

gezogen werden, da sich die theoretischen Annahmen des SDDS-Modells nur hinsichtlich des Handlungswissens, aber nicht hinsichtlich des deklarativ-konzeptuellen Wissens bestätigen lassen. Der stärkste Prädiktor für den Erwerb des Handlungswissens war unter Berücksichtigung des Vorwissens und der Motivation die Anwendung der Interaktions-Strategie. Das bestätigt die Annahme, dass eine interagierende Suche in beiden Räumen zu einer größeren Effektivität des Lernens führt (Klahr & Dunbar, 1988; Simon & Lea, 1974; Vollmeyer & Burns, 1996). Ebenso stehen diese Erkenntnisse im Einklang mit den Befunden aus der Studie von Wahser und Sumfleth (2008) zu realen Experimenten in Kleingruppen. Darüber hinaus ist der gefundene Zusammenhang zwischen der Interaktions-Strategie und dem erworbenen Handlungswissen mit einem Modell aus dem Bereich der Klassifizierung von Lernstrategien zur Informationsverarbeitung vereinbar, dass eine unterschiedliche Tiefe, elaborierte von einer oberflächlichen Verarbeitung von Informationen unterscheidet und wonach das Anwenden neuen Wissens eine tiefere Verarbeitung des Gelernten erfordert als der Abruf neuen Wissens (Craig & Lockhardt, 1972; Schmeck, 1988).

Vor dem Hintergrund, dass die Hypothese H1 teilweise nicht bestätigt werden kann, sind Probleme hinsichtlich der Erfassung des deklarativ-konzeptuellen Wissens zu berücksichtigen. Der Test des deklarativ-konzeptuellen Wissens weist zwar eine zufriedenstellende Reliabilität auf, hat aber aufgrund des Multiple-Choice-Formats mit nur drei Antwortalternativen, wovon eine „*Weiß ich nicht*“ lautet, eine hohe Ratewahrscheinlichkeit (Bortz & Döring, 2006) und eine geringe Schwierigkeit. Ein weiteres Problem der Ratewahrscheinlichkeit ergibt sich zudem aus der Tatsache, dass Lernende die Option „*Weiß ich nicht*“ selten ankreuzen, auch wenn sie die Antwort nicht wissen. Diese Probleme bezüglich der Schwierigkeit des deklarativ-konzeptuellen Wissenstests können dazu geführt haben, dass der Test nicht gut genug zwischen Wissenden und nicht Wissenden trennen kann. Dabei ist weitergehend zu berücksichtigen, dass die Interaktions-Strategie spontan nur sehr selten angewandt wird und daher sehr trennscharfe Items notwendig sind, um diesbezüglich Unterschiede erfassen zu können.

Aus theoretischer Sicht konnte weitergehend das, auf Basis des Literaturreviews von de Jong und van Joolingen (1998), theoretisch hergeleitete Fehlermodell mittels der Re-Analyse geprüft werden. Die Analyse zeigte, dass Lernende beim selbständig entdeckenden Experimentieren Fehler machen, die sich auf den gesamten Experimentierprozess beziehen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass insbesondere Fehler in der systematischen Anwendung von Strategien einen negativen Einfluss auf den Lernerfolg haben. Diese Erkenntnisse stehen im Einklang mit den Erkenntnissen aus der Literatur zum *scientific discovery learning*, die den Ausgangspunkt dieser Arbeit bilden (Azevedo et al., 2004; Brown & Pressley, 1994; Chen

& Klahr, 1999; de Jong & van Joolingen, 1998; Löhner et al., 2005). Dennoch müssen bezüglich der Hypothese H2 differenzierte Schlüsse gezogen werden. Wie sich bereits in den Korrelationen mit dem Strategiewissen zeigte, scheint insbesondere mangelndes Strategiewissen mit der fehlerhaften Anwendung von Strategien zusammenzuhängen, was wiederum einen negativen Einfluss auf das deklarativ-konzeptuelle bzw. das Handlungswissen hat. Das Abweichen vom Experimentierzyklus dahingegen ist weniger stark durch ein fehlendes Strategiewissen geprägt und wirkt sich nicht negativ auf den Lernerfolg aus. Die partielle Nicht-Bestätigung der Hypothese H2 lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass ein nicht vollständig sichtbarer Experimentierzyklus, dennoch gedanklich von Lernern ausgeführt werden kann. Das bedeutet, dass das sichtbare Abweichen vom Experimentierzyklus nicht zwangsläufig als Fehler bewertet werden kann und folglich nicht unbedingt einen negativen Einfluss auf den Lernerfolg beim selbständig entdeckenden Experimentieren haben muss. Dieses Problem entsteht, da mittels der logfile-basierten Erfassung der Experimentierdaten nur sichtbare Verhaltensindikatoren erfasst werden können.

Dennoch zeigt sich auch aus den Analysen zu Hypothese H2, dass ein Durchlaufen des vollständigen Experimentierzyklus einen starken Einfluss auf den Lernerfolg hat. So kann angenommen werden, dass das nicht sichtbare, nur gedankliche Ausführen des Experimentierzyklus dennoch nicht ausreichend ist, um lernförderliche Effekte beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu erzielen. Somit kann die Annahme in Hypothese H2 dahingehend spezifiziert werden, dass die Fehlertypen beim selbständig entdeckenden Experimentieren einen unterschiedlichen starken negativen Einfluss auf den Lernerfolg haben. Da aber noch undeutlich ist, ob diese Ergebnisse tatsächlich auf theoretische Gründe zurückgeführt werden können, bedarf es einer weiteren Überprüfung der berechneten Maße für die Fehler in der computerbasierten Lernumgebung. Zudem zeigt sich, dass das Fehlermodell, ebenso wie das SDDS-Modell, für das erworbene Handlungswissen nicht aber im gleichen Maße für das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen bestätigt werden kann. Demnach könnten weitere Überprüfungen mit einem präziseren deklarativ-konzeptuellen Wissenstest weiteren Aufschluss über die Gültigkeit des Fehlermodells geben.

Zusammenfassend ist es in der Re-Analyse gelungen, dass SDDS-Modell valide für das erworbene Handlungswissen abzubilden und empirisch zu bestätigen. Darüber hinaus konnten die Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren identifiziert und kategorisiert werden, die einen negativen Einfluss auf den Lernerfolg haben. Ausgehend von den Erkenntnissen der Re-Analyse und aufgrund des Vorbehalts bezüglich des deklarativ-konzeptuellen Wissenstests soll ein neuer deklarativ-konzeptueller Wissenserwerbtest entwickelt werden, der die Ratewahrscheinlichkeit deutlich einschränkt und somit die Effektivität interagierender, sich gegenseitig beeinflussender

Suchen im Hypothesen- und Experimenterraum besser darstellen kann. Anhand eines solchen Tests soll in einer anschließenden Studie geprüft werden, ob sich die Gültigkeit des SDDS-Modells auf verschiedene Arten des Wissens generalisieren lässt. Zudem soll der Hypothesenraum der computerbasierten Lernumgebung optisch attraktiver gestaltet werden, um die Anwendung der Strategien im Hypothesenraum und somit auch deren Erfassung zu optimieren.

6 Pilotierungsstudie

Deklarativ-konzeptueller Wissenstest

Vor dem Hintergrund der in Abschnitt 5 beschriebenen Probleme bezüglich der Schwierigkeit und der erhöhten Ratewahrscheinlichkeit des eingesetzten deklarativ-konzeptuellen Wissenstest ist das Ziel der Pilotierungsstudie die Entwicklung und Pilotierung eines inhaltvaliden und reliablen deklarativ-konzeptuellen Wissenstest zum Inhaltsbereich *Auftrieb in Flüssigkeiten*. Auf der Grundlage von neu generierten Items soll eine Itemanalyse und Itemauswahl für die Erstellung eines neuen deklarativ-konzeptuellen Wissenstest durchgeführt werden. Darüber hinaus soll mittels der Pilotierung festgestellt werden, ob der deklarativ-konzeptuelle Wissenstest gut zwischen Schülern mit und ohne Vorkenntnisse zum *Auftrieb in Flüssigkeiten* trennen kann.

6.1 Entwicklung der Items

Um das deklarativ-konzeptuelle Wissen zum Inhaltsbereich *Auftrieb in Flüssigkeiten* besser erfassen zu können, wurde zunächst ein papierbasierter Test entwickelt. Der Test wurde nach dem Prinzip eines inhaltvaliden Tests (Klauer, 1987) entwickelt und somit dienten die 15 explorierbaren Zusammenhänge (siehe Anhang C) der computerbasierten Lernumgebung als Konstruktionsgrundlage (Künsting, 2007). Alle Items wurden in einem Multiple-Choice-Format mit fünf Antwortalternativen dargeboten. Dabei wurde bei der Konstruktion der Antwortalternativen die Disjunktheit der Antworten berücksichtigt sowie auf geeignete Distraktoren, d. h. gleiche Länge, gleiche Plausibilität und Wahrscheinlichkeit und somit eine gleiche Attraktivität der verschiedenen Antwortalternativen geachtet (Bortz & Döring, 2006; Jonkisz, Moosbrugger & Brandt, 2007). Die fünfte Antwortalternative lautete bei alle Items *Weiß ich nicht* (siehe Anhang D). Damit sollte die Ratewahrscheinlichkeit einschränkt und eine angemessene Schwierigkeit des Tests erreicht werden.

Anhand der 15 explorierbaren Zusammenhänge wurden 23 Items generiert. Für jede der 15 explorierbaren Relationen wurde zunächst ein Item entwickelt. Anschließend wurden für Items, die in der Re-Analyse eine hohe Schwierigkeit aufwiesen bzw. sich auf die zentralen und schwierigen Relationen bezüglich des Verhaltens von Körpern beziehen eine weitere Frage konstruiert (vgl. Tabelle 6.1). Dabei wurden die ersten Items als abstrakte und die folgenden als konkrete Fragen entworfen. Ein Beispiel für eine abstrakte Frage ist z. B. „Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) gleich groß ist wie die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}), in die man ihn wirft?“. Eine konkrete Frage lautet z. B. „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?“. Insgesamt wurden 14

abstrakte und neun konkrete Fragen entwickelt. So sollten genügend Items entstehen, um anschließend eine parallele Prä- und Post-Version des Tests erstellen zu können.

6.2 Stichprobe

An der Studie zur Pilotierung des deklarativ-konzeptuellen Wissenstest nahmen $N = 96$ Schüler aus zwei Gymnasien in NRW teil. Davon hatten $n = 52$ Schüler das Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* vorher im Unterricht noch nicht bearbeitet. Dagegen war $n = 44$ Schülern das Thema aus dem Unterricht bekannt. Von den 96 Schülern waren 36.5% weiblich, 61.5% männlich und 2.1% machten keine Angabe zu ihrem Geschlecht. Die Schüler waren im Durchschnitt 14.59 Jahre alt ($SD = 1.29$).

6.3 Durchführung

Die Untersuchung fand in einer Schuleinzelstunde von insgesamt 45 Minuten in zwei Schulen in NRW statt. Die teilnehmenden Klassen wurden zu Beginn von den Testleiterinnen begrüßt und erhielten kurze Informationen über das Projekt in dessen Rahmen der Test entwickelt wurde. Die Schüler erhielten die Instruktion, den Test so gut wie möglich auszufüllen. Sie wurden aber darauf hingewiesen, dass sie die Antwortalternative *Weiß ich nicht* ankreuzen sollen, wenn sie die Lösung einer Frage nicht wissen. Anschließend hatten die Schüler die Möglichkeit Fragen bezüglich des Tests zu stellen. Den Schülern wurde der papierbasierte Test ausgeteilt und sie bekamen ca. 30 Minuten Zeit, um die 23 Fragen zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* zu beantworten.

6.4 Ergebnisse

Der entwickelte deklarativ-konzeptuelle Wissenstest wurde nach den klassischen Testgütekriterien bewertet.

Objektivität. Da der Test über eine nur kurze Instruktion verfügt, ist die Objektivität bei Durchführung des Verfahrens gewährleistet.

Reliabilität. Um den entwickelten Test zu skalieren, wurde eine Reliabilitätsanalyse durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Items des Tests eine gute Reliabilität mit einem Cronbach's $\alpha = .86$ aufweisen. Ebenso konnte eine angemessene Schwierigkeit ($M = .42$, $SD = .22$) des Tests festgestellt werden. Die Itemkennwerte des Tests sind in Tabelle 6.1 dargestellt. Der Test beinhaltet überwiegend mittelschwere Items, verfügt aber auch über leichtere und schwere Items. Nach der Analyse wurden acht Anker-Items bestimmt, die in beiden Versionen (Prä und Post) aufgenommen wurden. Weitere fünf Items wurden jeweils als parallele Items in den Test aufgenommen, z. B. wurde in der Prä-Version das

abstrakte Item zu Relation 3 und das konkrete Item zu Relation 2 und in der Post-Version das abstrakte Item zu Relation 2 und das konkrete Item zu Relation 3 verwendet. In der Prä-Version des Tests wurde zusätzlich noch ein sogenanntes Eisbrecher-Item eingefügt. Darüber hinaus wurde bei der Verteilung der Items berücksichtigt, dass Items die ähnliche Zusammenhänge überprüfen, wie z. B. „Wenn die Auftriebskraft F_A größer ist als die Gewichtskraft F_G , steigt der Körper“ oder „Wenn die Gewichtskraft F_G größer ist als die Auftriebskraft F_A , sinkt der Körper“ gleichmäßig auf die Prä- und Post-Version des Tests verteilt wurden. Darüber hinaus wurden die Zusammenhänge, die sich auf das Verhalten der Körper beziehen so verteilt, dass in jeder Version ein Item zum Sinken, Schweben und Steigen des Körpers vorhanden ist. Zum Beispiel beinhaltet die Prä-Version das WET Item 14 „Wenn ein Körper im Wasser schwebt, ist...“, wobei sich die Lösungen auf das Verhältnis der Kräfte bezieht (a = seine Kraft F_A genauso groß wie seine Kraft F_G ; b = seine Kraft F_G größer als seine Kraft F_A ; c = seine Kraft F_A genauso groß wie seine Kraft F_u ; d = seine Kraft F_G größer als seine Kraft F_u ; e = Weiß ich nicht.). Die richtige Antwort ist die Antwortalternative a. Die Post-Version beinhaltet dagegen das WET Item 11 „Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser schwebt?“, wobei sich die Lösungen bei diesem Item auf das Dichteverhältnis von Wasser und Körper bezieht (a = Die Kraft F_o ist größer als die Kraft F_u ; b = Die Kraft F_o ist genauso groß wie die Kraft F_u ; c = Die Dichte des Körpers ist größer als die Dichte der Flüssigkeit; d = Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit; e = Weiß ich nicht.). Die richtige Antwort ist Antwortalternative d. Zu dem Verhalten *Steigen des Körpers* wurden die Items umgekehrt zugeordnet.

Insgesamt wurden zwei Items in keiner der erstellten Versionen berücksichtigt. Das erste nicht berücksichtigte Item ist das abstrakte Item zu Relation 7 (WET Item 8), das aufgrund der hohen Schwierigkeit nicht aufgenommen wurde. Stattdessen wurde in beiden Versionen das konkrete Item zu dieser Relation (WET Item 22) aufgenommen. Ebenso wurden WET Item 2 nicht aufgenommen, da es sich um eines von zwei sogenannten Eisbrecher-Items handelt, von denen nur eins für die Prä-Version benötigt wurde.

Anschließend wurde die Reliabilität der beiden Versionen überprüft. Es zeigte sich, dass sowohl die Prä-Version (Cronbach's $\alpha = .81$) als auch die Post-Version (Cronbach's $\alpha = .79$) über eine gute Reliabilität (Lienert & Raatz, 1998) verfügt.

Tabelle 6.1: Itemkennwerte für die 23 Items des reliablen Tests und Zuordnung zum Test

	<i>M</i>	<i>SD</i>	Korrigierte Trennschärfe	Relation Gruppe	Item Prä-Version	Item Post-Version
WET Item 1	.90	.307	.303	Eisbrecher	1	
WET Item 2	.84	.365	.299	Eisbrecher		
WET Item 3	.22	.416	.427	3	2	
WET Item 4	.09	.293	.009	2		1
WET Item 5	.35	.481	.427	11 + 14	3	2
WET Item 6	.51	.503	.577	10 + 13	4	3
WET Item 7	.35	.481	.423	6	5	4
WET Item 8	.14	.344	.188	7		
WET Item 9	.57	.497	.398	13	6	
WET Item 10	.65	.481	.530	12		5
WET Item 11	.31	.466	.335	14		6
WET Item 12	.64	.484	.567	10		7
WET Item 13	.58	.496	.507	9	7	
WET Item 14	.53	.502	.535	11	8	
WET Item 15	.34	.477	.496	4 + 8	9	
WET Item 16	.41	.494	.466	1 + 8		8
WET Item 17	.29	.457	.478	3		9
WET Item 18	.36	.484	.557	2	10	
WET Item 19	.27	.447	.474	12	11	10
WET Item 20	.32	.470	.184	15	12	11
WET Item 21	.15	.355	.234	5	13	12
WET Item 22	.21	.408	.496	7	14	13
WET Item 23	.57	.497	.629	12	15	14

Validität. Wie bereits in Abschnitt 6.1 berichtet, wurde der Test nach dem Prinzip eines inhaltsvaliden Tests (Klauer, 1987) entwickelt und verfügt folglich über eine hohe Inhaltsvalidität.

Gruppenunterschiede bezüglich des deklarativ-konzeptuellen Wissens. Um zu überprüfen, ob der deklarativ-konzeptuelle Wissenstest zwischen einer Gruppe von Schülern mit Vorkenntnissen zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* und einer Gruppen von Schülern ohne Vorkenntnisse trennen kann, wurde ein *t*-test durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten erwartungsgemäß, dass die Schüler mit Vorkenntnissen einen höheren mittleren Wissensscore erreichen, als die Schüler ohne Vorkenntnisse ($t(94) = 5.83$, $p < .001$; $d = 0.60$). Ebenso zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen für die Prä-Version ($t(94) = 6.17$, $p < .001$; $d = 0,63$) und die Post-Version ($t(94) = -6.46$, $p < .001$; $d = 0,66$) des deklarativ-konzeptuellen Tests. Angaben zu den Testdaten sind in Tabelle 6.2 wiedergegeben.

Tabelle 6.2: Mittelwerte und Standardabweichung der Wissensgruppen im deklarativ-konzeptuellen Wissenstest

Gruppe (<i>N</i> = 96)	Gesamt Version		Prä-Version		Post-Version	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Ohne Vorwissen (<i>n</i> = 52)	.31	.18	.29	.19	.14	.11
Mit Vorwissen (<i>n</i> = 44)	.54	.20	.54	.21	.30	.12

6.5 Diskussion

In der Pilotierungsstudie ist es aus methodischer Perspektive gelungen, einen deklarativ-konzeptuellen Wissenstest zu entwickeln, der gemäß den klassischen Testgütekriterien eine objektive, valide und reliable Erfassung des inhaltspezifischen Wissens zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* ermöglicht. Aus methodischer Perspektive zeigte sich darüber hinaus, dass der Test über eine angemessene Schwierigkeit und zufriedenstellende Trennschärfen verfügt (Bortz, 2005). Weitergehend zeigte sich, dass der Test signifikante Unterschiede zwischen Schülern mit und ohne Vorkenntnisse zu diesem Thema erfassen kann.

Aus praktischer Perspektive kann der neu entwickelte Test in einer weiteren Studie zur Überprüfung des SDDS-Modells und des Fehlermodells eingesetzt werden. Dazu soll sowohl die Prä- als auch die Post-Version des deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerbstests in die Lernumgebung implementiert werden, um beide als computerbasierte Tests nutzen zu können. Den Schülern soll dabei immer ein Item pro Seite gezeigt werden und sie können auf weiter klicken, sobald sie sich für eine der fünf Antwortalternativen entschieden haben.

7 Studie I

Generalisierbarkeit des SDDS-Modells auf unterschiedliche Wissensarten

Ziel der Studie ist die Überprüfung der Generalisierbarkeit des SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 1988) auf eine weitere Wissensart. Ausgehend von dem in Kapitel 5 beschriebenen Erkenntnissen, dass sich das SDDS-Modell bezogen auf das erworbene Handlungswissen valide abbilden lässt, soll in dieser zweiten Studie geprüft werden, ob sich das SDDS-Modell für eine andere Wissensarten bestätigen lässt. Dazu soll der in Kapitel 6 beschriebene neu entwickelte deklarativ-konzeptuelle Wissenstest eingesetzt werden. Mit Hilfe der Berechnung, der in Abschnitt 4.3.1 beschriebenen Maße für die Strategien soll folglich das SDDS-Modell in Bezug auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen überprüft werden. Darüber hinaus soll ebenfalls der Einfluss von Fehlern beim Experimentieren mittels der in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Berechnung der Maße für Fehler in Bezug auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen überprüft werden.

7.1 Fragestellung und Hypothesen

Mit der Durchführung dieser Studie werden zwei Ziele verfolgt. Erstens soll die Generalisierbarkeit des SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 1988) für eine weitere Wissensart geprüft werden. Damit soll das bereits verringerte Defizit hinsichtlich der empirischen Verifizierung des SDDS-Modells für sowohl das deklarative Sach- und Handlungswissen (vgl. Abschnitt 2.2) weitergehend geklärt werden. Zweitens soll auch die Gültigkeit des Fehlermodells für eine weitere Wissensart überprüft werden.

Zunächst wird der Frage nachgegangen, ob sich die im SDDS-Modell postulierte Lernförderlichkeit der Interaktions-Strategie auch für das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen nachweisen lässt. Dazu wird der neu entwickelte deklarativ-konzeptuelle Wissenstest eingesetzt. Ausgehend von den Erkenntnissen bezüglich der Probleme, die Lernende mit dem selbständig entdeckenden Experimentieren haben (de Jong & van Joolingen, 1998; Manlove et al., 2006) und den Ergebnissen der Re-Analyse, soll anschließend der Frage nachgegangen werden, ob sich auch das Fehlermodell generalisieren lässt. Es soll überprüft werden, ob sich die fehlerhafte Anwendung von Strategien ebenfalls negativ auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen auswirkt.

Insgesamt lassen sich aus den oben formulierten Fragen folgenden Hypothesen ableiten:

- H1 Die lernwirksamen Effekte der Strategieanwendung im Sinne des SDDS-Modells lassen sich auch für das deklarativ-konzeptuelle Wissen nachweisen.

- H2 Die fehlerhafte Anwendung von Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren wirkt sich negativ auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen aus.

7.2 Verhaltensbasierte und Selbstauskunfts-basierte Maße

Computerbasierte Lernumgebung. In dieser Studie wurde die weiterentwickelte computerbasierte Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* eingesetzt. Sie verfügt im Gegensatz zu der ursprünglichen Version über ein grafisch dargestelltes Flip-Chart (Hypothesenraum). Auf diesem Flip-Chart sind bereits alle relevanten Konzepte des Inhaltsbereichs dargestellt. Somit wird den Lernern das *Mappen* von Zusammenhängen erleichtert, da sie lediglich die vorhandenen Konzepte miteinander verbinden müssen. Dadurch wird die Wahrnehmung auf zentrale Elemente gelenkt und eine aktive Auseinandersetzung mit den wichtigen Begriffen gefördert, was das inhaltliche Verständnis des dargestellten naturwissenschaftlichen Themas erleichtert (Hardy & Stadelhofer, 2006). In dem neu gestalteten Hypothesenraum gibt es zudem die Möglichkeit Erkenntnisse „zu sichern“ (vgl. Abschnitt 4.2.1). Eingezeichnete Pfeile blinken auf dem Flipchart zunächst schwach auf, um dem Lerner zu signalisieren, dass dieser Zusammenhang noch überprüft werden muss. Sobald ein Lernender einen Zusammenhang überprüft hat und dieser korrekt ist, kann durch einen doppelten Mausklick auf das Label des Pfeils das Blinken des Pfeils gestoppt werden. Somit kann der Lernende angeben, dass der dargestellte Zusammenhang überprüft wurde und richtig ist. Somit können Fehlertypen, die sich auf das Sichern von Erkenntnissen beziehen, die bislang nicht berücksichtigt werden konnten, erfasst werden.

Verhaltensbasierte Maße. Zur Berechnung der Maße für die Strategien und Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren wurden wie in der vorangegangenen Re-Analyse ebenfalls die entwickelten Algorithmen verwendet (Chen & Klahr, 1999; Klahr, 2000; Künsting et al., 2008; Tschirgi, 1980). Die Anwendung von Strategien in jeweils einem der Räume wurde analog zur Re-Analyse in Form der *Mapping-Strategie* und des systematischen Experimentierens erfasst (vgl. Abschnitt 4.3.1). Die Mapping-Strategie erfasst dabei die notierten Zusammenhänge in Hypothesenraum. Das systematische Experimentieren bezieht sich nur auf die systematischen Experimente, zu denen es aber keinen Bezug zum Hypothesenraum und demnach keine Interaktion gibt. Ebenso wurde die Interaktions-Strategie, die die Interaktion zwischen systematischen Experimenten und notierten Hypothesen abbildet, berechnet. Als Indikator für das unsystematische Agieren in einem der Räume wurde erneut das unsystematische Experimentieren berechnet.

Die Weiterentwicklungen hinsichtlich des Hypothesenraums ermöglichen nun auch das Analysieren der Strategie des Sicherns von Ergebnissen bzw. des Fehlers bezüglich des

Sicherns von Ergebnissen. Darüber hinaus kann der Anteil der Zusammenhänge, die die 14 relevanten Relationen des Inhaltsbereiches abbilden, ermittelt werden.

Zudem wurde der neu entwickelte deklarativ-konzeptuelle Wissenstest als computerbasierter Test eingesetzt, um sowohl die Vorkenntnisse zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* als auch das Wissen nach der Lernphase zu überprüfen. Aufgrund der insgesamt langen Dauer der Testung wurde aus zeitlichen Gründen eine kürzere Skala der Prä- und Post-Version eingesetzt. Dadurch wurde die Reliabilität zwar verringert, aber sowohl für die Prä-Version (Cronbach's $\alpha = .70$) als auch für die Post-Version konnten Tests mit einer zufriedenstellenden Reliabilität (Cronbach's $\alpha = .74$) eingesetzt werden. Dabei bestanden die Versionen aus parallelen Items aus der Pilotierungsstudie. Zum Beispiel wurde wie in Abschnitt 6.5 beschrieben WET Item 14 in der Prä-Version und das parallele WET Item 11 in der Post-Version aufgenommen. Bei dieser Stichprobe fielen die Reliabilitäten jedoch leider etwas geringer für die Prä-Version (Cronbach's $\alpha = .65$) und die Post-Version (Cronbach's $\alpha = .70$) aus, waren aber dennoch knapp zufriedenstellend.

Selbstauskunfts-basierte Maße. Zur Erfassung der Motivation wurde auch in dieser Studie der *Fragebogen zur Aktuellen Motivation* (FAM) von Rheinberg et al. (2001) nach der Einführung in die Lernumgebung durch die beiden computerbasierten Tutorials und der Arbeitsanweisung („Finde so viel wie möglich darüber heraus, wovon es abhängt ob ein Körper sinkt, schwebt oder steigt“) und damit unmittelbar vor der Lernphase eingesetzt (vgl. Abschnitt 5.3.1). Ebenso wurde zur Erfassung des Interesses am Fach Physik wieder der Fragebogen von Baumert et al. (1986) eingesetzt (vgl. Abschnitt 5.3.2).

Um bei den Analysen mögliche systematische Effekte demografischer Variablen überprüfen zu können, mussten die Lerner zunächst mittels eines selbstentwickelten Fragebogens ihr Alter, ihr Geschlecht sowie Auskunft zu ihre letzten Zeugnisnoten in den Fächern Physik, Chemie, Biologie, Mathematik, Deutsch und Englisch angeben.

7.3 Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 86 Schüler der Sekundarstufe I aus zwei Gymnasien in NRW teil, die das Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* vorher im Unterricht noch nicht bearbeitet hatten. In der Studie mussten Schüler in einer Doppelstunde selbständig in der computerbasierten Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* experimentieren. Die Daten von $n = 3$ Schülern konnten aufgrund einer zu kurzen Explorationszeit ($n = 1$) bzw. fehlerhafter Speicherung der Lernerfolgsdaten ($n = 2$) nicht verwendet werden. Die verbleibenden Daten von $N = 83$ Schülern bilden die Grundlage aller folgenden Angaben und Analysen. Von den 83 Schülern waren 47.0% weiblich und 53.0% männlich. Die Schüler waren im Durchschnitt 14.06 Jahre alt ($SD = .55$).

7.4 Durchführung

Die Untersuchung fand in einer Schuldoppelstunde inklusive Pause von insgesamt 95 Minuten in den Computerräumen der jeweiligen Schule statt. Vorab wurde die computerbasierte Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* auf schulinternen PCs installiert, die aufgrund der zu geringen Anzahl durch mitgebrachte vorinstallierte Laptops ergänzt wurden, so dass alle Schüler an einem eigenen PC oder Laptop arbeiten konnten.

Die teilnehmenden Klassen wurden zu Beginn von den Testleiterinnen begrüßt und über das Projekt, in dessen Rahmen die Studie durchgeführt wird, in Kenntnis gesetzt. Zudem erhielten sie Informationen über den Verlauf der Testung, die computerbasierte Lernumgebung und die begleitenden Fragebögen. Danach hatten die Schüler die Möglichkeit Fragen zum Projekt, der Durchführung der Studie oder zu Unklarheiten zu stellen.

Anschließend mussten die Schüler zunächst Angaben zu den demografischen Variablen machen und den Fragebogen zum Interesse am Fach Physik ausfüllen. Nach dem Ausfüllen der Papier-Bleistift-basierten Fragebögen und Tests sowie einer kurzen Pause konnten die Schüler mit den computerbasierten Tests (deklarativ-konzeptuelles Wissen und Motivation) und der Einführung in die computerbasierte Lernumgebung mittels zwei Tutorials (vgl. Abschnitt 4.1.3) beginnen. Für das Ausfüllen der computerbasierten Tests waren 10-15 Minuten vorgesehen, die Bearbeitung der Tutorials dauerte etwa 20 Minuten. Anschließend bekamen die Schüler die allgemeine Instruktion „Finde so viel wie möglich darüber heraus, wovon es abhängt, ob ein Körper sinkt, schwebt oder steigt!“ und konnten 15 Minuten selbständig in der computerbasierten Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* experimentieren

Als Dankeschön für die Teilnahme an der Studie bekamen die Schüler zum Abschluss Süßigkeiten.

7.5 Ergebnisse

7.5.1 Deskriptivstatistik

Der Gesamtscore des deklarativ-konzeptuellen Wissens wurde separat für das Vorwissen und das erworbene Wissen berechnet. Der Score berechnet sich jeweils aus dem prozentualen Anteil korrekt beantworteter Items. Es zeigte sich, dass sowohl für den deklarativ-konzeptuelle Vorwissenstest ($M = .40$; $SD = .29$), als auch für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerbtest eine angemessene Schwierigkeit ($M = .48$; $SD = .31$) aufgezeigt werden konnte.

Wie in Tabelle 7.1 erkennbar ist, zeigte sich in der erneuerten computerbasierten Lernumgebung eine veränderte Anwendung der Strategien als in der Re-Analyse. Die Anwendung der Mapping-Strategie war deutlich höher ($M_{\text{Re-Analyse}} = 3.37$; $M_{\text{Studie 1}} = 24.02$), die Anwendung der IVK-Strategie ($M_{\text{Re-Analyse}} = 11.98$; $M_{\text{Studie 1}} = 5.65$) und der Interaktions-Strategie ($M_{\text{Re-Analyse}} = 2.31$; $M_{\text{Studie 1}} = 1.88$) dagegen etwas geringer. Dies zeigt, dass der neugestaltete Hypothesenraum tatsächlich häufiger genutzt wurde.

Zudem weist die Reliabilität der Maße, die im Sinne der internen Konsistenz mittels Cronbach's α berechnet wurde, mit $.58 \leq \alpha \leq .96$ Werte auf, die überwiegend gut sind (vgl. Lienert & Raatz, 1998). Der geringere Wert bei der Interaktions-Strategie ist darauf zurückzuführen, dass ein großer Anteil der Lernenden insgesamt nur zwei systematische Interaktionen gemacht hat. Da wie bereits in Abschnitt 5.5.1 erwähnt eine über die Zeit veränderte Anwendung der unterschiedlichen Experimentierstrategien angenommen wurde, wurde die Reliabilität berechnet, indem zu der Anwendung der jeweiligen Strategie erneut drei zeitunabhängige Einheiten gebildet wurden, die als *Items* in die Berechnung der internen Konsistenz eingingen. Daher wird bei der Ausführung von zwei systematischen Eingriffen dem letzten der drei Einheiten zwangsläufig kein Wert zugewiesen. Demnach entstehen ungleiche Werte und eine geringere Reliabilität. Das bedeutet, dass obwohl das systematische Experimentieren und die Anwendung der Interaktions-Strategie etwas höher geworden sind, wurden in dieser Studie insgesamt auch wenige systematische Eingriffe vorgenommen.

Tabelle 7.1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Experimentierstrategien

Maß	<i>M</i>	<i>SD</i>	In %	Reliabilität	Items
Mapping-Strategie	24.024	10.164	33	.893	3
Systematische Experimente	5.655	4.334	46	.960	3
Interaktions-Strategie	1.882	1.538	15	.583	3

7.5.2 Testung des SDDS-Modells

Analog zur Re-Analyse wurden mittels der Algorithmen Maße für die Anwendung der Strategien berechnet, um die in Hypothese H1 angenommene Lernwirksamkeit der Interaktions-Strategie in Bezug auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen zu überprüfen. Demnach wurden die in Abschnitt 7.2 (vgl. auch Abschnitt 4.3.1.1) beschriebene Operationalisierung der Anwendung der Strategien auf Basis des SDDS-Modells berechnet.

7.5.2.1 Lernerfolg

Um auch in dieser Studie zu überprüfen, ob das selbständig entdeckende Experimentieren einen hinreichenden lernförderlichen Effekt hat, um die Strategieranwendung untersuchen zu können, wurde zunächst ein *t*-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Lernzuwachs ($t(82) = 2.38, p < .05; d = 0.25$).

Anschließend wurde eine korrelative Analyse zwischen der Strategieranwendung und dem deklarativ-konzeptuellen Wissen (post) und dem deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb durchgeführt. Der Wissenserwerb stellt dabei das standardisierte Residuum dar, das sich aus der regressionsanalytischen Vorhersage des deklarativ-konzeptuellen Wissens im Posttest durch das deklarativ-konzeptuelle Wissen im Prätest errechnet. Wie aus Tabelle 7.2 ersichtlich wird, zeigt die Analyse, dass die Anwendung der Interaktions-Strategie, die Mapping-Strategie und das systematische Experimentieren positiv mit den Wissensmaßen korrelieren. Mit dem unsystematischen Experimentieren zeigen sich dagegen negative Zusammenhänge. Für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb zeigt sich eine bedeutsame Korrelation nur mit der Interaktions-Strategie.

Tabelle 7.2: Korrelation der Strategieranwendung mit dem Leistungsmaß

	Unsystematisches Experimentieren	Mapping-Strategie	Systematisches Experimentieren	Interaktions-Strategie
Deklarativ-konzeptuelles Wissen (post)	-.138	.231*	.122	.334**
Deklarativ-konzeptueller Wissenserwerb	-.014	.094	.165	.220*

* $p < .05$; ** $p < .001$

Dennoch zeigt sich, dass wenn der Anteil der relevanten notierten Zusammenhänge berechnet wird, dass sowohl für das deklarativ-konzeptuelle Wissen ($r = .321$) als auch für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb ($r = .186$) bedeutsame Korrelationen aufgezeigt werden können. Das bedeutet, dass Lerner, die relevanten Relationen, die in der Lernumgebung exploriert werden können, während der Lernphase auf ihrem Flipchart notieren, bessere Leistungen im Wissenstest nach der Lernphase zeigen. Dies kann als Hinweis für die Qualität des Mapping gesehen werden, da gezeigt wird, dass Lernende, die relevante Zusammenhänge explorieren und überprüfen, mehr inhaltliches Wissen generieren.

7.5.2.2 Lernwirksamkeit der Interaktions-Strategie

Varianzanalysen. Um zu überprüfen, ob der im SDDS-Modell postulierte lernförderliche Effekt der Interaktions-Strategie mittels der Strategiemäße aufgezeigt werden kann,

wurde unter Berücksichtigung des Vorwissen und der Motivation geprüft, ob die Anwendung der Interaktions-Strategie einen größeren Effekt auf den Lernerfolg hat als das systematische oder unsystematische Experimentieren. In einem allgemeinen linearen Modell zeigte sich ein zusätzlicher Effekt der Interaktionstrategie gegenüber systematischen und dem unsystematischen Experimentieren für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb ($F(1,78) = 4.63; p < .05; \text{partielles } \eta^2 = .056$).

Pfadmodelle. Darüber hinaus konnte wie in Abb. 7.1 dargestellt mittels eines Pfadmodells gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung des Vorwissen und der Motivation, die Interaktions-Strategie ($b = .24, p < .05$) nach dem Vorwissen einen stärkeren Einfluss auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen hat als das systematische Experimentieren ($b = .10, p = .29$) und das unsystematische Experimentieren ($b = -.05, p = .48$).

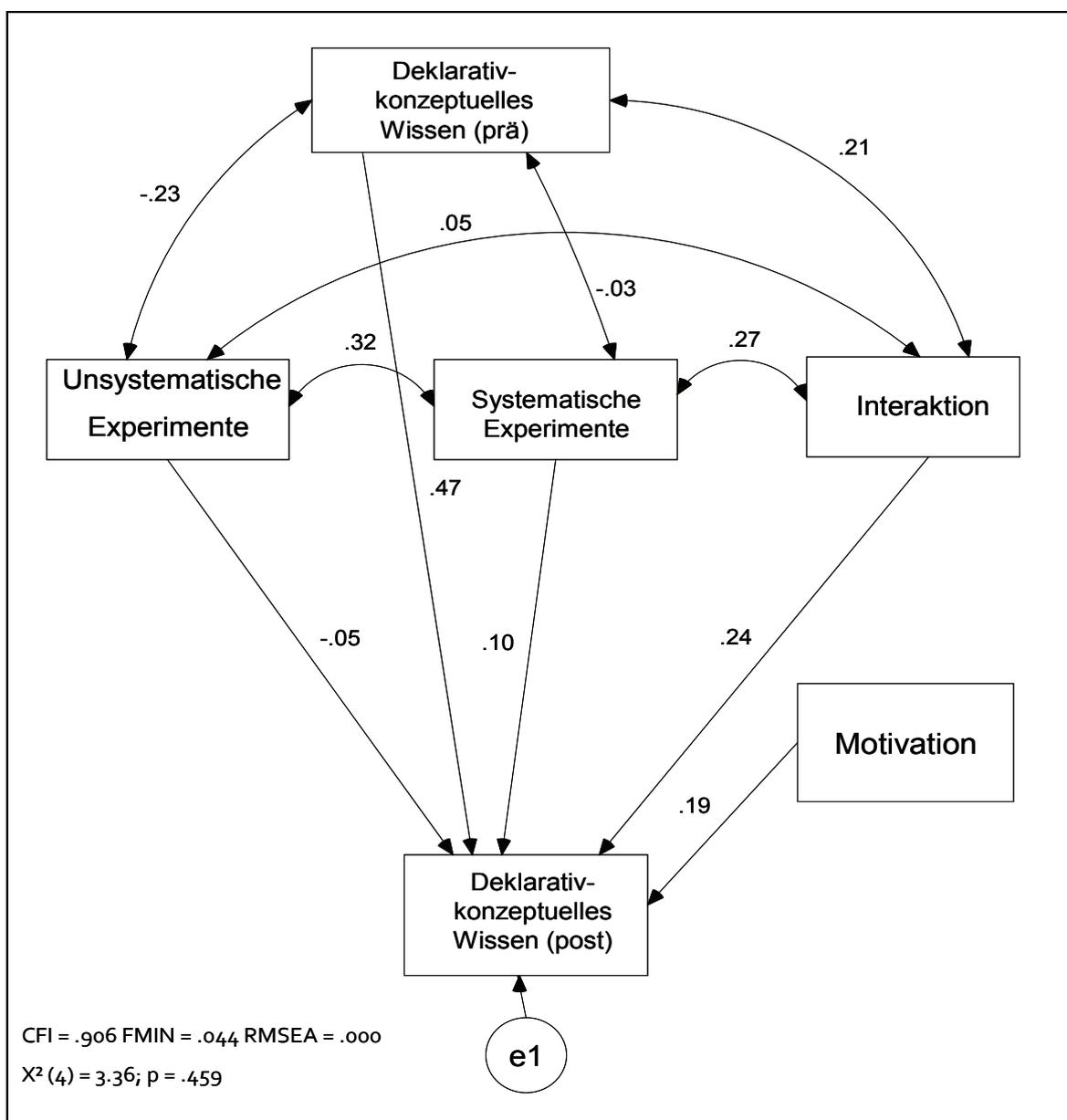


Abbildung 7.1: Pfadmodell (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Anwendung der Interaktions-Strategie in beiden Räumen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen)

Folglich kann die Annahme von Hypothesen H1, dass sich lernförderliche Effekte der Strategieranwendung im Sinne des SDDS-Modells für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb nachweisen lassen, bestätigt werden. Die durchgeführten Analysen zeigen folglich, dass das *Scientific Discovery as Dual Search* Modell nach Klahr und Dunbar (1988) nicht nur für das beim selbständig entdeckenden Experimentieren erworbene Handlungswissen gültig ist, sondern auch auf das erworbenen deklarativ-konzeptuelle Wissen generalisierbar ist.

7.5.3 Testung des Fehler-Modells

Auf Grundlage der Erkenntnisse der Re-Analyse (vgl. Kapitel 5) sollte einerseits überprüft werden, ob sich das in Abschnitt 5.5.3 generierte Fehlermodell ebenfalls auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen generalisieren lässt. Andererseits sollte getestet werden, ob die Fehlertypen einen unterschiedlich starken lernhinderlichen Einfluss auf das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen haben.

Mittels der in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Algorithmen wurden für die Fehlertypen des selbständig entdeckenden Experimentierens (de Jong & van Joolingen, 1998; Jamieson-Noel & Winne, 2003) Maße berechnet. Da die weiterentwickelte Lernumgebung die Erfassung von weiteren Fehlerarten erlaubt, wurde auch das Sichern von Erkenntnissen (Chinn & Brewer, 1993; de Jong & van Joolingen, 1998; Kuhn et al., 1992) bei der Berechnung berücksichtigt.

7.5.3.1 Deskriptivstatistik

Wie auch in der Re-Analyse zeigte sich in Übereinstimmung mit den Erkenntnissen aus der Literatur zum *scientific discovery*, dass sowohl Fehler, die sich auf das Abweichen vom Experimentierzyklus als auch Fehler, die sich auf das fehlerhafte Anwenden einzelner Strategien beziehen, sehr häufig vorkommen (siehe Tabelle 7.3).

Die Reliabilität im Sinne der interne Konsistenz, die mittels Cronbach's α berechnet wurde, weist für die Fehlerarten mit $.63 \leq \alpha \leq .94$ zufriedenstellende bis sehr gute Werte auf (vgl. Lienert & Raatz, 1998). Nur für die Fehlerart *unsystematische Sicherung* konnten keine zufriedenstellenden Werte aufgezeigt werden. Auch hier wurden drei zeitunabhängige Einheiten gebildet, die als *Items* in die Berechnung der internen Konsistenz eingingen. Die unzufriedenstellenden Werte bei der Fehlerart *Unsystematische Sicherung*, sind darauf zurückzuführen, dass alle Lernenden insgesamt nur einen bis zwei der jeweiligen bewerteten Eingriffe durchgeführt haben. Da diese Eingriffe häufig fehlerhaft waren, war der prozentuale Anteil der Fehler dagegen teilweise sehr hoch. Daher wurde bei der Einteilung der Einheiten im Schnitt nur einer oder zwei der Einheiten ein meist hoher Wert zugewiesen. Demnach entstehen sehr ungleiche Werte

und eine geringere Reliabilität. Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse zu den neu entwickelten Maßen sind in Tabelle 7.3 wiedergegeben.

Tabelle 7.3: Mittelwert, Standardabweichung und Varianzen der Fehler beim Experimentieren

	<i>M</i>	<i>SD</i>	Reliabilität	Items
Fehlende Hypothesen	.603	.350	.935	3
Unsystematische Experimente	.457	.247	.630	3
Fehlende Experimente	.509	.205	.640	3
Unsystematische Hypothesen	.795	.205	.757	3
Fehlende Experimente zur Sicherung	.782	.262	.880	3
Unsystematische Sicherung	.473	.253	.181	3
Fehlende Sicherung	.361	.346	.667	3

7.5.3.2 Einfluss der Fehler auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen

Mittels eines Pfadmodells sollte die Hypothese H2, dass sich die fehlerhafte Anwendung von Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren in stärkerem Maße negativ auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb auswirkt als das Abweichen vom Experimentierzyklus überprüft werden. Dazu wurden die sieben Fehlerarten in zwei Fehlertypen unterteilt. Unterschieden werden dabei Fehler, die sich auf das *Abweichen vom Experimentierzyklus* (fehlende Experimente/Hypothesen/Sicherung) bzw. auf Fehler, die sich auf die *fehlerhafte Anwendung von Strategien* (unsystematische Experimente/Hypothesen/Sicherung) beziehen. In dem Pfadmodell zeigte sich, dass die fehlerhafte Anwendung von Strategien einen stärkeren negativen Einfluss ($b = -.19, p < .05$) auf das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen hat, als das Abweichen vom Experimentierzyklus.

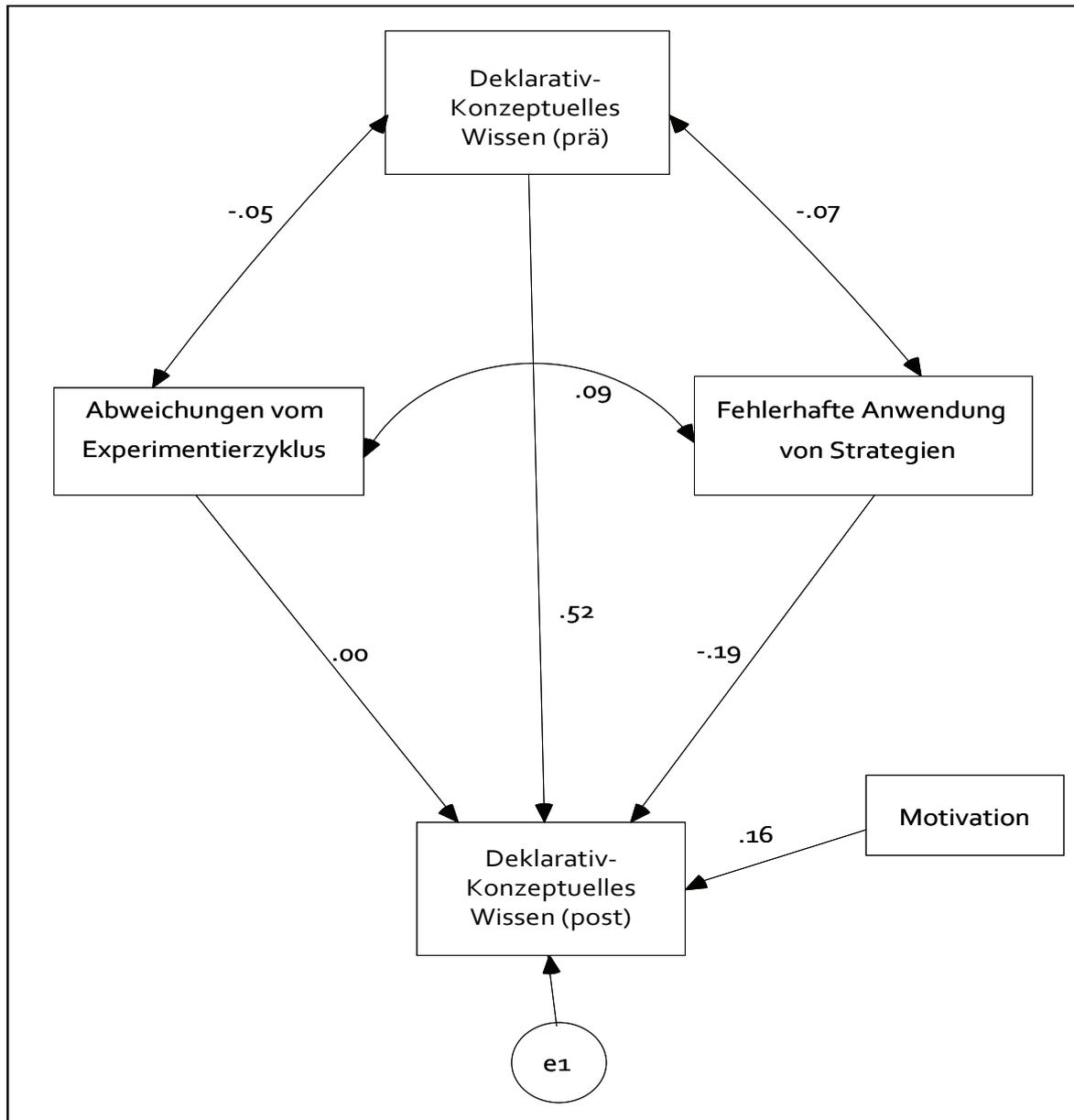


Abbildung 7.2: Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das Handlungswissen)

Das in der Re-Analyse geprüfte Fehlermodell bezogen auf das erworbene Handlungswissen, kann in dieser Studie auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb generalisiert werden. Darüber hinaus konnte die Annahme, dass der Fehlertyp *Fehlerhafte Anwendung von Strategien* beim selbständig entdeckenden Experimentieren einen stärkeren negativen Einfluss auf den Lernerfolg hat bestätigt werden. Folglich kann Hypothese H2 bestätigt werden und damit auch das generierte Modell aus der Re-Analyse bestätigt und generalisiert werden.

7.6 Diskussion

Zusammenfassend ist es in dieser Studie gelungen sowohl das SDDS-Modell als auch das generierte Fehlermodell auf eine weitere Wissensart zu generalisieren.

Aus theoretischer Perspektive konnte mittels des neu entwickelten deklarativ-konzeptuellen Wissenstests die Generalisierbarkeit des *Scientific Discovery as Dual Search* Modell nach Klahr und Dunbar (1988) auf eine weitere Wissensart nachgewiesen werden. Die Annahme, dass interagierende Suchprozesse den Erwerb deklarativ-konzeptuellen Wissens unterstützen und wirksamer sind als Strategien, die nur innerhalb eines Raumes (systematische Experimente) eingesetzt werden (z. B. Vollmeyer & Burns, 1996), konnte bestätigt werden. Dieser empirische Beleg des SDDS-Modells schließt eine Forschungslücke, da der Lernerfolg der Anwendung von interagierenden Strategien in beiden Räumen nachgewiesen worden ist, was bislang empirisch noch nicht gelungen war. Mittels der vorliegenden Studie und der Re-Analyse ist dies für die beiden beim selbständig entdeckenden Experimentieren relevanten Wissensarten gezeigt worden (siehe Abschnitt 2.2). Aus theoretischer Perspektive kann demnach Hypothese H1 bestätigt werden.

Weitergehend konnte das theoretisch aus der Literatur hergeleitete (de Jong & van Joolingen, 1998) und aus der Re-Analyse generierte Fehlermodell zum selbständig entdeckenden Experimentieren bestätigt werden. Es zeigte sich auch in dieser Studie, dass die fehlerhafte Anwendung von Strategien einen negativen Effekt auf den Lernerfolg hat. Dahingegen konnte erneut gezeigt werden, dass das Abweichen vom Experimentierzyklus keinen bedeutsamen Einfluss hat. Möglicherweise ist dies auch darauf zurückzuführen, dass ein unvollständiger Experimentierzyklus, der nicht in der Lernumgebung ausgeführt und folglich nicht im Logfile gespeichert wird, dennoch gedanklich durch den Lerner ausgeführt wird. Aus theoretischer Perspektive kann folglich auch die Hypothese H2 bestätigt werden. Dennoch bleibt ungeklärt, ob das Abweichen vom Experimentierzyklus anhand der logfile-basierten Protokolle nicht gut erfasst werden kann oder tatsächlich keinen negativen Einfluss auf den Wissenserwerb hat (vgl. Abschnitt 5.5).

Aus praktischer Perspektive wurde mittels der Weiterentwicklung der Lernumgebung ermöglicht, dass die Eingriffe im Hypothesenraum besser erfasst werden können. Damit ist auch neben der Berechnung des Maßes für das Mapping die Erfassung der 14 relevanten Relationen möglich, die ein Urteil über die inhaltliche Qualität der Zusammenhänge abbilden können. Darüber hinaus konnte durch die erhöhte Attraktivität des Hypothesenraums auch die Anwendung dessen erhöht und somit vor allem auch die Anwendung der Interaktions-Strategie etwas gesteigert werden. Allerdings bestätigte sich auch in dieser Studie, dass Lernende Strategien weitestgehend nicht spontan anwenden (z. B. Azevedo et al., 2004; Chen & Klar, 1999), häufig unsystematisch Agieren und dass

sie viele Fehler in Bezug auf den gesamten Experimentierzyklus machen (de Jong & van Joolingen, 1998).

Bezogen auf die Allgemeingültigkeit der Lernwirksamkeit der Interaktions-Strategie beim selbständig entdeckenden Experimentieren besteht dennoch ein Forschungsdefizit hinsichtlich der Generalisierbarkeit des SDDS-Modells auf unterschiedliche Inhaltsbereiche. Demnach ist es zunächst erforderlich zu prüfen, ob das SDDS-Modell auch auf einen weiteren naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich übertragbar ist. Dazu ist die Entwicklung einer weiteren funktionell analogen Lernumgebung zu einem anderen naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich notwendig. Somit kann folglich geprüft werden, ob Lernende in unterschiedlichen Lernumgebungen dieselben Strategien anwenden und ob diese ebenso lernwirksam sind. Des Weiteren lässt sich mit Hilfe einer zweiten Lernumgebung ermitteln, ob das generierte Fehlermodell auch auf andere naturwissenschaftliche Inhalte übertragbar ist.

Bezogen auf den Ausgangspunkt dieser Arbeit, dass das Schülerexperiment sehr beliebt ist, aber der Lernerfolg häufig ausbleibt (Hofstein & Lunetta, 1982; Hucke & Fischer, 2002), zeigt sich auch in dieser Studie, dass der Effekt des erreichten Lernzuwachs gering ist. Dies ist mit den Erkenntnissen der beschriebenen geringen Strategieverwendung und der Probleme beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu vereinbaren (Azevedo, et al., 2004; de Jong & van Joolingen, 1998; Löhner, et al. 2005; Manlove et al., 2006). Aus den Ergebnissen dieser Studie lässt sich ableiten, dass die geringe Strategieverwendung dazu führt, dass lernförderliche Effekte ausbleiben. Denn es zeigt sich auch, dass eine systematisch interagierende Anwendung von Strategien lernförderlich ist. Demnach legt die empirische Bestätigung des SDDS-Modells nahe, dass Lernende beim selbständig entdeckenden Experimentieren dahingehend unterstützt werden müssen, dass sie während des Experimentierens interagierende, sich gegenseitig beeinflussende Strategien anwenden und beim Anwenden der Strategien möglichst wenige Fehler machen. Aus praktischer Perspektive könnte durch die Überprüfung der Allgemeingültigkeit dieser Modelle und hinsichtlich der defizitären Strategieverwendung, des unsystematischen Agierens sowie des geringen Lernerfolgs beim Experimentieren ausgelotet werden, ob sich inhaltsübergreifenden Strategien erfassen lassen, die die Basis für Trainings bzw. die Implementierung von Unterstützungsmaßnahmen bilden könnten. Somit ergibt sich folglich die Frage, ob sich in anderen naturwissenschaftlichen Inhalten dieselben Strategien des Experimentierens identifizieren lassen, die anschließend gefördert und trainiert werden könnten. Folglich müssen die Voraussetzungen für die Generalisierbarkeit und die Implementierung von Fördermaßen überprüft werden.

Zusammenfassend ist es in dieser Studie gelungen, das SDDS-Modell für das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen zu generalisieren und für unterschiedliche Wissensarten abzubilden. Damit konnte eine wesentliche Forschungslücke geschlossen werden.

Ausgehend von den Erkenntnissen der Re-Analyse und der vorliegenden Studie sowie den aufgezeigten Problemen der Lernenden beim selbständig entdeckenden Experimentieren soll nun das SDDS-Modell auf andere naturwissenschaftliche Inhalte generalisiert werden, um die Möglichkeit der Anwendung des Modells als Grundlage von Fördermöglichkeiten ausloten zu können.

8 Studie II

Generalisierbarkeit des SDDS-Modells auf unterschiedliche naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche

Das Ziel dieser Studie ist die Überprüfung der Generalisierbarkeit des SDDS- und des Fehlermodells auf einen weiteren naturwissenschaftlichen Inhalt. Ausgehend von der Annahme, dass die Strategieranwendung auf Basis des SDDS-Modells für jede Domäne gültig ist (Klahr & Dunbar, 1988), soll in dieser Studie das selbständig entdeckende Experimentieren in einem weiteren naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich untersucht werden. Dazu wurde eine zweite computerbasierte Lernumgebung zum chemischen Inhaltsbereich *Säuren und Basen* entwickelt. Aufgrund von Programmierproblemen konnte für die Chemie-Lernumgebung kein Handlungswissenstest entwickelt werden. Somit konnte die Überprüfung des SDDS-Modells bezogen auf einen weiteren naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich nur für das deklarativ-konzeptuelle Wissen vorgenommen werden.

Darüber hinaus soll erstens überprüft werden, ob die Anwendung der jeweils gleichen Strategien in den unterschiedlichen Lernumgebungen korreliert. Das bedeutet, dass überprüft wird, ob es sich bei den Strategien um domänenübergreifende Strategien handelt, die als Voraussetzung für Fördermaßnahmen gesehen werden können (van Berkum & de Jong, 1991). Zweitens soll die Lernförderlichkeit der Strategieranwendung gemäß dem SDDS-Modell in beiden Lernumgebungen untersucht werden. Abschließend soll ebenfalls die Generalisierbarkeit des Fehlermodells überprüft werden.

Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus der Re-Analyse und der aufbauenden Studie sowie vor dem Ausgangspunkt dieser Arbeit bezüglich der geringen Strategieranwendung (z. B. Chen & Klahr, 1999) und der großen Häufigkeit von Fehlern beim Experimentieren (de Jong & van Joolingen, 1998) ist ein übergeordnetes Ziel dieser Studie, auszuloten, ob inhaltsübergreifende bzw. inhaltspezifische Strategien des Experimentierens identifiziert werden können, die die Grundlage für Implementierung von Unterstützungsmaßnahmen bilden könnten.

8.1 Fragestellung und Hypothesen

Aus theoretischer Perspektive werden in dieser Studie zwei Fragen untersucht. Erstens ist vor dem Hintergrund des Forschungsdefizits hinsichtlich der Allgemeingültigkeit der Effektivität der Anwendung von interagierenden Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu klären, ob das SDDS-Modell auf andere naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche übertragbar ist. Zweitens ist bezüglich der in Abschnitt 2.5.1 dargestellten theoretischen Erkenntnissen zu Fehlern beim selbständig

entdeckenden Experimentieren zu überprüfen, ob sich auch das Fehlermodell für andere naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche nachweisen lässt. Aus praktischer Perspektive soll drittens vor dem Hintergrund der in Kapitel 1 erläuterten defizitären Strategieranwendung, des unsystematischen Agierens, sowie des geringen Lernerfolgs beim Experimentieren ausgelotet werden, ob sich in unterschiedlichen Lernumgebungen inhaltsübergreifende Strategien erfassen lassen, die eine Grundlage für die Realisierung von Trainings bzw. der Implementierung von Unterstützungsmaßnahmen bilden können.

Somit können folgende Hypothesen formuliert werden:

H1 Die Anwendung von Strategien gemäß dem SDDS-Modell in unterschiedlichen Lernumgebungen korreliert untereinander und

- a) es zeigen sich lernförderliche Effekte der Strategieranwendung im Sinne des SDDS-Modells für das jeweils erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen.

H2 Die Fehler beim Anwenden von Strategien und das Abweichen vom Experimentierzyklus in unterschiedlichen Lernumgebungen korrelieren untereinander und

- a) es zeigen sich lernhinderliche Effekte der fehlerhaften Anwendung von Strategien beim Experimentieren für das jeweils erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen.

8.2 Lernumgebungen

In der Evaluationsstudie wurden computerbasierte Lernumgebungen mit unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Inhalten eingesetzt. Sowohl die in Abschnitt 4.1 beschriebene Lernumgebung zum physikalischen Inhaltsbereich *Auftrieb in Flüssigkeiten* als auch die in Abschnitt 4.2 beschriebene Lernumgebung zum chemischen Inhaltsbereich *Säuren und Basen* basieren auf dem SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988). Sie verfügen dementsprechend beide über einen Experimente- und einen Hypothesenraum, in dem das selbständig entdeckende Experimentieren erfasst werden kann. Für eine detaillierte Beschreibung der beiden Lernumgebungen wird auf Kapitel 4 verwiesen.

8.3 Verhaltensbasierte Maße

8.3.1 Strategieranwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren

Analog zur Re-Analyse und der darauf aufbauenden Studie wurden mittels entwickelter Algorithmen Maße für die Anwendung der Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren für beide Lernumgebungen berechnet (Chen & Klahr, 1999; Klahr, 2000; Künsting et al., 2008; Tschirgi, 1980). Ebenso wie in den vorangegangenen Studien

wurden Maße für die Anwendung von Strategien in jeweils einem der Räume in Form der *Mapping-Strategie* (Hypothesenraum) und dem systematischen Experimentieren (Experimenterraum) berechnet. Des Weiteren wurde die Interaktions-Strategie, die die Interaktion zwischen IVK-Experimenten und notierten Zusammenhängen abbildet, berechnet. Darüber hinaus wurde ebenfalls ein Maß für das unsystematische Experimentieren berechnet.

Ebenso wurden die Maße für das *Abweichen vom Experimentierzyklus* sowie der *fehlerhaften Anwendung von Strategien* berechnet (vgl. Abschnitt 4.3.2).

8.3.2 Inhaltsspezifisches konzeptuelles Wissen

Zur Erfassung des inhaltsspezifischen Vorwissens und Wissenserwerbs zum Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* wurde der in der Pilotierungsstudie evaluierte deklarativ-konzeptuelle Wissenstest (WET-Physik) eingesetzt. Basierend auf den Erkenntnissen aus Studie I und der gefundenen geringeren Reliabilität der Kurzversion des Wissenstests, wurde in dieser Studie eine Skala der Prä-Version mit 15 Items (inklusive Eisbrecher-Item) und der Post-Version mit 14 Items verwendet. Sowohl die Prä-Version (Cronbach's $\alpha = .77$) als auch die Post-Version (Cronbach's $\alpha = .82$) weisen in der vorliegenden Studie eine gute Reliabilität auf.

Um das inhaltsspezifische Vorwissen und den inhaltsspezifischen Wissenserwerb zum Thema *Säuren und Basen* erfassen zu können, wurde analog zum WET-Physik ein deklarativ-konzeptueller Wissenstest für die Chemie-Lernumgebung (WET-Chemie) entwickelt. Der WET-Chemie wurde ebenfalls nach dem Prinzip eines inhaltvaliden Tests konstruiert (Klauer, 1987), indem alle relevanten und explorierbaren Zusammenhänge zwischen den unabhängigen und abhängigen Variablen der Lernumgebung (siehe Anhang H/I) berücksichtigt wurden. Da in der Chemie-Lernumgebung mehr Relationen exploriert werden können, wurden in den Items auch Kombinationen von Relationen abgefragt. Anhand der Gesamtheit der explorierbaren Zusammenhänge wurden 24 abstrakte und konkrete Items formuliert, die anschließend auf die Prä- und Post-Version des Tests verteilt wurden. Ein Beispiel für ein Item, das abstrakt formuliert ist, ist „Was passiert, wenn man die Stoffmenge (n) einer sauren Lösung erhöht, aber ihr Volumen (V) gleich lässt.“ (a = Der pH-Wert wird größer; b = Der pH-Wert bleibt gleich; c = Die Menge der H⁺-Ionen wird größer; d = Die Menge der H⁺-Ionen bleibt gleich; e = Weiß ich nicht.) Die Richtige Antwort ist dabei Antwortalternative c. Ein konkret formuliertes Item hingegen lautet beispielsweise „Bei welcher Mischung ist der pH-Wert am größten, wenn alle Lösungen dasselbe Volumen (V) und dieselbe Stoffmenge (n) haben?“ (Antwortalternativen : a = Mischung aus zwei zweihydroxidigen basischen Lösungen; b = Mischung aus zwei einprotonigen sauren Lösungen; c = Mischung aus einer

zweihydroxidigen basischen Lösung und einer zweiprotonigen Sauren Lösung; d = Mischung aus einer einhydroxidigen basischen Lösung und einer einprotonigen Sauren Lösung; e = Weiß ich nicht.). Die richtige Antwort ist dabei Antwortalternative a.

Die Prä-Version besteht aus insgesamt 15 Items, wovon eins ein Eisbrecher-Item ist. Die Post-Version besteht aus 14 Items, die über zehn Anker-Items der Prä-Version verfügt, wobei bei fünf Anker-Items die Art der Lösung (*sauer* oder *basisch*) getauscht wurde. Ein Beispiel für so ein Anker-Item Paar ist: „Was passiert wenn man zu einer sauren Lösung Wasser dazu gibt?“ bzw. „Was passiert wenn man zu einer basischen Lösung Wasser dazu gibt?“ (siehe Anhang H). Dabei wurden die Items zu Säuren bzw. Basen gleichmäßig auf die Versionen verteilt. Sowohl die Prä-Version (Cronbach's $\alpha = .80$) als auch die Post-Version (Cronbach's $\alpha = .75$) weisen eine gute Reliabilität auf.

8.3.3 Intelligenz

Die allgemeine Intelligenz wurde mit der Subskala *Figurale Analogien* des Kognitiven Fähigkeitstests 4-12+ von Heller, Gaedicke und Weinläder (1985) als ökonomischer Schätzer für die allgemeine Intelligenz erfasst. Aufgrund der hohen Ladung dieser Subskala auf dem g-Faktor der Allgemeinen Intelligenz (Heller & Perleth, 2000, S. 47) wurde diese non-verbale Subskala als ökonomischer Schätzer für die allgemeine Intelligenz eingesetzt. Die Subskala enthält 25 Items, die das räumlich-visuelle Schlussfolgern durch das Erkennen und Übertragen eines räumlichen Prinzips erfassen. Der Intelligenzscore ergibt sich aus dem Anteil korrekt beantworteter Items.

8.4. Selbstauskunftbasierte Maße

8.4.1 Motivation

Wie in den vorangegangenen Studien wurde auch in dieser Studie die Motivation mittels des *Fragebogens zur Aktuellen Motivation* (FAM) von Rheinberg et al. (2001) erfasst. Die Erfassung erfolgte unmittelbar vor und nach der Lernphase. Vor diesem Hintergrund mussten die Lerner ihre aufgabenspezifische Motivation selbst einschätzen. Um eine möglichst kurze Unterbrechung dieses Ablaufs zu gewährleisten, wurden ebenfalls nur die beiden Subskalen *Herausforderung* und *Interesse* eingesetzt, die sich durch eine hohe Prädiktionskraft auf den Lernerfolg auszeichnen (Rheinberg, 2004). Ein Beispiel für die Subskala *Herausforderung* lautet „Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.“ Ein Beispielimitem für die Subskala *Interesse* lautet „Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.“ Diese beiden Subskalen enthalten insgesamt neun Aussagen, bei denen der Lerner auf einer siebenstufigen Skala (1 = trifft

nicht zu bis 7 = trifft zu) bewerten muss, wie zutreffend sie sind. Der Score für die Motivation errechnet sich aus der mittleren Bewertung aller neun Items. Die Erfassung der Motivation sowohl vor als auch nach der Lernphase ermöglicht eine Analyse des Einflusses der Motivation auf die Strategieranwendung während der Lernphase. Sie ermöglicht aber auch die Analyse des direkten Einflusses der Motivation auf das Beantworten der abschließenden Tests, wofür in den vorangegangenen Studien kontrolliert wurde.

8.4.2 Interesse und Demografische Variablen

Das Interesse am Fach Physik und Chemie wurde erneut mit dem Fragebogen von Baumert et al. (1986) ermittelt, der sich sowohl durch eine sehr gute Reliabilität, Validität als auch durch eine hohe Ökonomie auszeichnet.

Um bei den Analysen mögliche systematische Effekte demografischer Variablen überprüfen zu können, wurden die Lerner mittels eines selbstentwickelten Fragebogens zu ihrem Alter, ihrem Geschlecht sowie zu ihren letzten Zeugnisnoten in den Fächern Physik, Chemie, Biologie, Mathematik, Deutsch und Englisch befragt.

8.5 Stichprobe

An der Evaluationsstudie nahmen insgesamt $N = 274$ Schüler der Sekundarstufe I von acht Gymnasien in NRW teil. Alle teilnehmenden Klassen hatten weder das Thema *Auftrieb in Flüssigkeiten* und noch das Thema *Säuren und Basen* vorab im Unterricht behandelt. In der Studie mussten Schüler an zwei Testtagen jeweils selbständig mit einer der unterschiedlichen computerbasierten Lernumgebungen arbeiten. Die Stichprobe dezimierte sich aufgrund des Fehlens von Schülern an einem der beiden Testtagen oder zu kurzen Explorationszeiten. Zu kurze Explorationszeiten ergaben sich, wenn Schüler weniger als 10 Minuten aktiv in der Lernumgebung experimentierten. Dies konnte mittels der erfassten Zeit jedes Eingriffes in den Logfiles ermittelt werden. Die 12 ausgeschlossenen Schüler unterschieden sich nicht hinsichtlich der erfassten Variablen und können somit als *random missings* bewertet werden. Zur Auswertung der Evaluationsstudie lagen schließlich von $N = 262$ Schülern vollständige Datensätze zu beiden Testtagen vor, die die Grundlage aller folgenden Angaben und Analysen bilden. Von den verbliebenen 262 Schülern waren 38.5% weiblich, 59.5% männlich und 1.5% machten keine Angabe zu ihrem Geschlecht. Die Schüler waren im Durchschnitt 14.1 Jahre alt ($SD = 1.05$).

8.6 Durchführung

Die Untersuchung fand an zwei Testtagen in jeweils einer Schuldoppelstunde von insgesamt 90 Minuten in acht Schulen in NRW statt.

Erster Testtag. Am ersten Testtag wurden die Schüler der teilnehmenden Klassen zu Beginn von den Testleiterinnen begrüßt und erhielten kurze Informationen über das Projekt in dessen Rahmen die Testung stattfand. Die Schüler erhielten danach Informationen zum Ablauf der Testung, den zu bearbeitenden Tests und zu der zu bearbeiteten Lernumgebung. Anschließend gab es die Möglichkeit Fragen zu dem Projekt, zum Ablauf des Tages bzw. zu der jeweiligen Lernumgebung zu stellen. Vor dem eigentlichen Beginn wurden die Schüler darauf hingewiesen, dass die Klasse, die am besten in den deklarativ-konzeptuellen Wissenserverbstests abschneidet, eine Belohnung von 50€ für die Klassenkasse erhält.

Zu Beginn des Testprogramms füllten die Schüler zunächst den papierbasierten Fragebogen zum Fachinteresse der betreffenden Lernumgebung aus und machten Angaben zu den demografischen Variablen. Für diese Bearbeitung waren 5-10 Minuten eingerechnet. Im Anschluss konnten die Schüler mit der Bearbeitung des computerbasierten Tests beginnen. Zunächst sollte der Fragebogen zum deklarativ-konzeptuellen Inhaltswissen der betreffenden Lernumgebung bearbeitet werden. Dafür wurde eine Bearbeitungszeit von 10-15 Minuten eingerechnet. Für den folgenden computerbasierten Strategiewissenstest, auf den in diesem Kapitel nicht näher eingegangen wird, wurde ebenfalls eine Bearbeitungszeit von ca. 15 Minuten eingerechnet. Anschließend wurde den Schülern in einem computerbasierten Tutorial die Bedienung des als Flip-Chart dargestellten Hypothesenraums erklärt sowie die Bedeutung der verwendeten Labels erläutert. Die Erläuterungen der Bedienung sowie Beispiele zur Anwendung wurden den Schüler in Animationen präsentiert, womit die Belastung des Arbeitsgedächtnisses möglichst reduziert werden sollte (Mayer, 2009). Darüber hinaus mussten Übungen zum Notieren von Zusammenhängen bearbeitet werden (vgl. Abschnitt 4.1.3). Das Tutorial zum Aufbau und zur Bedienung des als Labor dargestellten Experimenterraums wurde anschließend ebenfalls in Form von Animationen präsentiert. Insgesamt wurde für die Bearbeitungszeit der Tutorials ca. 20 Minuten eingerechnet. Abhängig davon ob Animationen nur einmal oder mehrfach angesehen wurden, konnte sich die Zeit um zwei bis drei Minuten verlängern. Im Anschluss an beide Tutorials und vor dem jeweiligen Auftrag für die Lernphase, wurden die Schüler aufgefordert in ca. drei Minuten den *Fragebogen zur Aktuellen Motivation* (FAM) auszufüllen. Nach dem FAM erhielten die Schüler den allgemeinen Arbeitsauftrag für die jeweilige Lernumgebung. Für die Chemie-Lernumgebung *Säuren und Basen* lautete der Auftrag „Finde so viel wie möglich darüber heraus, wovon es abhängt ob eine Lösung sauer, neutral oder basisch wird.“. Der Arbeitsauftrag für die Physik-Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* lautete

„Finde so viel wie möglich darüber heraus, wovon es abhängt ob ein Körper im Wasser sinkt, schwebt oder steigt.“. In der folgenden 15 Minuten langen Lernphase sollten die Schüler entsprechend der Arbeitsaufträge selbständig entdeckend experimentieren und Zusammenhänge explorieren. Dabei wurde die Reihenfolge, in der die Klassen selbständig in der Chemie- oder Physik-Lernumgebung experimentierten, alterniert. So sollten Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen werden. Im direkten Anschluss an die Lernphase sollte erneut der FAM ausgefüllt werden, gefolgt vom jeweiligen deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerbtest und dem Strategiewissenstest. Für das Bearbeiten der drei Tests wurden wieder insgesamt ca. 30 Minuten eingerechnet. Nach dem Beenden der computerbasierten Tests wurden den Schülern für die Teilnahme an der Studie gedankt und sie erhielten zur Belohnung Süßigkeiten.

Zweiter Testtag. Nach einer kurzen Begrüßung und einem Überblick über den zweiten Testtag, wurde zunächst die standardisierte Instruktion des KFT durchgeführt. Im Anschluss hatten die Schüler acht Minuten Zeit die Aufgaben der papierbasierte Version des KFT so gut wie möglich zu bearbeiten. Nach den acht Minuten wurden die Testhefte von den Testleiterinnen eingesammelt. Anschließend folgte analog zum ersten Testtag das computerbasierte Testprogramm bestehen aus deklarativ-konzeptuellen Vorwissenstest, Strategiewissenstest, den Tutorials zum Aufbau und zur Bedienung des Experimente- und Hypothesenraums, dem FAM (prä) der 15-minütigen Lernphase in der jeweiligen anderen Lernumgebung, dem FAM (post), deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerbtest und dem Strategiewissenstest. Nach dem Beenden des Testprogramms erhielten die Schüler erneut Süßigkeiten als Dankeschön für die Teilnahme an der Studie.

Hilfe-Karten. Nach der Testung der ersten vier Klassen viel auf, dass die Schüler mit dem komplexen Thema *Säuren und Basen* große Problem hatten. Die Begrifflichkeiten, die die Schüler im Tutorial erlernt hatten (z. B. Natriumhydroxid-Lösung), konnten sie sich größtenteils nicht merken. Dies führte dazu, dass das selbständige Explorieren in der Lernumgebung erschwert wurde. Darauf wurde unmittelbar während der laufenden Studie mit Hilfe-Karten reagiert, die den Schülern zur Explorationsphase neben den Laptop gelegt wurden. Auf diesen Karten konnten die Schüler alle wichtigen Informationen, die sie im Tutorial erhalten hatten, noch einmal während der Lernphase nachlesen. Um die Bedingungen für beide Testtage gleich zu halten, wurde auch bei der Physik-Testung eine Hilfe-Karte mit den relevanten Begriffen des Tutorials präsentiert, auch wenn die Schüler überwiegend auch ohne Hilfestellung selbständig experimentierten. Für den Erhalt der Hilfe-Karte zum Thema *Säuren und Basen* wurde bei den anschließenden Analysen kontrolliert.

Belohnung der besten Klasse. Nach der Auswertung der Daten erhielten alle Klassen eine Übersicht über das Abschneiden der gesamten Klasse im Verhältnis zu den anderen Klassen bezüglich der Strategieanwendung und des Abschneidens in den Wissenstests und

den Strategiewissenstests. Die beste Klasse erhielt dazu die Belohnung von 50 € als Beitrag für die Klassenkasse.

8.7 Ergebnisse

8.7.1 Deskriptivstatistik

Die Deskriptivstatistik zeigte, dass bei einer verbleibenden Stichprobe von $N = 262$ die Schwierigkeit aller eingesetzten Instrumente mit einem Mittelwert zwischen $M = .05$ und $M = .70$ sehr hoch bis angemessen ist. Insbesondere im Bezug auf den WET-Chemie zeigte sich eine erhöhte Schwierigkeit. Dies ist möglicherweise durch den komplexen Fachinhalt und die dazugehörigen komplexen Begrifflichkeiten wie z. B. Natriumhydroxid-Lösung zu erklären, was für Lernende die Schwierigkeit erhöhen könnte. Auch die Strategiemäße weisen eine erhöht Schwierigkeit auf.

Aus Tabelle 8.1 wird ersichtlich, dass die Anwendung der Interaktions-Strategie in beiden Lernumgebungen sehr gering ist. Auffallend ist auch, dass die Strategieranwendung in der Chemie-Lernumgebung geringer ist als in der Physik-Lernumgebung.

Tabelle 8.1: Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der Evaluationsstudie

Maß	<i>M</i>	<i>SD</i>	In %	Reliabilität	Items
Mapping-Strategie (Physik)	20.299	6.127	34%	.927	3
Systematische Experimente (Physik)	7.187	6.127	48%	.874	3
Interaktions-Strategie (Physik)	2.306	1.789	6%	.747	3
Mapping-Strategie (Chemie)	11.724	7.220	14%	.928	3
Systematische Experimente (Chemie)	7.347	4.224	55%	.853	3
Interaktions-Strategie (Chemie)	2.720	2.169	5%	.851	3
Deklarativ-konzeptuelles Wissen Physik (prä)	.303	.221		.769	15
Deklarativ-konzeptuelles Wissen Physik (post)	.384	.255		.824	14
Deklarativ-konzeptuelles Wissen Chemie (prä)	.162	.199		.795	15
Deklarativ-konzeptuelles Wissen Chemie (post)	.238	.209		.775	14
Motivation 1. Testung (prä)	.492	.210		.830	9
Motivation 1. Testung (post)	.453	.230		.852	9
Motivation 2. Testung (prä)	.408	.219		.857	9
Motivation 2. Testung (post)	.381	.227		.865	9
Intelligenz	.700	.197		.832	25

Zudem weist die Reliabilität der neu entwickelten Maße, die im Sinne der internen Konsistenz mittels Cronbach's α geprüft wurde, für die Maße mit $.75 < \alpha > .93$ gute bis sehr gute Werte auf. Auch in dieser Studie wurde die Reliabilität der gebildeten Strategiemäße berechnet, indem wieder drei zeitunabhängige Parcels der Anwendung der

jeweiligen Strategie gebildet wurden und als *Items* in die Berechnung der internen Konsistenz eingingen.

8.7.2 Testung des SDDS-Modells

Ebenso wie in der Re-Analyse und in Studie I wurde mittels der entwickelten Algorithmen Maße für die Anwendung von Strategien berechnet, um die in Hypothese H1 angenommene Lernwirksamkeit der Interaktions-Strategie in Bezug auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen zu überprüfen.

8.7.2.1 Lernerfolg

Lernzuwachs. Um festzustellen, ob das Experimentieren in den computerbasierten Lernumgebungen zu einem Lernzuwachs führt, wurde die Differenz zwischen den Anker-Items des deklarativ-konzeptuellen Vorwissenstests gebildet und auf statistische Bedeutsamkeit geprüft. Es zeigte sich, dass die Lernenden im deklarativ-konzeptuellen Wissenstest Physik im Schnitt 0.73 ($SD = 1.95$) Items mehr richtig beantworten als im entsprechenden Vorwissenstest. Diese Differenz ist statistisch bedeutsam ($t(259) = 6.04$; $p < .001$) und mit $d = .37$ als mittel starker Effekt zu betrachten. Ebenso zeigte sich für den deklarativ-konzeptuellen Wissenstest Chemie, dass die Lernenden im Schnitt .50 ($SD = .90$) Items mehr richtig beantworten können als im entsprechenden Vorwissenstest. Diese Differenz ist zwar statistisch bedeutsam ($t(259) = 8.97$; $p < .001$), aber mit $d = .24$ als kleiner Effekt zu betrachten.

Korrelationen mit dem Lernerfolg. Um einschätzen zu können, ob die Anwendung der Strategien in den unterschiedlichen Lernumgebungen mit den entsprechenden Lernerfolgsmaßen zusammenhängen, wurden Korrelationen berechnet. Aus Tabelle 8.2 kann entnommen werden, dass in beiden Lernumgebungen bis auf das unsystematische Experimentieren alle angewandten Strategien positiv mit dem jeweils deklarativ-konzeptuellen Wissen (post) korrelieren. Erneut zeigt sich, dass zwischen der Anwendung der Mapping-Strategie und dem deklarativ-konzeptuellen Wissen (post) kein Zusammenhang besteht. Dies kann durch die bereits dargelegte mangelnde Möglichkeit, die inhaltliche Qualität der Mapping-Strategie zu erfassen, erklärt werden. Dennoch zeigt sich, dass wenn der Anteil der relevanten notierten Zusammenhänge berechnet wird, dass sowohl für die Chemie ($r = .17$) als auch für die Physik ($r = .45$) bedeutsame Korrelationen mit den Lernerfolgsmaßen aufgezeigt werden können. Somit kann dennoch ein Indikator für die Qualität des Mappings berechnet werden, der wiederum zeigt, dass Lernende, die relevante Zusammenhänge explorieren und überprüfen, mehr inhaltliches Wissen generieren.

In den Korrelationen zeigte sich auch, dass erwartungsgemäß für beide Lernumgebungen, die Anwendung der Interaktions-Strategie am stärksten mit dem deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb zusammenhängt. Ebenso wie für die Physik-Lernumgebung zeigt sich folglich in dieser Studie auch für die Chemie-Lernumgebung *Säuren und Basen*, dass beim selbständig entdeckenden Experimentieren die Strategie der Interaktion bedeutsam mit dem neu entwickelten Lernerfolgsmaß zusammenhängt. Anders als in den vorangegangenen Studien zeigte sich aber in dieser Studie, dass die Korrelation mit den systematischen Experimenten geringer ausfällt.

Die insgesamt niedrigeren Korrelationen mit dem Chemie-Test sind möglicherweise durch die hohe Schwierigkeit des Tests und des sehr komplexen Fachinhalts zu erklären.

Tabelle 8.2: Korrelationen der Strategieanwendung mit dem jeweiligen Lernerfolgsmaß

	<i>Unsystematische Experimente</i>	<i>Mapping-Strategie</i>	<i>Systematische Experimente</i>	<i>Interaktions-Strategie</i>
Deklarativ-konzeptuelles Wissen Physik (post)	-.137**	.004	.054	.309**
Deklarativ-konzeptuelles Wissen Chemie (post)	-.134*	.089	.047	.184**

* $p < .05$; ** $p < .001$

8.7.2.2 Strategieanwendung

Zur Überprüfung der Hypothese H1, dass die Anwendung der Strategien gemäß des SDDS-Modells bedeutsam in den unterschiedlichen Lernumgebungen zusammenhängt, wurden in einem nächsten Schritt Korrelationen zwischen den Strategiemäßen *Physik* und den Strategiemäßen *Chemie* berechnet. Wie in Tabelle 8.3 abgebildet, wird deutlich, dass sich die Anwendung der Experimentierstrategien in beiden Lernumgebungen abbilden lässt und signifikant untereinander korreliert. Weitergehend zeigt sich, dass dieselben Strategien, die in der einen Lernumgebung angewandt wurde stärker mit der entsprechenden Strategie, die in der zweiten Lernumgebung angewandt wurde korreliert, als mit der Anwendung anderer Strategien. Z. B. korreliert die Anwendung der Interaktions-Strategie in der Chemie-Lernumgebung stärker mit der Anwendung der Interaktions-Strategie als mit den durchgeführten systematischen Experimenten in der Physik-Lernumgebung. Somit zeigen sich Hinweise darauf, dass es sich um domänenübergreifende Strategien handelt, die sich für Fördermaßnahmen eignen. Es zeigt sich demnach auch, dass inhaltsübergreifende Strategien gemäß dem SDDS-Modell in den Lernumgebungen erfasst werden können. Folglich kann der erste Teil der Hypothese H1 bestätigt werden.

Tabelle 8.3: Interkorrelationsmatrix der Strategie Operationalisierung nach dem SDDS-Modell

<i>Physik</i>	<i>Unsystematische Experimente</i>	<i>Systematische Experimente</i>	<i>Interaktion</i>
<i>Chemie</i>			
Unsystematische Experimente	.260**	.162**	.094
Systematische Experimente	.094	.197**	.135*
Interaktion	-.044	.008	.215**

* $p < .05$; ** $p < .001$

8.7.2.3 Lernwirksamkeit der Interaktions-Strategie

Um die Hypothese H1a und damit die Generalisierbarkeit der lernwirksamen Effekte der Strategieanwendung im Sinne des SDDS-Modells auf einen weiteren naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich zu prüfen, wurde unter Berücksichtigung des deklarativ-konzeptuellen Vorwissens und der Motivation getestet, ob die Anwendung der Interaktions-Strategie in beiden Lernumgebungen einen größeren Einfluss auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen (post) hat, als das systematische und das unsystematische Experimentieren.

Varianzanalysen. Für die bereits vorhandene Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* konnte mit einem allgemeinen linearen Modell erneut gezeigt werden, dass die Interaktions-Strategie gegenüber dem systematischen Experimentieren im Experimenterraum und dem unsystematischen Experimentieren einen zusätzlichen Effekt auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb hat ($F(1,255) = 26.99$; $p < .001$; partielles $\eta^2 = .096$). Dieser Effekt ist als mittlerer Effekt zu bewerten (Cohen, 1988). Davon vorab beobachtet wurde, dass die Lerner die angebotenen Hilfe-Karten in der Physik-Lernumgebung nicht verwendeten und der Einsatz der Karten nicht mit dem Wissen (post) korreliert, wurde nur das Vorwissen und die Motivation mit in das Modell aufgenommen. Es zeigte sich auch, dass die Modell-Fits durch die Aufnahme der Variable Hilfe-Karten schlechter wurden. Daher werden die Hilfe-Karten in der Physik-Lernumgebung nicht als echte Hilfe erachtet.

Ebenso konnte dieser Effekt für die Lernumgebung *Säuren und Basen* in einem allgemeinen linearen Modell unter Berücksichtigung des deklarativ-konzeptuellen Vorwissens, der Motivation und der angebotenen Hilfe-Karten bestätigt werden ($F(1,255) = 4.496$; $p < .05$; partielles $\eta^2 = .017$). Dieser Effekt ist als kleiner Effekt zu bewerten (Cohen, 1988). Dementsprechend zeigt sich, dass der Effekt für den physikalischen Inhaltsbereich stärker ist als für den chemischen Inhaltsbereich.

Pfadmodelle. Darüber hinaus konnte mittels Pfadmodellen ebenfalls gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung des Vorwissens und der Motivation, die Anwendung der

Interaktions-Strategie der stärkste Prädiktor für das deklarativ-konzeptuelle Wissen (post) ist. Wie erwartet zeigte sich, dass die Anwendung der Interaktions-Strategie ($b = .24$, $p < .001$) nach dem Vorwissen einen stärkeren Einfluss auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen hat als das systematische und das unsystematische Experimentieren.

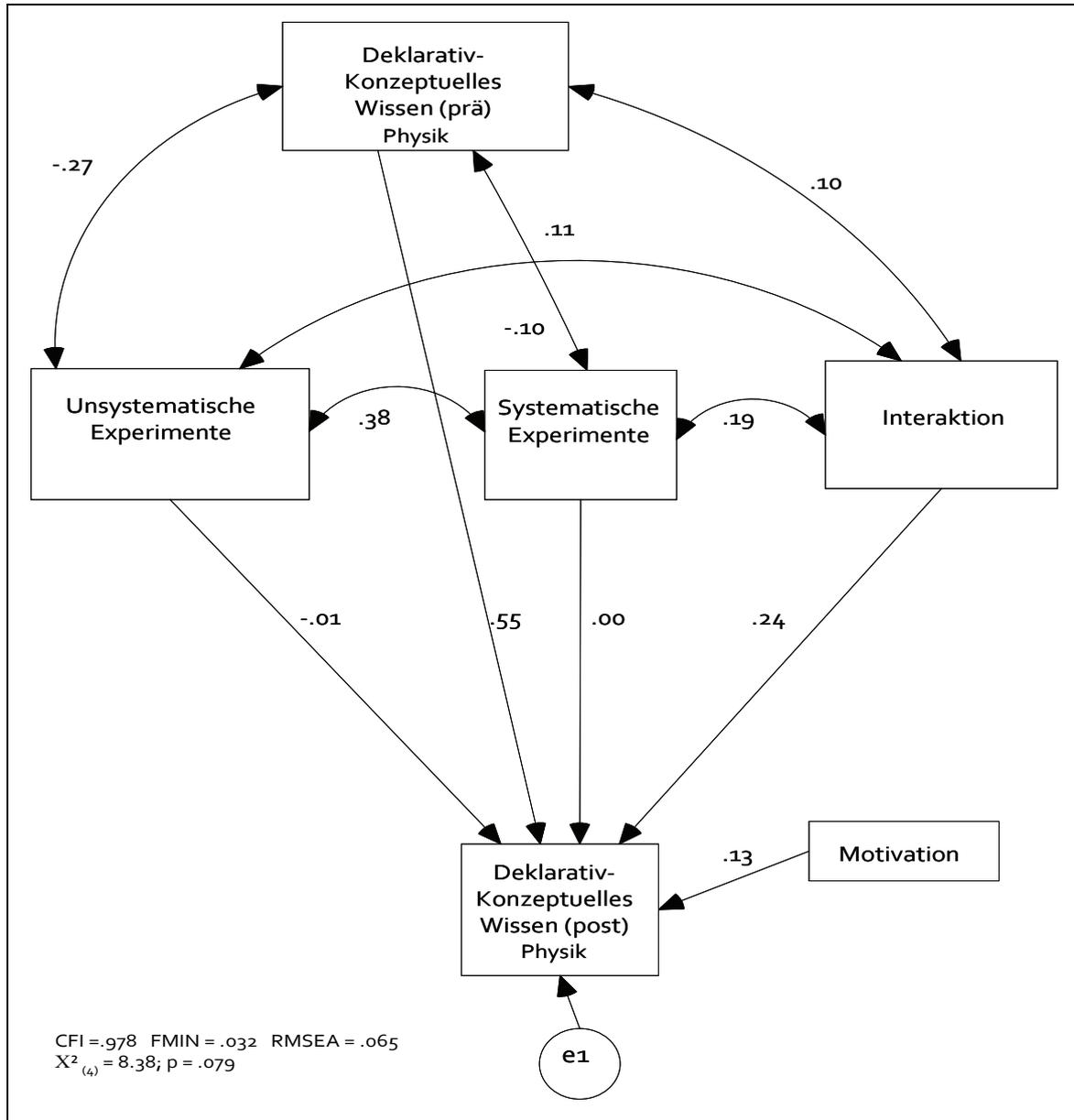


Abbildung 8.1: Pfadmodell zur Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Anwendung der Interaktions-Strategie in beiden Räumen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen)

Für das selbständig entdeckende Experimentieren in der Lernumgebung *Säuren und Basen* konnte ebenfalls gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung des Vorwissens, der Motivation und der angebotenen Hilfe-Karten, die Anwendung der Interaktions-Strategie ($b = .11$, $p < .05$) einen stärkeren Beitrag zur Erklärung des deklarativ-konzeptuellen Wissens (post) leisten kann als das systematische und das unsystematische

Experimentieren. Wie erwartet zeigte sich, dass die Anwendung der Interaktions-Strategie nach dem Vorwissen einen stärkeren Einfluss auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen hat als das systematische und das unsystematische Experimentieren. Dennoch wird hier deutlich, dass die Effekte geringer ausfallen als im physikalischen Inhaltsbereich. Auch die Fit-Indices fallen für den Inhaltsbereich *Säuren und Basen* geringer aus. Dies ist möglicherweise durch die Aufnahme der Variablen Hilfe-Karten zu erklären, die eigentlich nicht zu den Variablen im SDDS-Modell gehört.

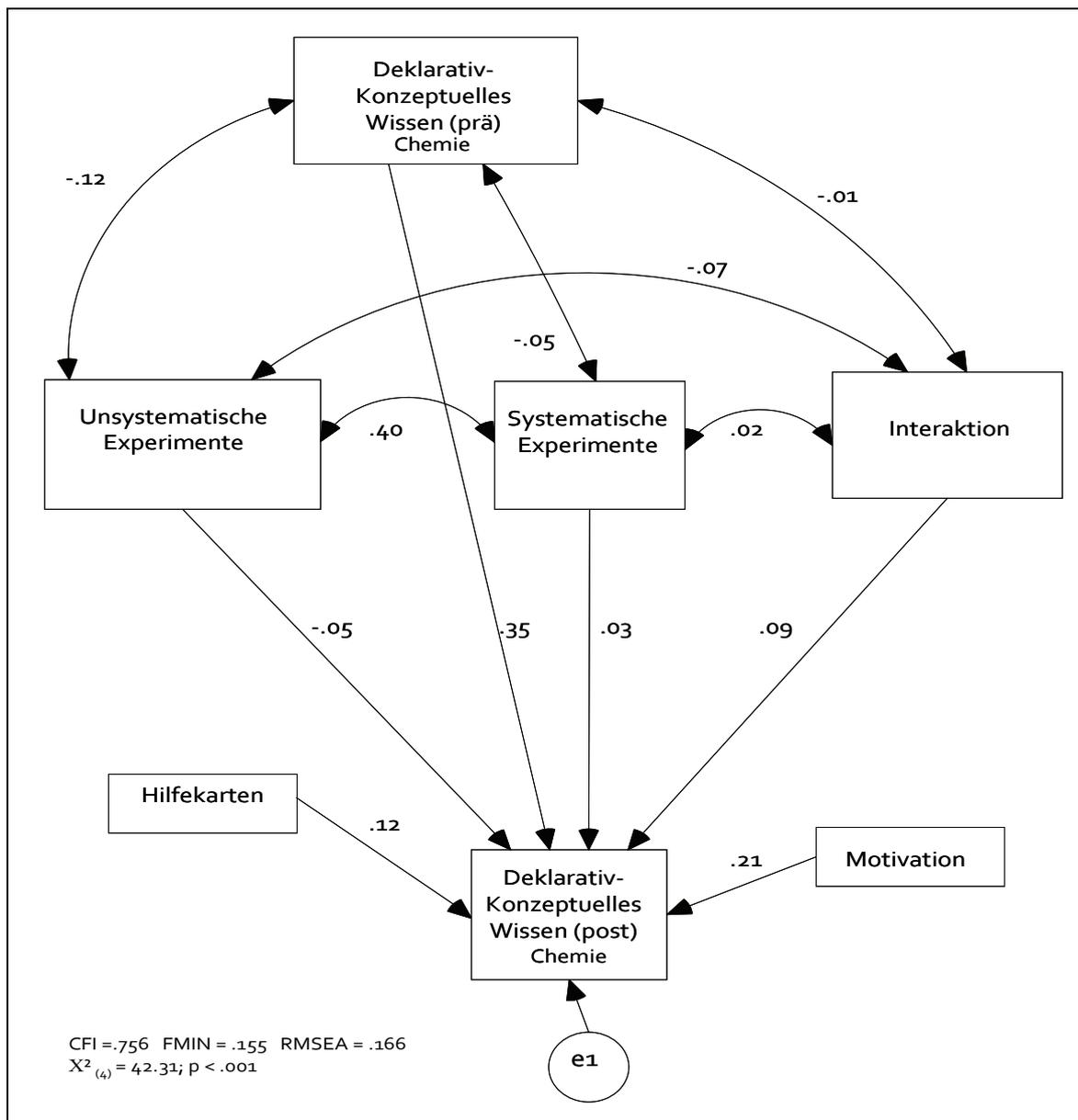


Abbildung 8.2: Pfadmodell zur Lernumgebung *Säuren und Basen* (Effekt von unsystematischen Experimenten, systematischen Experimenten und der Anwendung der Interaktions-Strategie in beiden Räumen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen)

Bezüglich der Hypothese H1a kann folglich festgestellt werden, dass das SDDS-Modell nach Klahr und Dunbar (1988) nicht nur für unterschiedliche Wissensarten, sondern auch

auf verschiedene naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche generalisierbar ist. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass für den chemischen Inhaltsbereich nur kleine Effekte hinsichtlich der Lernförderlichkeit der Interaktions-Strategie gefunden wurden. Insgesamt lässt sich aber feststellen, dass obwohl die Effekte geringer und die Fit-Indices schlechter sind, sich auch für die Chemie-Lernumgebung dasselbe Muster wie für die Physik-Lernumgebung zeigen lässt. Folglich kann die Hypothese H1a nur unter Vorbehalt als bestätigt gelten und es bedarf weiterer Untersuchungen.

8.7.3 Testung des Fehlermodells

Auf Basis der Ergebnisse der vorangegangenen Studien, die die Erkenntnisse der Literatur zu Fehlern und Problemen beim selbständig entdeckenden Experimentieren (Azevedo et al., 2004; de Jong & van Joolingen, 1998; Löhner et al., 2005; Manlove et al., 2006) bestätigen, wurde in dieser Studie der Frage nachgegangen, ob sich auch das Fehlermodell auf den Inhaltsbereich *Säuren und Basen* übertragen lässt. Folglich wurde ebenfalls mittels der entwickelten Algorithmen Maße für die Fehler beim Experimentieren (vgl. Abschnitt 4.3.2) berechnet. Durch die Weiterentwicklung der Experimentierumgebung konnten bei der Berechnung auch die Fehlertypen, die sich auf das Sichern von Ergebnissen beziehen, berücksichtigt werden (vgl. Abschnitt 7.5.4).

8.7.3.1 Deskriptivstatistik

Wie Tabelle 8.4 zu entnehmen ist, zeigte die Deskriptivstatistik, dass die Häufigkeit der Fehler beim Experimentieren sehr hoch ist. Dies gilt im gleichen Maße für die Chemie-Lernumgebung wie für die Physik-Lernumgebung.

Tabelle 8.4: Mittelwerte, Standardabweichung und Reliabilitäten der Fehlermaße

Fehlermaß	<i>M</i>	<i>SD</i>	Reliabilität	Items
Fehlende Hypothesen (Physik)	.511	.124	.855	3
Unsystematische Experimente (Physik)	.485	.060	.691	3
Fehlende Experimente (Physik)	.560	.061	.707	3
Unsystematische Hypothesen (Physik)	.504	.110	.702	3
Fehlende Experimente zur Sicherung (Physik)	.634	.084	.754	3
Unsystematische Sicherung (Physik)	.842	.071	.514	3
Fehlende Sicherung (Physik)	.499	.139	.659	3
Fehlende Hypothesen (Chemie)	.332	.112	.872	3
Unsystematische Experimente (Chemie)	.676	.054	.629	3
Fehlende Experimente (Chemie)	.428	.068	.806	3
Unsystematische Hypothesen (Chemie)	.562	.124	.711	3
Fehlende Experimente zur Sicherung (Chemie)	.663	.067	.801	3
Unsystematische Sicherung (Chemie)	.643	.121	.569	3
Fehlende Sicherung (Chemie)	.378	.116	.624	3

Zudem weist die Reliabilität, die im Sinne der internen Konsistenz mittels Cronbach's α berechnet wurde, mit $.62 < \alpha > .86$ überwiegend zufriedenstellende bis gute Werte auf.

8.7.3.2 Fehler in den unterschiedlichen Lernumgebungen

Zur Überprüfung der Hypothese H2, ob die Fehlerarten in den unterschiedlichen Lernumgebungen bedeutsam zusammenhängen, wurden Korrelationen berechnet. Wie in Tabelle 8.5 abgebildet, wird deutlich, dass sich die Fehlerarten in beiden Lernumgebungen abbilden lassen und signifikant untereinander korrelieren. Weitergehend zeigt sich, dass die jeweils selbe Fehlerart in beiden Lernumgebungen stärker untereinander korreliert als mit anderen Fehlerarten. Dennoch zeigt sich, dass zwischen den neuen Fehlerarten, die sich auf das Sichern von Ergebnissen beziehen, keine bedeutsamen Korrelationen gefunden werden. Möglicherweise sind diese Ergebnisse auf die geringe Anzahl der Eingriffe, bei denen der Fehler hätte auftreten können, zurückzuführen. In Bezug auf den ersten Teil der Hypothese 2 muss demnach ein differenziertes Resümee gezogen werden. Es können nur für die Fehlerarten *Fehlende Hypothesen*, *Unsystematische Experimente*, *Fehlende Experimente* und *Unsystematische Hypothesen* bedeutsame Zusammenhänge zwischen den Lernumgebungen gefunden werden.

Tabelle 8.5: Interkorrelationen zwischen Fehlerarten

	Chemie	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Physik								
1. Fehlende Hypothesen		.198**	-.023	.093	-.048	-.115	.067	.028
2. Unsystematische Experimente		-.028	.219**	.041	.160*	.134*	-.055	-.009
3. Fehlende Experimente		-.130*	.077	.192**	.048	.207**	.171*	.055
4. Unsystematische Hypothesen		-.06	.184**	.077	.195**	.054	-.026	-.016
5. Fehlende Experimente zur Sicherung		-.031	.115	.045	.089	.103	.034	.035
6. Unsystematische Sicherung		-.017	.195**	.037	.163**	.117	.065	-.027
7. Fehlende Sicherung		-.075	.061	-.030	.089	.067	.019	.019

* $p < .05$; ** $p < .001$

8.7.3.3 Einfluss von Fehlern auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen

Mittels eines Pfadmodells wurde die Hypothese H2a, dass sich die fehlerhafte Anwendung von Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren auch in der Chemie negativ auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen auswirkt, überprüft. Dazu wurden die sieben Fehlerarten in zwei Fehlertypen unterteilt. Unterschieden werden dabei Fehler, die sich auf das *Abweichen vom Experimentierzyklus* (fehlende Experimente/Hypothesen/Sicherung) bzw. auf Fehler, die sich auf die *fehlerhafte Anwendung von Strategien* (unsystematische Experimente/Hypothesen/Sicherung) beziehen.

In einem Pfadmodell für den physikalischen Inhaltsbereich zeigte sich, dass die fehlerhafte Anwendung von Strategien einen stärkeren negativen Einfluss ($b = -.16$, $p < .05$) auf das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen hat, als das Abweichen vom Experimentierzyklus.

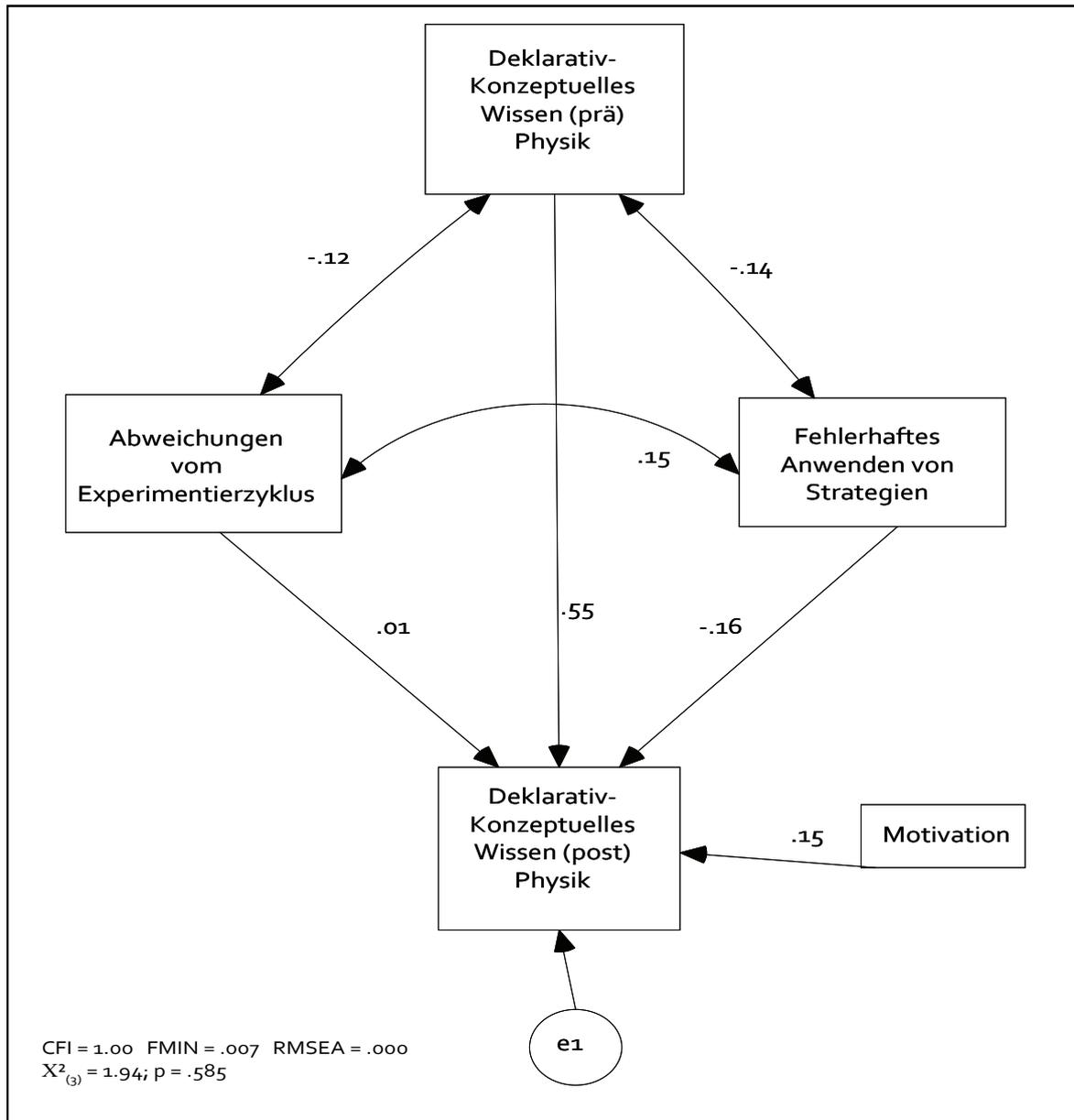


Abbildung 8.3: Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen Physik)

In einem Pfadmodell für den chemischen Inhaltsbereich zeigte sich dagegen, dass sowohl die fehlerhafte Anwendung von Strategien als auch das Abweichen vom Experimentierzyklus einen leichten negativen Einfluss auf das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen hat. Beide Variablen sind aber keine bedeutsamen Prädiktoren für den Lernerfolg. Die Ursache für die Nicht-Übereinstimmung mit dem Modell für die Physik könnte möglicherweise in der Berechnung der Fehlertypen liegen.

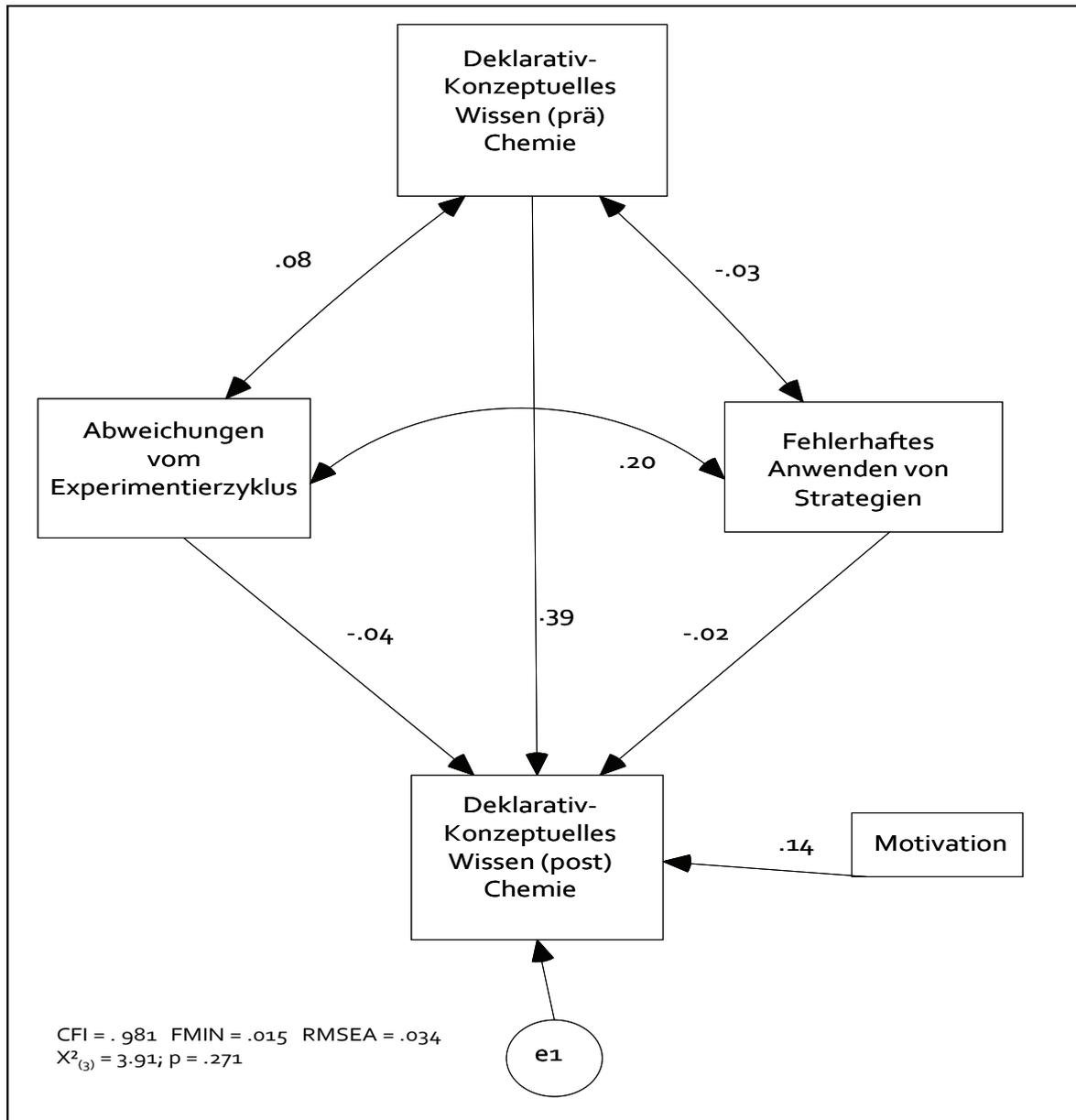


Abbildung 8.4: Pfadmodell (Effekt von Fehlern beim Experimentieren auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen Chemie)

Berechnet man nur die Fehlerarten in die Fehlertypen mit ein, für die bedeutsame Korrelationen zwischen den Lernumgebungen gefunden wurden, dann zeigt sich ein knapp nicht signifikanter negativer Effekt für die fehlerhafte Anwendung von Strategien ($b = -.11; p < .07$). Erwartungsgemäß zeigt sich dann auch für das Abweichen vom Experimentierzyklus kein Einfluss auf das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen. Dennoch zeigt sich auch hier, dass die Effekte geringer sind als beim physikalischen Inhaltsbereich.

Vor diesem Hintergrund kann die Hypothese H2a nicht endgültig bestätigt werden. Weitere Untersuchungen müssen durchgeführt werden, um die gefundenen Effekte näher gehend zu analysieren. Insgesamt zeigt sich auch in dieser Studie, dass Fehler beim

selbständig entdeckenden Experimentieren häufig vorkommen und einen negativen Einfluss auf den Lernerfolg haben. Dies gilt für beide Wissensarten vor allem für Fehler, die sich auf das unsystematische Vorgehen beziehen, d. h. das Prozesse oder *Suchen* in einem der beiden Räume (Klahr & Dunbar, 1988) beim Experimentieren fehlerhaft ausgeführt werden.

8.8. Diskussion

Zusammenfassend ist es in der Evaluationsstudie weitestgehend gelungen das SDDS-Modell auf einen weiteren Inhaltsbereich zu generalisieren.

Aus theoretischer Perspektive konnte mit den berechneten Maßen für die Strategien gezeigt werden, dass die nach dem SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988) operationalisierte Anwendung von Experimentierstrategien auch in einem weiteren Inhaltsbereich lernwirksam ist und die Strategieanwendung zwischen den Lernumgebungen erwartungsgemäß korreliert. Das bedeutet, dass die jeweils gleichen Strategien in den verschiedenen Lernumgebungen stärker untereinander korrelieren als mit anderen Strategien. Somit zeigen sich Hinweise darauf, dass es sich um domänenübergreifende Strategien handelt, die sich für Fördermaßnahmen eignen. Aber es zeigte sich auch eine stärker als erwartete Korrelation zwischen dem systematischen Experimentieren in der Chemie und der Interaktions-Strategie in der Physik. Ebenso zeigte sich eine stärker als erwartete Korrelation zwischen den unsystematischen Experimenten in der Chemie und den systematischen Experimenten in der Physik. Das zeigt, dass die Strategien in der Chemie jeweils auch mit der als *ranghöher* klassifizierten Strategie in der Physik korrelieren. Dies lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass im sehr komplexen Inhaltsbereich *Säuren und Basen* Lernende nicht in der Lage sind systematisch zu agieren. Dies kann zur Folge haben, dass Lernende Aktionen durchführen, die unsystematisch erscheinen, hinter denen aber dennoch eine gewisse Systematik steckt und somit Informationen zum Erlernen des zugrunde liegenden Modells generiert werden konnten. Beispielsweise können durch Beobachtungen verschiedener Mischungen, die nicht mit isolierender Variablenkontrolle ausgeführt wurden dennoch Informationen bezüglich der pH-Werte oder der Farbe des Universalindikators abgeleitet werden. Weitergehend kann angenommen werden, dass hinter den unsystematischen Aktionen eine gewisse Systematik steckt, die in den Logfiles nicht erfasst wurde. Dieses durch die logfile-basierte Erfassung entstehende Problem kann möglicherweise durch eine kombinierte Analyse mit der Methode des *Lauten Denkens* überprüft werden. Auf Basis eines Vergleichs von *Lauten Denken*-Daten mit den logfile-basierten Verhaltensdaten könnte analysiert werden, ob unsystematisch erscheinenden Aktionen tatsächlich ein

systematisches Verhalten zugrunde liegt. Dies könnte wiederum zu einer Modifizierung bzw. Präzisierung des Maßes führen.

Aus theoretischer Perspektive konnte zudem mit Hilfe der neu entwickelten Lernumgebung Hinweise auf die Generalisierbarkeit des SDDS-Modells auf verschiedene naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche gefunden werden. Beim selbständig entdeckenden Experimentieren konnte auch für einen chemischen Inhaltsbereich die Annahme, dass Suchprozesse, die in beiden *Räumen* stattfinden, lernförderlicher sind als Strategien, die nur innerhalb eines Raumes eingesetzt werden (z. B. Vollmeyer & Burns, 1996), bestätigt werden. Auch wenn die Koeffizienten weniger stark ausgeprägt sind als für den physikalischen Inhaltsbereich, so zeigt sich dennoch derselbe Einfluss der Variablen unsystematische Experimente, systematische Experimente und Interaktion. Vor diesem Hintergrund können erste Hinweise hinsichtlich der Allgemeingültigkeit der Effektivität der Anwendung von interagierenden Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren gefunden werden.

Ein Faktor, der die Ursache für den geringeren Einfluss der Variablen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen in der Chemie-Lernumgebung sein könnte, ist die geringere Strategieranwendung. Aber auch die bereits während der Studie erkannte hohe Komplexität des Inhaltsbereichs, die sich durch die schwierigen chemischen Begrifflichkeiten (z. B. Natriumhydroxid-Lösung) sowie die Vielzahl der beobachtbaren abhängigen Variablen (pH-Wert, Farbe des Universalindikators und das Verhältnis der Ionen) auszeichnet, muss als Faktor berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist die Variationsmöglichkeit bei den Experimenten allein durch die Möglichkeit der Mischungen von 3 x 12 x 2 (Physik: 3 Formen; 12 Körper; 2 Behälter) auf 4 x 12 x 15 (Chemie: 4 Lösungen; 12 Becher; 15 Kombinationsmöglichkeiten inkl. Wasser) gestiegen, wodurch das systematische Vorgehen erschwert wurde. Als Reaktion hierauf wurden bereits während der Studie Hilfekarten entwickelt, auf denen die Lernenden die wichtigsten Begriffe aus den Tutorials zum Aufbau des Labors noch einmal nachlesen konnten.

Ein möglicher weiterer Faktor, der den geringeren Zusammenhang zwischen dem systematischen Anwenden der Strategien und dem Lernerfolg erklären könnte, ist die Schwierigkeit des deklarativ-konzeptuellen Wissenstests. Obwohl beide Lernumgebungen in ihrer Bedienungsweise analog konstruiert wurden, zeigte sich, dass Lernende in der Chemie-Lernumgebung lediglich leicht beobachtbare Zusammenhänge (z. B. „Wasser = neutrale Lösung“), aber nur sehr selten komplexere Zusammenhänge (z. B. „ $H^+ > OH^-$ = Saure Lösung“) explorierten bzw. notieren. Allerdings beruhen viele Items im deklarativ-konzeptuellen Wissenstest Chemie auf dem Verständnis dieser komplexen Konzepte (vgl. Anhang H/I), was zu einer hohen Schwierigkeit des Tests führt. Dementsprechend kann dieser Test nicht scharf genug zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Lernern trennen. Somit lässt sich der insgesamt niedrigere Einfluss der Variablen auf das

deklarativ-konzeptuelle Wissen vermutlich sowohl durch den sehr komplexen Fachinhalt als auch durch den schwierigen deklarativ-konzeptuellen Wissenstest erklären.

Aus theoretischer Perspektive können folglich sowohl die Hypothese H1 als auch die Hypothese H1a bestätigt werden, es ist aber zu berücksichtigen, dass es weiterer Untersuchungen bedarf, um die gefundenen Effekte zu vergrößern. Ein deklarativ-konzeptueller Wissenstest, der auch grundlegendere Zusammenhänge erfasst, wie z. B. „Welche Farbe zeigt der Universal-Indikator bei einer basischen Lösung an?“ könnte dazu beitragen, präzisere Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Lernern ermitteln zu können. Weitergehend muss ein Weg gefunden werden, entweder die Lernern dahingehend auf den Fachinhalt vorzubereiten, dass sie beim Experimentieren keine Hilfe-Karten mehr benötigen oder es muss eine entsprechende Hilfe-Karte zur Verfügung gestellt werden. Eine weitere Einschränkung bezüglich der Hypothese H2a bezieht sich auf den Bereich des Handlungswissens. Durch Programmierprobleme war es nicht möglich einen Test zum erworbenen Handlungswissen für den Inhaltsbereich *Säuren und Basen* in dieser Studie durchzuführen. Folglich gilt die Generalisierbarkeit des SDDS-Modells nur für das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen, nicht aber für das erworbene Handlungswissen.

Aus theoretischer Perspektive konnte mittels der auf der Literatur aufbauenden (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998) Algorithmen auch für die Chemie-Lernumgebung Maße für Fehler berechnet werden. Die Fehlerarten, die sich auf das Hypothesenaufstellen und das Experimentieren beziehen korrelieren erwartungsgemäß. Das bedeutet, dass die jeweils gleiche Fehlerart in den verschiedenen Lernumgebungen stärker untereinander korreliert als mit anderen Fehlerarten. Zwischen den neuen Fehlerarten, die sich auf das Sichern von Ergebnissen beziehen, konnten allerdings keine Korrelationen gefunden werden. Eine Ursache könnte sein, dass Lernende von der Möglichkeit des Sicherns ihrer Ergebnisse grundsätzlich sehr wenig Gebrauch gemacht haben. Zusätzlich wurde während der Testungen deutlich, dass die Lernenden das Prinzip des Sicherns nicht richtig verstanden haben. Dennoch konnte das, theoretisch aus der Literatur hergeleitete, Fehlermodell zum selbständig entdeckenden Experimentieren für den Inhaltsbereich Physik bestätigt werden. Es zeigte sich aber, dass im Inhaltsbereich Chemie kein deutlicher negativer Einfluss der Fehlertypen auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb erkennbar ist. Allerdings zeigte sich, dass nicht alle Fehlerarten in den Lernumgebungen korrelieren. Ein korrigiertes Modell, das nur die ursprünglichen vier Fehlerarten erfasst, die zwischen den Lernumgebungen korrelieren, zeigt immerhin dasselbe Bild wie für die physikalische Lernumgebung. Eine weitere Ursache dafür, dass das Fehlermodell nicht für die Chemie-Lernumgebung bestätigt werden konnte, könnte auch die hohe Schwierigkeit des deklarativ-konzeptuellen Wissenstests darstellen. Folglich können die Hypothesen H2

und H2a nicht gänzlich bestätigt werden und es bedarf weiterer Untersuchungen, um die Ursache für das nicht bestätigte Fehlermodell genauer bestimmen zu können.

Die in Kapitel 1 erläuterte geringe Strategieranwendung (Chen & Klahr, 1999; Thillmann, 2008) und der geringe Lernerfolg beim Experimentieren (Hofstein & Lunetta, 1982; Huckle & Fischer, 2002) konnte auch in dieser Studie bestätigt werden. Zudem konnte auch die in der Literatur beschriebene Häufigkeit der fehlerhaften Anwendung von Strategien (de Jong & van Joolingen, 1998) beobachtet werden. Aber in dieser Studie zeigten sich auch positive Aspekte, nämlich dass das Anwenden der Interaktions-Strategie lernförderlich ist. Folglich implizieren die Ergebnisse dieser Studie aus praktischer Sicht, dass es notwendig ist, Lerner beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu unterstützen, damit sie Strategien regelmäßig anwenden. Über die häufigere Anwendung systematischer Strategien, sollte nach den Erkenntnissen dieser Studie auch der Lernerfolg gesteigert werden können. Des Weiteren wurde aus praktischer Perspektive deutlich, dass sich inhaltsübergreifende Experimentierstrategien erfassen lassen, die sich für eine Förderung strategischer Kompetenzen für das selbständig entdeckende Experimentieren in computerbasierten Lernumgebungen eignen. Somit bietet diese Studie die Grundlage, Lernende gezielt bei der kognitiven und metakognitiven Gestaltung des Lernprozesses beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu unterstützen. Somit kann die Anwendung von Experimentierstrategien und insbesondere die Interaktions-Strategie trainiert und gefördert und folglich der Lernerfolg erhöht werden. Zudem bietet auch die Entwicklung der zweiten Lernumgebung praktische Perspektiven. Eine Lernumgebung könnte dabei zum Trainieren des effektiven selbständig entdeckenden Experimentierens verwendet werden, während in der zweiten Lernumgebung der Effekt des Trainings überprüft werden könnte.

9 Zusammenfassung & Diskussion

9.1 Zusammenfassung

Den Ausgangspunkt dieser Arbeit bildete die Diskrepanz zwischen dem Bildungsziel der Entwicklung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen mittels des Schülerexperiments im naturwissenschaftlichen Unterricht (Fischer et al., 2004; Hammann et al., 2007; KMK, 2005) und des beobachteten geringen Lernerfolgs beim Experimentieren (Hofstein & Lunetta, 1982; Hucke & Fischer, 2002). Vor dem Hintergrund der Verortung des selbständig entdeckenden Experimentierens in den Ansätzen des *scientific discovery as dual search* und des *scientific discovery learning* und der daraus resultierenden zentralen Annahme, dass die Interaktion der Anwendung wissenschaftsmethodischer Prozesse in (natur-) wissenschaftlichen Domänen ausschlaggebend für den Lernerfolg ist, ergaben sich für die vorliegende Arbeit vier aufeinander bezogene Ziele:

1. Die *theoretische Herleitung* von Verhaltensindikatoren für die Anwendung von Strategien und Fehlerarten,
2. ein *Modell* der erfolgreichen Strategieranwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren, das durch die Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse geprägt ist, hinsichtlich des Wissenserwerbs und des Handlungswissens *zu überprüfen*,
3. ein *Modell* des lernhinderlichen Effekts von Fehlern bezogen auf den Wissenserwerb und das Handlungswissen *zu überprüfen* und
4. die *Generalisierung* der Modelle auf einen weiteren naturwissenschaftlichen Inhalt, zur Überprüfung ihrer Allgemeingültigkeit, um auf Basis davon Implikationen zu Fördermaßnahmen des erfolgreichen selbständig entdeckenden Experimentierens ableiten zu können.

Theoretische Herleitung der Verhaltensindikatoren und Kriterien für den Lernerfolg. Die theoretische Herleitung der Indikatoren und Kriterien erfolgte in dieser Arbeit in drei unabhängigen Schritten. Erstens wurden die Verhaltensindikatoren für die Anwendung von Strategien aus den Modellen des selbständig entdeckenden Experimentierens abgeleitet. Zweitens wurden aus den Erkenntnissen zu den Schwierigkeiten mit der Art des Lernens Indikatoren für verschiedene Fehlerarten hergeleitet.

- *Verhaltensindikatoren der Strategieranwendung.* Ausgangspunkt der theoretischen Herleitungen war die Verortung des selbständig entdeckenden Experimentierens in den Ansätzen des *scientific discovery as dual search* (Klahr & Dunbar, 1988) und des *scientific discovery learning* (z. B. van Joolingen & de Jong, 1997). Die

unterschiedlichen Forschungsansätze, deren zentrale Annahme ist, dass Lernende bei minimaler Unterstützung selbständig wissenschaftsmethodische Prozesse ausführen müssen (vgl. Kirschner et al., 2006), wurden in der vorliegenden Arbeit zusammengeführt, um die Anforderungen der Lernart zu verdeutlichen. Auf dieser Grundlage zeigt sich, dass die hauptsächliche Aufgabe der Lernenden darin besteht, mittels transformativer bzw. wissenschaftsmethodischer Prozesse (vgl. de Jong & Njoo, 1992) Informationen, Regeln und Gesetzmäßigkeiten eines Inhaltsbereichs zu entdecken und zu generieren, die anschließend in die Wissensbasis integriert werden müssen. Zusätzliche Anforderungen an den Lernenden entstehen durch regulative bzw. selbstregulatorische Aspekte dieser Lernform. Mittels *regulativer Prozesse* (de Jong & Njoo, 1992) oder Prozessen des *modeling* (van Joolingen et al., 2005) müssen Lernende den Lernprozess optimal gestalten. Folglich müssen sie erstens durch die Auswahl und Anwendung von Strategien den Lernprozess kontinuierlich gestalten. Zweitens müssen Lernende durch ein ständiges Beobachten und Abgleichen mit *standards*, wie dem geplanten Vorgehen und der gesetzten Ziele (Winne & Hadwin, 1998), ihren Lernprozess auf der Mikroebene abgleichen (Schreiber, 1998). Drittens müssen Lernende mit einer sich kontinuierlich verändernden Lernsituation umgehen. Diese Veränderungen sind einerseits auf die sich ständig verändernde Lernsituation, bedingt durch die Eingriffe des Lernenden, und andererseits auf die sich verändernde Wissensbasis des Lernenden zurückzuführen. Sowohl die transformativen Prozesse, in Form des Experimentierzyklus, als auch die regulativen Anforderungen an den Lernenden betonen den zyklischen Charakter des selbständig entdeckenden Experimentierens. Vor diesem Hintergrund wird auch der zyklische Charakter in der Definition des selbständig entdeckenden Experimentierens als aufmerksame Koordination zwischen hypothetischen Theorien und Beweisen, die durch Experimente generiert wurden, deutlich (Klahr & Dunbar, 1988; Kuhn et al., 1992; Simon & Lea, 1974). Dieser Interaktion zwischen den wissenschaftsmethodischen Prozessen wird eine bedeutsame, lernwirksame Rolle zugewiesen. Folglich werden die Prozesse des Hypothesenaufstellens, des systematischen Experimentierens und deren Interaktion als Verhaltensindikatoren für eine erfolgreiche Strategieranwendung genutzt.

- *Verhaltensindikatoren der Fehlerarten.* Ausgangspunkt für die theoretische Herleitung der Fehlerarten waren die von de Jong und van Joolingen (1998) zusammengetragenen Erkenntnisse bezüglich der Schwierigkeiten beim selbständig entdeckenden Experimentieren. Vor dem Hintergrund des als Fehler definierten, abweichenden Verhaltens vom Experimentierzyklus (Klahr, 2000) und des systematischen Fehlverhaltens (Seidel & Prenzel, 2003), wurden dabei eine Vielzahl von „typischen“ Fehlerarten beim selbständig entdeckenden Experimentieren

identifiziert. De Jong und van Joolingen (1998) konnten zeigen, dass sich Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren einerseits auf das Generieren von Hypothesen, das Durchführen von Experimenten und die Interpretation von Daten beziehen. Andererseits führten sie auch Fehler auf, die sich auf die Regulation des Lernprozesses beziehen. Für die vorliegende Arbeit konnten aus der Literatur sowohl theoretische Verhaltensindikatoren für Fehler, die sich auf das Abweichen vom Experimentierzyklus (z. B. Experimentieren ohne Hypothese) beziehen, als auch Verhaltensindikatoren für Fehler, die sich auf die unsystematische Anwendung einzelner Prozesse beziehen (z. B. unsystematische Experimente), hergeleitet werden.

Modell der lernwirksamen Strategieranwendung. Die Überprüfung eines Modells der erfolgreichen Strategieranwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren erfordert die Erfassung der relevanten Prozesse basierend auf den theoretisch hergeleiteten Verhaltensindikatoren anhand des SDDS-Modells. Dazu wurden in dieser Arbeit verhaltensbasierte Maße zur Erfassung der Strategieranwendung in der Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* entwickelt.

Anhand dieser entwickelten Maße war es möglich, die theoretischen Annahmen des SDDS-Modells als Modell der erfolgreichen Strategieranwendung beim selbständig entdeckenden Experimentieren im Hinblick auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen und das Handlungswissen zu überprüfen. In der ersten Studie konnte die Lernwirksamkeit der Anwendung der Interaktion wissenschaftsmethodischer Prozesse bezogen auf das Handlungswissen trotz insgesamt sehr geringer Strategieranwendung bestätigt werden. Allerdings konnte das Modell zunächst nicht für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb nachgewiesen werden. Dieses erwartungswidrige Ergebnis wurde vor dem Hintergrund der hohen Ratewahrscheinlichkeit des deklarativ-konzeptuellen Wissenstests und der damit verbundenen geringen Schwierigkeit des Tests diskutiert. Da zudem die Anwendung der Interaktion sehr gering war, konnte der Test vermutlich nicht präzise genug zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Experimentierern trennen.

In einer folgenden Studie wurde deshalb ein neuer deklarativ-konzeptueller Wissenstests entwickelt. Dabei wurden bei der Entwicklung neuer Items Überlegungen zu der Anzahl, der Disjunktheit und der gleichen Attraktivität der verschiedenen Antwortalternativen sowie geeigneten Distraktoren (Bortz & Döring, 2006; Jonkisz et al., 2007) besondere Bedeutung beigemessen. Um die Ratewahrscheinlichkeit zu verringern, wurde den Lernenden zusätzlich eine fünfte Antwortalternative „*Weiß ich nicht*“ angeboten. Mittels des neu entwickelten Tests konnten in Studie I auch für das deklarativ-konzeptuelle Wissen eine ausschlaggebende lernförderliche Wirkung der Interaktion gezeigt werden.

Fehlermodell. Ebenso wie zur Überprüfung des SDDS-Modells erforderte auch die Generierung des Fehlermodells die Erfassung der Fehler basierend auf den theoretisch

hergeleiteten Verhaltensindikatoren. Dazu wurden verhaltensbasierte Maße zur Erfassung der Fehler beim Experimentieren in der Lernumgebung *Auftrieb in Flüssigkeiten* entwickelt. Erwartungswidrig zeigte sich bezogen auf das Handlungswissen, dass Fehlerarten, die sich auf das Abweichen vom Experimentierzyklus beziehen, keinen lernhinderlichen Effekt hatten. Dies wurde einerseits vor dem Hintergrund der Defizite der logfile-basierten Erfassungsmethode und andererseits vor dem Hintergrund der Systematik, die dennoch in den restlichen Schritten des Experimentierzyklus angewandt wurde (z. B. IVK-Experiment ohne Hypothese), diskutiert. Ein erwartungskonformer negativer Effekt zeigte sich bei der unsystematischen Anwendung von Strategien bezogen auf das Handlungswissen. Allerdings konnte in der Re-Analyse auch dieses Modell nicht vollständig für das deklarativ-konzeptuelle Wissen bestätigt werden. Dies wurde wie auch für das SDDS-Modell vor dem Hintergrund der Defizite des entsprechenden Tests diskutiert. In Studie I konnten mittels des neu entwickelten deklarativ-konzeptuellen Wissenstests aber Hinweise auf die Generalisierbarkeit des Fehlermodells auf unterschiedliche Wissensarten gefunden werden.

Generalisierung der Modelle auf einen anderen Inhaltsbereich. In Studie II wurde das Ziel der Generalisierung des SDDS-Modells und des Fehlermodells auf einen anderen naturwissenschaftlichen Inhalt angestrebt. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine Lernumgebung zum chemischen Inhaltsbereich *Säuren und Basen* entwickelt. In einem zweiten Schritt wurden verhaltensbasierte Maße der Strategieverwendung und der Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu dem neuen Inhaltsbereich entwickelt. Mittels der Analyse der verhaltensbasierten Experimentierdaten zu beiden Inhaltsbereichen konnte gezeigt werden, dass die Strategieverwendung in den jeweiligen Lernumgebungen erwartungskonform korreliert. Das bedeutet, dass die jeweils gleichen Strategien in den verschiedenen Lernumgebungen stärker untereinander korrelieren als mit anderen Strategien. Eine stärker als erwartete Korrelation der Strategieverwendung in der Chemie mit der jeweils als *ranghöher* klassifizierten Strategieverwendung in der Physik wurde vor dem Hintergrund des sehr komplexen Inhaltsbereichs *Säuren und Basen* erklärt. Es kann angenommen werden, dass Lernende auch aus unsystematischeren Aktionen Informationen des zu erlernenden Inhaltsbereichs entdecken und generieren können. Weitergehend wurde auch an dieser Stelle die Problematik der logfile-basierten Erfassung diskutiert, da möglicherweise durch die feststehenden Verhaltensindikatoren und die Erfassung von nur tatsächlich ausgeführten Aktionen Systematiken nicht erkannt werden können.

Erwartungsgemäß konnten in Studie II in einem weiteren Schritt Hinweise auf die Generalisierbarkeit des SDDS-Modells auf verschiedene naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche gefunden werden. Auch für den chemischen Inhaltsbereich *Säuren und Basen* konnte ein lernwirksamer Einfluss der Interaktion nachgewiesen werden. Vor dem

Hintergrund der weniger stark ausgeprägten Koeffizienten für den chemischen Inhaltsbereich wurde die geringere Strategieranwendung, aber auch die sehr hohe Komplexität des Inhaltsbereichs diskutiert. Auf Basis der Beobachtung während der Studie kann angenommen werden, dass Lernende ohne zusätzliche Unterstützung nicht selbständig in der Lernumgebung experimentieren können. Angebotene Hilfekarten klärten demnach auch einen Teil der Varianz des Lernerfolgs auf. Ein weiterer Faktor, der als Ursache für die geringeren Koeffizienten diskutiert wurde, ist die Schwierigkeit des deklarativ-konzeptuellen Wissenstests. Ausgehend von der Annahme, dass Lerner, die interagierende wissenschaftsmethodische Prozesse anwandten nicht die im Wissenstest abgefragten komplexen Zusammenhänge explorierten, kann von einer zu hohen Komplexität des Wissenstest ausgegangen werden. Demnach lässt sich der insgesamt niedrigere Einfluss der Variablen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen vermutlich durch den sehr komplexen Fachinhalt und den schwierigen deklarativ-konzeptuellen Wissenstest erklären. Ein weiteres Problem dieser Studie wurde vor dem Hintergrund des nicht zur Verfügung stehenden Handlungswissenstests diskutiert. Folglich gilt die Generalisierbarkeit des SDDS-Modells nur für das erworbene deklarativ-konzeptuelle Wissen, nicht aber für das erworbene Handlungswissen.

In einem nächsten Schritt zeigte sich, dass auch die auf Basis der theoretischen Verhaltensindikatoren berechneten Maße für Fehler erwartungsgemäß zwischen den beiden Lernumgebungen korrelierten. Dies gilt allerdings nur für die Fehlertypen, die sich auf das Aufstellen von Hypothesen sowie das Durchführen von Experimenten beziehen. Zwischen den erfassten neuen Fehlerarten, die das fehlerhafte Sichern von Ergebnissen erfassen, konnten keine Korrelationen gefunden werden. Dieses teils erwartungswidrige Ergebnis wurde vor dem Hintergrund diskutiert, dass Lernende grundsätzlich die Strategie des Sicherns ihrer Ergebnisse sehr wenig angewandt haben. In einem weiteren Schritt zeigte sich hinsichtlich der Generalisierbarkeit des Fehlermodells auf den chemischen Inhaltsbereich kein deutlicher negativer Einfluss der Fehlertypen auf das deklarativ-konzeptuelle Wissen. Die Ursache dieses, gegen die Erwartung gefundenen Ergebnisses, kann als ein Hinweis auf ein Validitätsproblem verstanden werden. Ein korrigiertes Modell, das nur die validen Fehlertypen abbildete, bestätigte diesen Verdacht.

9.2 Diskussion

Aus der vorliegenden Arbeit zum selbständig entdeckenden Experimentieren ergeben sich theoretische und praktische Implikationen, sowie neue Forschungsperspektiven.

9.2.1 Theoretischer Ertrag

Bezogen auf den theoretischen Ertrag konnten aus der vorliegenden Arbeit vier zentrale Aspekte abgeleitet werden.

Erstens können die Studien, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden, hinsichtlich der Forschung zum *scientific discovery learning* einen Beitrag zur empirischen Überprüfung eines der zentralen Modelle dieses Forschungsansatzes erbringen: Die Ergebnisse zeigen, dass das SDDS-Modell auch in komplexen wissenschaftlichen Inhaltsbereichen und Lernsituationen anwendbar ist, was die diesbezügliche Kritik von Thagard (1998) und van Joolingen und de Jong (1993) entkräftet. In diesen Studien ist die Schwierigkeit der Erfassung der Interaktion (Klahr & Dunbar, 1988) gelungen, wodurch der empirische Beleg für die Lernwirksamkeit der Interaktion ermöglicht wurde. Demnach konnten Hinweise für eine empirische Bestätigung der zentralen Annahme des SDDS-Modells, dass die Interaktion der zwei bedeutenden wissenschaftsmethodischen Fertigkeiten des Hypothesenaufstellens und der Durchführung von Experimenten (Conant, 1964; Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992; Mitroff, 1974) ausschlaggebend für den Lernerfolg ist (Klahr & Dunbar, 1988; Simon & Lea, 1974; Vollmeyer et al., 1996), gefunden werden.

Zweitens kann bezogen auf die Forschungen zum *Experimentieren* und der damit verbundenen *Modellentwicklung zum Experimentieren* (Hammann, 2004; Lunetta, 1998; Schreiber, Theyßen & Schecker, 2009) die vorliegende Arbeit dahingehend einen Beitrag leisten, dass das SDDS-Modell als allgemeingültiges und lernwirksames Modell zum selbständig entdeckenden Experimentieren genutzt werden kann. Ebenso kann die aufgezeigte Lernwirksamkeit der interagierenden Strategieranwendung der Kritik entgegenwirken, dass das SDDS-Modell nicht ausdifferenziert genug ist (Schreiber et al., 2009; Schunn & Klahr, 2000; van Joolingen & de Jong, 1993). Diese Erkenntnisse tragen insbesondere auch zu dem in den KMK-Bildungsstandards gelegten Schwerpunkt auf den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (KMK, 2005) bei. Es konnte ein lernwirksames Modell zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung dargestellt werden, das eine Alternative zum imitatorischen Experimentieren und somit zum tatsächlichen Erlernen wissenschaftsmethodischer Prozesse geeignet ist. Folglich schließen die Ergebnisse an den Forschungsvorhaben zur Modellentwicklung zum Experimentieren (z. B. Hammann et al.,

2008) sowie der Steigerung der Effizienz des naturwissenschaftlichen Unterrichts an (Prenzel, 2000).

Drittens liefern die Ergebnisse Evidenz dafür, dass das SDDS-Modell sowohl für unterschiedliche Wissensarten als auch für verschiedene naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche gültig ist. Ergänzend zu der Studie von Wahser und Sumfleth (2008), die zeigte, dass eine interagierende Strategieranwendung beim Experimentieren in Kleingruppen lernwirksam ist, wird deutlich, dass dies auch für das selbständige entdeckende Experimentieren in computerbasierten Lernumgebungen gilt. Dennoch muss berücksichtigt werden, dass die gefundenen Koeffizienten in den Analysen zum SDDS-Modell relativ gering waren. Es zeigte sich, dass insbesondere die Effekte für den Inhaltsbereich Chemie klein sind. Die gefundenen Effekte und Koeffizienten in anderen Studien (z.B. Wahser & Sumfleth, 2008; Zhang et al., 2004) sind etwas größer, allerdings handelte es sich in diesen Studien nicht um eine spontane, sondern um eine unterstützte Form der Strategieranwendung. Die geringeren Koeffizienten können möglicherweise durch die komplexen fachlichen Inhaltsbereiche, aber auch durch die insgesamt geringe Strategieranwendung erklärt werden. Die geringe Strategieranwendung wiederum steht im Einklang zu den Erkenntnissen zum *selbstregulierten Lernen* und *scientific discovery learning* (Azevedo et al., 2004; Brown & Pressley, 1994; Chen & Klahr, 1999; de Jong & van Joolingen, 1998; Löhner et al., 2005). Dennoch zeigt sich, dass Lernende spontan Strategien anwenden, mit denen sie Lernerfolge erzielen. Somit entkräften die Ergebnisse die Annahme, dass das selbständig entdeckenden Experimentieren ohne Unterstützung gänzlich ineffektiv ist (Kirschner, 2006; Mayer, 2004).

Hinsichtlich des unsystematischen Agierens und der defizitären Strategieranwendung können die Studien der vorliegenden Arbeit noch einen weiteren Beitrag erbringen. Auf Basis der von de Jong und van Joolingen (1998) beschriebenen Fehler konnten negative und damit lernhinderliche Aspekte des selbständig entdeckenden Experimentierens identifiziert werden. Es zeigte sich, dass insbesondere die unsystematische Anwendung aller Strategien beim selbständig entdeckenden Experimentieren dazu beiträgt, dass die Lernwirksamkeit vermindert ist. Diese Erkenntnisse können zum Umgang und zur Vermeidung von Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren genutzt werden und damit auch im Hinblick auf die Förderung des Experimentierens (Chen & Klahr, 1999; Njoo & de Jong, 1993a; Thillmann, 2008; Wichmann & Leutner, 2009; Zhang et al., 2004) einen relevanten Beitrag leisten.

Bezogen auf den Einfluss des Abweichens vom Experimentierzyklus auf den Lernerfolg zeigten sich jedoch keine eindeutigen Ergebnisse. Allerdings zeigt sowohl die Studie von Wichmann und Leutner (2009) als auch die vorliegende Arbeit, dass gerade das vollständige Durchlaufen des gesamten Experimentierzyklus lernwirksam ist. Demnach könnten die erwartungswidrigen Ergebnisse durch Erfassungsprobleme zustande

kommen sein, da die Maße nur tatsächlich ausgeführte Aktionen erfassen. Dies könnte auf ein Validitätsproblem der logfile-basierten Maße hinweisen (Bannert, 2005). Eine weitere Möglichkeit ist, dass in dieser Fehlerart trotzdem ausreichend Systematik steckt (z. B. IVK-Experiment ohne Hypothese), dass der positive Aspekt, nämlich die Durchführung eines IVK-Experiments, überwiegt.

Viertens bezieht sich ein Beitrag der vorliegenden Arbeit auf die *Erfassung* des selbständig entdeckenden Experimentierens. Die verhaltensbasierten Maße, die für die Strategieranwendung und Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren berechnet wurden, verfügen überwiegend über eine zufriedenstellende Reliabilität. Durch die Modelltestung lassen sich weiterhin auch Hinweise auf die Validität durch erwartungsgemäße Korrelationen mit dem Strategiewissen aufzeigen. Trotz der diskutierten Bedenken hinsichtlich der Validität solcher Maße (vgl. Bannert, 2005) zeigt die vorliegende Arbeit, dass die entwickelten logfile-basierten Maße hinsichtlich der Strategieranwendung im Vergleich zu selbstauskunftbasierten Methoden eine ökonomische und prozessnahe Alternative (Artelt, 1999, 2000; Artelt & Schellhas, 1996) sind.

Insgesamt kann diese Arbeit in Bezug auf das selbständig entdeckende Experimentieren die Forschungslücke hinsichtlich der empirischen Überprüfung des SDDS-Modells bzw. seiner zentralen Annahme schließen und einen Beitrag zur Steigerung der Effektivität des Experimentierens im naturwissenschaftlichen Unterricht leisten.

9.2.2 Praktischer Ertrag

Bezogen auf den praktischen Ertrag konnten aus der vorliegenden Arbeit vier zentrale Aspekte abgeleitet werden.

Erstens kann das SDDS-Modell als Modell zur Gestaltung des selbständig entdeckenden Experimentierens im Unterricht zum Erlernen experimenteller Kompetenzen und wissenschaftsmethodischer Prozesse (KMK, 2005) genutzt werden, um den Lernerfolg beim Experimentieren zu steigern.

Zweitens können bei der Vermittlung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen zwei wichtige Erkenntnisse berücksichtigt werden. Die erste Erkenntnis bezieht sich darauf, dass es sich gezeigt hat, dass die Anwendung interagierender Experimentierstrategien lernförderlich sind, 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. Die zweite Erkenntnis schließt an die Erste an, da gezeigt wurde, dass das Abweichen vom Experimentierzyklus nicht grundsätzlich als Fehler zu bewerten ist und keinen lernhinderlichen Effekt hat. Darüber hinaus zeigte sich, dass das Abweichen vom Experimentierzyklus nicht stark mit fehlendem Strategiewissen zusammenhängt. Demnach sollte zunächst bei der Vermittlung

von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen im Unterricht viel Wert darauf gelegt werden, dass Lerner lernen Experimentierstrategien systematisch auszuführen und aufeinander zu beziehen, auch wenn dabei nicht zwangsläufig zuerst eine Hypothese notiert wird. Somit können vor allem Lerner, die zu Beginn des Experimentierens Probleme mit dem Generieren von Hypothesen haben, profitieren und dennoch systematisches Experimentieren lernen. Diese Erkenntnisse könnten in Kombination mit den Erkenntnissen von Wichmann und Leutner (2009), dass nur das Unterstützen der Durchführung des Experimentierzyklus nicht ausreicht, um lernwirksame Effekte zu erzielen, dahingehend genutzt werden, dass zunächst vor allem die Regulation dieser interagierenden Strategien im Unterricht angeregt wird.

Drittens können durch die Generalisierbarkeit des SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 1988) auf unterschiedliche Wissensarten (Süß, 1996; van Berkum et al., 1991; Wirth, 2004) und unterschiedliche naturwissenschaftliche Inhaltsbereiche die Schwierigkeiten beim selbständig entdeckenden Experimentieren besser eingeordnet werden. Daraus können wiederum praktische Empfehlungen für geeignete Fördermaßnahmen des selbständig entdeckenden Experimentierens abgeleitet werden. So können die entwickelten Algorithmen als Basis für eine online-basierte Auswertung der Experimentierdaten dienen, die die Möglichkeit bietet, unmittelbar zu prüfen, ob Lernende überhaupt Strategien anwenden oder diese fehlerhaft nutzen. Anhand von Fördermaßnahmen, die an das bisherige Lernverhalten eines Lernenden adaptiert sind, kann der Lernende bei der systematischen Anwendung von einzelnen und interagierenden Strategien unterstützt werden. Somit können bereits gefundene Effekte von Fördermaßnahmen zur Verbesserung der Lernwirksamkeit des selbständig entdeckenden Experimentierens (Thillmann, 2008) weiter gesteigert werden. Anhand des bestätigten SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 1988) und mit der Entwicklung von adaptiven Fördermaßnahmen kann ein tiefergehendes naturwissenschaftliches Verständnis (z. B. Prenzel et al., 2001) durch das selbständig entdeckende Experimentieren angestrebt werden.

Viertens können die entwickelten computerbasierten Lernumgebungen genutzt werden, um das selbständige Experimentieren zu trainieren, da Hinweise gefunden werden konnten, dass die genutzten Strategien domänenübergreifend sind. Insbesondere in der Kombination mit Fördermaßnahmen können die computerbasierten Lernumgebungen dazu genutzt werden, die Experimentierkompetenz von Lernenden zu steigern und zu festigen. Vor allem da in Schulen häufig nicht genügend Experimentiermaterialien zur Verfügung stehen, so dass Lerner selbst Experimente durchführen können, bieten diese Lernumgebungen eine gute Möglichkeit Lerner durch das eigenständige Durchführen von Experimenten zu fördern und tiefergehendes naturwissenschaftliches Verständnis zu entwickeln. Somit können die in Abschnitt 2.3 beschriebenen Vorteile von computerbasierten Lernumgebungen (de Jong & van Joolingen, 1998; Leutner, 1990;

Njoo, 1994) mit dem Einsatz der entwickelten Lernumgebungen für das Fördern und Trainieren des selbständig entdeckenden Experimentierens im Schulunterricht genutzt werden.

9.2.3 Ausblick

Ausgehend von den Ergebnissen dieser Arbeit können für zukünftige Forschungsvorhaben folgende Empfehlungen gegeben werden.

Erstens wäre die Replikation der Ergebnisse zur Generalisierung des SDDS-Modells sowie des Fehlermodells erstrebenswert, da insbesondere für den chemischen Inhaltsbereich die Effekte noch gering sind. Für eine weitere empirische Überprüfung bedarf es zunächst aber einer Optimierung der Chemie-Lernumgebung und des entsprechenden deklarativ-konzeptuellen Wissenstest. Dazu sollte die Lernumgebung zum Thema *Säuren und Basen* entweder so aufbereitet werden, dass Lernende ohne Hilfekarten in der Lernumgebung experimentieren können oder die Hilfekarten sollten direkt allen Lernenden zur Verfügung gestellt werden. Dadurch kann die Lernwirksamkeit der Interaktion erneut unter verbesserten und für alle Lernenden gleichen Bedingungen überprüft werden. Zudem kann in Folge dessen die Steigerung des Effekts der Interaktion auf den Lernerfolg und die gleichzeitige Minimierung des Einflusses der Hilfekarten angestrebt werden.

Zweitens wäre auch die Verdeutlichung der möglichen Sicherung der Erkenntnisse ein wichtiger Schritt zur Replikation der Ergebnisse zur Generalisierung des Fehlermodells. Das bedeutet, dass den Lernenden vor der Lernphase erklärt werden muss, wann und wie bestätigte Zusammenhänge in der Lernumgebung „gesichert“ werden können. Dadurch können die Fehlertypen möglicherweise besser und valide erfasst werden. Nach einer validen Erfassung aller Fehlertypen wäre es wünschenswert, das Fehlermodell erneut für beide naturwissenschaftlichen Inhaltsbereiche zu untersuchen.

Drittens wäre die Nutzung der Ergebnisse zur Entwicklung von Fördermaßnahmen erstrebenswert, um die effektive Strategieranwendung in Form der Interaktion beim selbständig entdeckenden Experimentieren zu steigern. Dazu wäre es erforderlich auf Basis der bestätigten lernwirksamen Strategieranwendung Algorithmen zu entwickeln, die genutzt werden können, um den Lernenden bei der Auswahl geeigneter Experimentierstrategien zu unterstützen. Dabei wäre es wünschenswert auch auf die erhöhten regulativen Anforderungen beim selbständig entdeckenden Experimentieren einzugehen, um somit den Lernprozess für den Lernenden zu vereinfachen. Dazu könnten die Fördermaßnahmen so umgesetzt werden, dass sie adaptiv und unmittelbar (*online*) an das bisherige Lernverhalten der Lernenden angepasst werden und auf der Mikro-Ebene des Lernprozesses wirksam sind. Anhand dessen wäre es zudem möglich die Effektivität der Anwendung der Interaktion und anderer Strategien weiter auszuloten.

Vor dem Hintergrund eines bestätigten Fehlermodells wäre es zudem erstrebenswert Fördermaßnahmen zu entwickeln, die das Erkennen von und den Umgang mit Fehlern fördern, um so eine fehlerhafte Anwendung der Strategien zu vermeiden. Somit könnten die Probleme mit der Art des Lernens reduziert und ein tiefergehendes Verständnis des zu erlernenden Inhaltsbereichs erlangt werden. Auch hierbei wäre es wünschenswert, die oben genannten regulativen Aspekte des Lernprozesses bei der Konzipierung der Fördermaßnahmen zu berücksichtigen.

Anhand dieser Fördermaßnahmen könnte folglich einerseits der Einfluss der Strategieanwendung und der Fehler beim selbständig entdeckenden Experimentieren weiter überprüft werden. Andererseits könnte die Forschung im Bereich der Fördermaßnahmen zur Unterstützung des selbständig entdeckenden Experimentierens vorangetrieben werden, indem der Effekt von Fördermaßnahmen, die während des Lernens adaptiv und auf der Mikro-Ebene angeboten werden, überprüft werden könnte.

10 Literaturverzeichnis

- Alessi, S. M. & Trollip, S. R. (1985). *Computer based instruction, methods and development*. Englewood Cliffs, NY: Prentice-Hall.
- Anderson, J. R. (1976). *Language, memory, and thought*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (2001). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Armstrong, A. & Casement, C. (1998). *The child and the machine: Why computers may put our children's education at risk*. Toronto: Key Porter Books.
- Artelt, C. (1998). Lernstrategien und Lernerfolg - Ein Methodenvergleich. *LLF-Berichte* (Bd. 18, S. 24-50). Potsdam: Universität Potsdam.
- Artelt, C. (1999). Lernstrategien und Lernerfolg - Eine handlungsnaher Studie. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 31, 86-96.
- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Münster: Waxmann.
- Artelt, C. & Schellhas, B. (1996). Zum Verhältnis von Strategiewissen und Strategieanwendung und ihren kognitiven und emotional-motivationalen Bedingungen im Schulalter. *Empirische Pädagogik*, 10, 277-304.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view*. 2nd edition. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesian, H. (1980/81). *Psychologie des Unterrichts*. Weinheim/Basel: Beltz.
- Azevedo, R. & Cromley, J. G. (2004). Does training on self-regulated learning facilitate students' learning with hypermedia? *Journal of Educational Psychology*, 96, 523-535.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Bangert-Drowns, R. L., Kulik, J. A. & Kulik, C. C. (1985). Effectiveness of computer-based education in secondary schools. *Journal of Computer-Based Instruction*, 12, 59-68.
- Bannert, M. (2005). Explorationsstudie zum spontanen metakognitiven Strategie-Einsatz in hypermedialen Lernumgebungen. In C. Artelt & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis* (S. 127-151). Münster: Waxmann.

- Baumert, J., Bos, W. & Watermann, R. (1999). *TIMSS/III. Schülerleistungen in Mathematik und den Naturwissenschaften am Ende der Sekundarstufe II im internationalen Vergleich. Zusammenfassung deskriptiver Ergebnisse* (2. Aufl.). Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (Hrsg.) (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske und Budrich.
- Baumert, J. & Köller, O. (1996). Lernstrategien und schulische Leistungen. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (S. 137-154). Weinheim: Beltz.
- Baumert, J., Lehman, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., Köller, O. & Neubrand, J. (1997). *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich: Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske und Budrich.
- Baumert, J., Roeder, P. M., Sang, F. & Schmitz, B. (1986). Leistungsentwicklung und Ausgleich von Leistungsunterschieden in Gymnasialklassen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32, 639-660.
- Berry, D. & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36 A, 209-231.
- Blech, Ch. & Funke, J. (2005). *DYNAMIS review: An overview about applications of the DYNAMIS approach in cognitive psychology*. Unveröffentlichtes Manuskript, Psychologisches Institut der Universität Heidelberg bzw. Deutsches Institut für Erwachsenenbildung, Bonn.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. Auflage). Springer: Berlin.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozialwissenschaften*. (2. erweiterte Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Auflage). Berlin: Springer.
- Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Hrsg.), *Metacognition, motivation, and understanding* (S. 65-116). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- Brown, R. & Pressley, M. (1994). Self-regulated reading and getting meaning from text: The transactional strategies instruction model and its ongoing validation. In: D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Hrsg.), *Self-regulation of learning and performance: Issues and educational applications* (S. 155-179). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bruner, J. S. (1970). *Der Prozess der Erziehung*. Düsseldorf: Schwann, (3. Aufl.: 1973). (Original erschienen 1961: The process of education).
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21-32.
- Bruner, J. S. (1981). Der Akt des Entdeckens. In Neber, H. (Hrsg.), *Entdeckendes Lernen* (S. 15-29). Weinheim, Basel: Beltz.
- Bruner, J. S., Goodnow, J. J. & Austin, G. A. (1956). *A study of thinking*. New York: J. Wiley & Sons.
- Bullock, M. & Sodian, B. (2000). Scientific thinking. In F. E. Weinert & W. Schneider (Hrsg.), *The Munich longitudinal study on the genesis of individual competencies*. Report No. 10. Munich: Max-Planck-Institute for Psychological Research.
- Kircher, E. & Sodian, B. (2001). Wissenschaftsverständnis – schon in der Grundschule? *Bayerische Schule*, 10, 23-27.
- Burns J. C., Okey J. R., Wise K. C. (1985). Development of an Integrated Process Skill. Test: TIPS II. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 169–177.
- Carey, (1989). Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. & Unger, C. (1989). “An experiment is when you try it and see if it works”: A study of grade 7 students’ understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11, 514-529.
- Carlsen, D. D. & Andre, T. (1992). Use of a microcomputer simulation and conceptual change text to overcome student preconceptions about electric circuits. *Journal of Computer-Based Instruction*, 19, 105-109.
- Cavanaugh, J. C. & Perlmutter, M. (1982). Metamemory: A critical examination. *Child Development*, 53, 11-28.
- Chambers, S. K., Haselhuhn, C., Andre, T., Mayberry, C., Wellington, S., Krafka, A., Volmer, J., Berger, J. (1994). *The acquisition of a scientific understanding of electricity: Hands-on versus computer simulated experience; conceptual change versus didactic text*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA, USA.
- Charney, D., Reder, L. & Kusbit, G. W. (1990). Goal setting and procedure selection in acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-51.

- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variable strategy. *Child Development*, 70, 1098-1120.
- Chen, Q. & Zhang, J. (2006). Collaborative discovery learning based on computer simulation. In A. M. O' Donnell (Hrsg.), *Collaborative learning, reasoning, and technology* (S. 127-146). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum.
- Conant, J. B. (1964). *Two modes of thought: My encounters with science and education*. New York: Simon & Schuster.
- Craig, F. I. & Lockhardt, R. S. (1972). Levels of processing: A framework of memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Dansereau, D. F. (1985). Learning strategy research. In J. W. Segal & S. F. Chipman & R. Glaser (Hrsg.), *Thinking and learning skills: Relating instruction to research* (S. 209-239). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dörner, D. (1980). Heuristics and cognition in complex systems. In R. Groner, M. Groner & W. F. Bischof (Hrsg.), *Methods of heuristics* (S. 98-108). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F. & Stäudel, T. (1983). *Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber.
- Dörner, D., Schaub, H. & Strohschneider, S. (1999). Komplexes Problemlösen – Königsweg der Theoretischen Psychologie? *Psychologische Rundschau*, 50, 198-205.
- Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 17, 397-434.
- Dunbar, K. & Klahr, D. (1989). Developmental differences in scientific discovery processes. In D. Klahr & K. Kotovsky (Hrsg.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon* (S. 109-143). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- de Jong, T. (1991). Learning and instruction with computer simulation. *Education & Computing*, 6, 215-227.
- de Jong, T. (2005). The guided discovery principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 215-229). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- de Jong, T. (2006a). Computer simulations: Technological advances in inquiry learning. *Science*, 312, 532-533.
- de Jong, T. (2006b). Scaffolds for computer simulation based scientific discovery learning. In J. Elen & R. E. Clark (Hrsg.), *Dealing with complexity in learning environments* (S. 107-128). London: Elsevier Science Publishers.
- de Jong, T., de Hoog, R. & de Vries, F. (1993). Coping with complex environments: The effects of providing overviews and a transparent interface on learning with a computer simulation. *International Journal of Man-Machine Studies*, 39, 621-639.
- de Jong, T. & Njoo, M. K. H. (1992). Learning and instruction with computer simulations: Learning processes involved. In E. de Corte, M. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Hrsg.), *Computer-based learning environments and problem solving* (NATO ASI series F: Computer and Systems Series) (S. 411-427). Berlin: Springer.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1995). The SMISLE environment: Learning with and design of integrated simulation learning environments. In P. Held & W. F. Kugemann (Hrsg.), *Telematics for education and training* (S. 173-187). IOS Press: Amsterdam.
- de Jong, T. & van Joolingen, W.R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179-201.
- de Jong, T., van Joolingen, W.R., Veermans, K. & van der Meij, J. (2005). Designing discovery learning environments in search for re-usable components. In M. Spector & D. Wiley (Hrsg.), *Innovations in instructional technology: Essays in honor of M. David Merrill* (S. 11-29). New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 215-251.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Revised edition. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Elshout, J. J. & Veenman, M. V. J. (1992). Relation between intellectual ability and working method as predictors of learning. *Journal of Educational Research*, 85, 134-143.
- Eysink, T. H. S., de Jong, T., Berthold, K., Kolloffel, B., Opfermann, M., Wouters, P. (2009). Multimedia Learning Arrangement: An Analysis Across Instructional Approaches. *American Educational Research Journal*, 46, 1107-1149.
- Fischer, H. E., Schecker, H. & Wiesner, H. (2004). Kerncurriculum Physik. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 57, 147-154.

- Flavell, J. H. & Wellman, H. M. (1977). Metamemory. In R. Kail & J. Hagen (Hrsg.), *Perspectives on the development of memory and cognition* (S. 3-33). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Friedler, Y., Nachmias, R. & Linn, M. C. (1990). Learning scientific reasoning skills in microcomputer-based laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 173-191.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien - ein Problemaufriß. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien* (S. 3-54). Göttingen: Hogrefe.
- Funke, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentationen und Anwendung*. Berlin: Springer.
- Funke, J. (2001). Dynamic systems as tools for analysing human judgement. *Thinking and reasoning*, 7, 69-89.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Funke, J. (2004). Komplexes Problemlösen: Möglichkeiten deduktivistischen Vorgehens. In E. Erdfelder & J. Funke (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie und deduktivistische Methodologie* (S. 281-300). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Garner, R. (1988). Verbal-report data on cognitive and metacognitive strategies. In C. Weinstein, E. Goetz & P. Alexander (Hrsg.), *Learning and study strategies: Issues in assessment, instruction, and evaluation* (S. 63-76). New York: Academic Press.
- Garner, R. & Alexander, P. A. (1989). Metacognition: Answered and unanswered questions. *Educational Psychologist*, 24, 143-148.
- Glaser, R., Schauble, L., Raghavan, K. & Zeitz, C. (1992). Scientific Reasoning across different domains. In E. de Corte, M. C. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Hrsg.), *Computerbased learning environments and problem solving* (S. 345-371). Heidelberg: Springer.
- Goodyear, P., Njoo, M., Hijne, H. & van Berkum, J. J. A. (1991). Learning processes, learner attributes and simulations. *Education and Computing*, 6, 263-304.
- Grimes, P. W. & Willey, T. E. (1990). The effectiveness of microcomputer simulations in the principles of economic course. *Computer & Education*, 14, 81-86.
- Hadwin, A. F., Winne, P. H., Stockley, D. B., Nesbit, J. C. & Woszczyzna, C. (2001). Context moderates students' self-reports about how they study. *Journal of educational Psychology*, 93, 477-487.

- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung - dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57, 196-203.
- Hammann, M., Phan, T. T. H. & Bayrhuber, H. (2007). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Kompetenzen beim Experimentieren zu messen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, Sonderheft 8, 33-49.
- Hammerer, F. (2001). Der Fehler - eine pädagogische Schlüsselsituation und Herausforderung. *Erziehung und Unterricht*, 1-2, 37-50.
- Hardy, I. & Stadelhofer, B. (2006). Concept Maps wirkungsvoll als Strukturierungshilfen einsetzen. Welche Rolle spielt die Selbstkonstruktion. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20, 175-187.
- Healy, J. (1999). *Failure to connect: How computers affect our children's minds—and what we can do about it*. New York: Simon & Schuster.
- Heller, K. A., Gaedicke, A. K. & Weinsläder, H. (1985). *Kognitiver Fähigkeitstest KFT 4-12+*. Weinheim: Beltz.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision. Manual*. Göttingen: Beltz.
- Hmelo-Silver, C. E. Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42, 99-107.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. M. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52, 201-217.
- Hogan, K. & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modeling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10, 75-96.
- Howard-Rose, D. & Winne, P.H. (1993). Measuring component and sets of cognitive processes in self-regulated learning. *Journal of Educational Psychology*, 85, 591-604.
- Hucke, L. & Fischer, H. E. (2002). The link of theory and practice in traditional and in computer-based university laboratory experiments. In D. Psillos & H. Niedderer (Hrsg.), *Teaching and learning in the science laboratory - A look on the European project "Labwork in Science Education"* (S. 205-218). Dordrecht: Kluwer Academic Press.

- Jamieson-Noel, D. L. & Winne, P. H. (2003). Comparing self-reports to traces of studying behavior as representations of students' studying and achievement. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 159-171.
- Jonassen, D. H., Strobel, J. & Gottdenker, J. (2004). Modeling for meaningful learning. In R. Floden & K. McKeivitt (Hrsg.), *Technology for meaningful learning*. New York: Teacher's College Press.
- Jonkisz, E., Moosbrugger, H. & Brandt, H. (2007). Planung und Entwicklung von psychologischen Tests und Fragebogen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 27-73). Heidelberg:Springer.
- Kahl, R. (2002). Der Fehler ist das Salz des Lernens. *Das Magazin*, 1, 9-11.
- Kaiser, S. (1999). *Das Experiment in der Retrospektive*. Vortrag auf dem GDGP-Doktorandenkolloquium in Bad Zwischenahn.
- Kipnis, M. & Hofstein, A. (2008). The inquiry laboratory as a source for development of metacognitive skills. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 601-627.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problembased, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41, 75-86.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klahr, D., Fay, A. L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 24, 111-146.
- Klahr, D. & Simon, H. A. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 125, 524-543.
- Klahr, D., Triona, L. M. & Williams, C. (2007). Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 183-203.
- Klauer, K. J. (1985). Framework for a theory of teaching. *Teaching and Teacher Education*, 1, 5-17.
- Klauer, K. J. (1987). *Kriteriumsorientierte Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Klauer, K. J. (1988). Teaching for learning-to-learn: A critical appraisal with some proposals. *Instructional Science*, 17(4), 351-367.

- Klayman, J. & Ha, Y.-W. (1987). Confirmation, Disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94, 211-228.
- KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Knoblich, G. & Rhenius, D. (1995). Zur Reaktivität Lauten Denkens beim komplexen Problemlösen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42, 419-454.
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A. & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18, 495-523.
- Kuhn, D. & Pearsal, S. (1998). Relations between metastrategic knowledge and strategic performance. *Cognitive Development*, 13, 227-247.
- Kuhn, D., Schauble, L. & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 9, 285-327.
- Künsting, J. (2007). Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren. Dissertationsschrift. Online: <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServlet?id=16955>.
Universitätsbibliothek der Universität Duisburg-Essen, Campus 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- 15.
- Land, S. M. & Hannafin, M. J. (2000). Student-centered learning environments. In D. H. Jonassen & S. M. Land (Hrsg.), *Theoretical foundations of learning environments* (S. 1-23). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Laughlin, P. R., Bonner, B. L. & Altermatt, T. W. (1998). Collective versus individual induction with single versus multiple hypotheses. *Journal of Personality and Social Psychology*, 6, 1481-1489.
- Laurillard, D. (1987). Computers and the emancipation of students: Giving control to the learner. *Instructional Science*, 16, 3-18.
- Lavoie, D. R. & Good, R. (1988). The nature and the use of prediction skills in a biological computer simulations. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 335-360.
- Lee J. (1999) Effectiveness of computer-based instructional simulation: a meta analysis. *International Journal of Instructional Media*, 26, 71-85.

- Leopold, C., den Elzen-Rump, V. & Leutner, D. (2006). Selbstreguliertes Lernen aus Sachtexten. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms*. Münster: Waxmann.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft, 240-258.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2004). Selbstreguliertes Lernen und seine Förderung durch prozessorientiertes Training. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 364-376). Münster: Waxmann.
- Leutner, D. (1990). Simulation und Modellbildung. In Deutsches Institut für Fernstudien (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit dem Computer* (Bd. 1, S. 22-52). Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien (DIFF).
- Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction*, 3, 113-132.
- Leutner, D., Barthel, A. & Schreiber, B. (2001). Studierende können lernen, sich selbst zum Lernen zu motivieren: Ein Trainingsexperiment. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 155-167.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2003). Selbstreguliertes Lernen als Selbstregulation von Lernstrategien. Ein Trainingsexperiment mit Berufstätigen zum Lernen von Sachtexten. *Unterrichtswissenschaft*, 31, 38-56.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen aus Sachtexten. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 162-171). Göttingen: Hogrefe.
- Lewis, R. & Want, D. (1980). Educational Computing at Chelsea (1969-79). In R. Lewis & E. D. Tagg (Hrsg.), *Computer Assisted Learning* (S. 163-176). North Holland Publishing: Amsterdam.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Beltz - Psychologie Verlags Union.
- Linn, M. C., Bell, P. & Davis, E. A. (2004). Specific design principles: Elaborating the scaffolded knowledge integration framework. In M. Linn, E. A. Davis & P. Bell (Hrsg.), *Internet Environments for scientific education* (S.315-340). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Löhner, S., van Joolingen, W. R., Savelsbergh, E. R. & van Hout-Wolters, B. (2005). Students' reasoning during modeling in an inquiry learning environment. *Computers in Human Behavior*, 21, 441-461.
- Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In K. Tobin & B. Fraser (Hrsg.), *International Handbook of Science Education* (S. 249-262). Amsterdam: Kluwer.
- Lunetta, V. N., Hofstein, A. & Clough, M. P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 393-441). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A. & Reiter, W. (1993). Exploration strategies in an economics simulation game. In D. Towne, T. de Jong & H. Spada (Hrsg.), *Simulation-based experiential learning* (NATO ASI series) (S. 225-235). Berlin: Springer.
- Manlove, S., Lazonder, A. W. & de Jong, T. (2006). Regulative support for collaborative scientific inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 87-98.
- Mathan, S. A. & Koedinger, K. R. (2005). Fostering the intelligent novice: Learning from errors with metacognitive tutoring. *Educational Psychologist*, 40, 257-265.
- Mayer, J. (2008). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 177-186). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mayer, J., Harms, U., Hammann, M., Bayrhuber, H. & Kattmann, U. (2004). Kerncurriculum Biologie der gymnasialen Oberstufe. *Mathematischer und naturwissenschaftlicher Unterricht*, 57, 166-173.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 31-48). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2. Ed.). New York: Cambridge University Press.
- Ministerium für Schule, Jugend und Kinder des Landes Nordrhein-Westfalen (2004). *Physik. Sekundarstufe I. Gymnasium. Richtlinien und Lehrpläne*. Frechen: Ritterbach Verlag.
- Mikelskis, H. F. (1997). Der Computer - ein multimediales Werkzeug zum Lernen von Physik. *Physik in der Schule*, 35, 394-398.

- Mitroff, I. I. (1974). *The subjective side of science*. New York: Elsevier.
- Mynatt, C. R., Doherty, M. E. & Tweney, T. D. (1977). Confirmation bias in a simulated research environment: An experimental study of scientific inference. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 85-95.
- Nesbit, J. C. & Adesope O. O. (2006). Learning with concept and knowledge maps: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 76, 413-448.
- Nesbit, J. C. & Hadwin, A. F. (2006). Methodological issues in educational psychology. In P. A. Alexander and P. H. Winne (Hrsg.). *Handbook of educational psychology* (2nd ed., S. 825-847). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Njoo, M. K. H. (1994). *Exploratory learning with a computer simulation: Learning processes and instructional support*. Dissertation, Technische Universität Eindhoven.
- Njoo, M. K. H. & de Jong, T. (1993a). Exploratory learning with a computer simulation for control theory: Learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 821-844.
- Njoo, M. K. H. & de Jong, T. (1993b). Supporting exploratory learning by offering structured overviews of hypotheses. In D. M. Towne, T. de Jong & H. Spada (Hrsg.), *Simulation-based experiential learning* (S. 207-223). Berlin: Springer.
- Oberauer, K. (1997). *Intentionalität und Reflexion*. Münster: Aschendorff.
- OECD (2001). *Knowledge and skills for life*. First Results from PISA 2000. Paris: OECD/PISA.
- Oser, F., Hascher, T. & Spychiger, M. (1999a). Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des "negativen" Wissens. In W. Althof (Hrsg.), *Fehlerwelten: vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern. Beiträge und Nachträge zu einem interdisziplinären Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstags von Fritz Oser* (S. 11-42). Opladen: Leske + Budrich.
- Oser, F. & Spychiger, M. (2000). Lernen aus Fehlern als Beitrag zum Lebenslangen Lernen. In F. Achtenhagen & W. Lempert (Hrsg.), *Lebenslanges Lernen im Beruf. Seine Grundlegung im Kindes- und Jugendalter (IV). Formen und Inhalte von Lernprozessen* (S. 101-122). Opladen: Leske + Budrich.
- Oser, F. & Spychiger, M. (2005). *Lernen ist schmerzhaft. Zur Theorie des negativen Wissens und zur Praxis der Fehlerkultur*. Weinheim/Basel: Beltz Verlag.

- Oser, F., Spychiger, M., Hascher, T. & Mahler, F. (1997). *Die Fehlerkulturschule. Entwicklung der Fehlerkultur als Projekt im Rahmen von Schulentwicklung. Schriftenreihe zum Projekt "Lernen Menschen aus Fehlern? Zur Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule". Nr. 3.* Freiburg: Pädagogisches Institut der Universität Freiburg.
- Pedaste, M. & Sarapuu, T. (2006). Developing an effective support system for inquiry learning in a web-based environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 47-62.
- Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., Garcia, T. & McKeachie, W. J. (1993). Reliability and predictive validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ). *Educational and Psychological Measurement*, 53, 801-813.
- Prenzel, M. (2000). Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts: Ein Modellversuchsprogramm von Bund und Ländern. *Unterrichtswissenschaften*, 28, 103-126.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P. & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K. J. Tillmann & M. Weiß (Hrsg.), *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 191-248). Opladen: Leske und Budrich.
- Pressley, M., Borkowski, J. G. & Schneider, W. (1989). Good information processing: What it is and how education can promote it. *International Journal of Educational Research*, 13, 857-867.
- Putz-Osterloh, W. (1993). Strategies for knowledge acquisition and transfer of knowledge in dynamic tasks. In G. Strube & K.-F. Wender (Hrsg.), *The cognitive psychology of knowledge* (S. 331-350). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Quinn, J. and Alessi, S. (1994). The effects of simulation complexity and hypothesis-generation strategy on learning. *Journal of Research on computing in education*, 27, 75-91.
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D. & Soloway, E. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13, 337-386.
- Ramm, G., Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H. G., Rost, J. & Schiefele, U. (2006) (Hrsg.). *PISA 2003: Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.
- Reigeluth, C. M. & Schwartz, E. (1989). An instructional theory for the design of computer-based simulations. *Journal of Computer-Based Instruction*, 16, 1-10.

- Resnick, M. (1998). Technologies for lifelong kindergarten. *Educational Technology Research and Development*, 46, 43–55.
- Rheinberg, F. (2004). Motivationsdiagnostik. Göttingen: Hogrefe.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47, 57-66.
- Rieber, L. P., Boyce, M. & Assad, C. (1990). The effect of computer animation on adult learning and retrieval tasks. *Journal of Computer-Based Instruction*, 17, 46-52.
- Rieber, L. P. & Parmley, M. W. (1985). To teach or not to teach? Comparing the use of computer-based simulations in deductive versus inductive approaches to learning with adults in science. *Journal of Educational Computing*, 14, 359-374.
- Rivers, R. H. & Vockell, E. (1987). Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 403-415.
- Rollett, W. (2008). *Strategieinsatz, erzeugte Information und Informationsnutzung bei der Exploration und Steuerung komplexer dynamischer Systeme*. Münster: LIT.
- Rumelhart, D. & Norman, D. (1981). Analogical processes in learning. In J.R. Anderson (Hrsg.), *Cognitive Skills and their Acquisition* (S.335-360). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Saab, N., van Joolingen, W. R. & Hout-Wolters, B. H. A. M. (2005). Communication in collaborative discovery learning. *British Journal of Educational Psychology*, 75, 603-621.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K. & Reiner, M. (1992). The integration of knowledge and experimentation strategies in understanding a physical system. *Applied Cognitive Psychology*, 6, 321-343.
- Schecker, H., Klieme, E., Niedderer, H., Ebach, J., Gerdes, J. (1999): *Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestützte Modellbildungssysteme, Abschlussbericht zum DFG-Projekt*, Institut für Didaktik der Physik an der Universität Bremen und Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin.
- Schlagmüller, M. & Schneider, W. (1999). Metacognitive knowledge about text processing: A questionnaire. *Unpublished manuscript*. Universität Würzburg.
- Schmeck, R. R. (1988). An introduction to strategies and styles of learning. In R. R. Schmeck (Hrsg.), *Learning strategies and learning styles* (S. 3-19). New York: Plenum Press.

- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Beltz Psychologie Verlag Union.
- Schraw, G. (2000). *Issues in the measurement of metacognition*. Lincoln, NE: University of Nebraska Press.
- Schreiber, B. (1998). *Selbstreguliertes Lernen*. Münster: Waxmann.
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?!. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 8, 92-101.
- Schulmeister, R. (1997). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme: Theorie, Didaktik, Design* (2. Aufl.). München: Oldenbourg.
- Schunn, C. D. & Klahr, D. (2000). Multiple-space search in a more complex discovery microworld. In D. Klahr (Hrsg.), *Exploring science: The cognition and development of discovery processes* (S. 161-199). Cambridge, MA: MIT Press.
- Seidel, T. & Prenzel, M. (2003). Mit Fehlern umgehen - Zum Lernen motivieren. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 52, 30-34.
- Sheth, J. N., Mittal, B. & Newman, B. I. (1999): *Customer behavior: Consumer behavior and beyond*. Fort Worth, TX: The Dryden Press.
- Shute, V. J. & Glaser, R. (1990). A large-scale evaluation of an intelligent discovery world: Smithtown. *Interactive Learning Environments*, 1, 51-77.
- Shute, V. J., Glaser, R. & Raghavan, K. (1989). Inference and discovery in an exploratory laboratory. In P. L. Ackerman, R. J. Sternberg & R. Glaser (Hrsg.), *Learning and individual differences: Advances in theory and research* (S. 279-326). New York: Freeman.
- Simmons, P. E. & Lunetta, V. N. (1993). Problem-solving behavior during a genetics computer simulation: Beyond the expert/novice dichotomy. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 153-173.
- Simon, H. A. & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction: A unified view. In L. W. Gregg (Hrsg.), *Knowledge and cognition* (S. 105-127). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spörer, N. (2004). *Strategie und Lernerfolg: Validierung eines Interviews zum selbstgesteuerten Lernen*. Dissertation: Universität Potsdam. [http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2005/150/\(30.04.07\)](http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2005/150/(30.04.07)).

- Spörer, N. & Brunstein, J. C. (2005). Diagnostik von selbstgesteuertem Lernen: Ein Vergleich zwischen Fragebogen- und Interviewmethoden. In C. Artelt & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis* (S. 43-63). Münster: Waxmann.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
- Swaak, J. & de Jong, T. (1996). Measuring intuitive knowledge in science: The development of the what-if test. *Studies in Educational Evaluation*, 22, 341-362.
- Süß, H.-M. (1999). Intelligenz und komplexes Problemlösen: Perspektiven für eine Kooperation zwischen differentiell-psychometrischer und kognitionspsychologischer Forschung. *Psychologische Rundschau*, 59, 220-228.
- Tabak, I., Smith, B. K., Sandoval, W. A. & Reiser, B. J. (1996). Combining general and domain-specific strategic support for biological inquiry. In C. Frasson & G. Gauthier & A. Lesgold (Hrsg.), *Intelligent Tutoring Systems: Third International Conference, ITS '96* (S. 288-296). Montreal, Canada: Springer.
- Thagard, P. (1998). Ulcers and bacteria I: Discovery and acceptance. *Studies in history and philosophy of science part c: Studies in history and philosophy of biology and biomedical sciences*, 29, 107-136.
- Thillmann, H. (2008). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen.
- Triona, L. M. & Klahr, D. (2003). Point and click or grab and heft: Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school student's ability to design experiments. *Cognition and Instruction*, 21, 149-173.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.
- van Berkum, J. J. A. & de Jong, T. (1991). Instructional environments for simulations. *Education & Computing*, 6, 305-358.
- van Berkum, J. J. A., Hijne, H., de Jong, T., van Joolingen, W. R. & Njoo, M. K. H. (1991). Aspects of computer simulations in an instructional setting. *Education and Computing*, 6, 231-239.
- van Gog, T., Kestera, L., Nievelstein, L., Giesbers, B. & Paas, F. (2009). Uncovering cognitive processes: Different techniques that can contribute to cognitive load research and instruction. *Computers in Human Behavior*, 25, 325-331.
- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.

- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1993). Exploring a domain with a computer simulation: Traversing variable and relation space with the help of a hypothesis scratchpad. In D. Towne, T. de Jong & H. Spada (Hrsg.), *Simulation-based experiential learning* (S. 191-206). Berlin: Springer.
- van Joolingen, W. R., de Jong, T. & Dimitrakopoulou, A. (2007). Issues in computer supported inquiry learning in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 111-119.
- van Joolingen, W. R., de Jong, T., Lazonder, A. W., Savelsbergh, E. R. & Manlove, S. (2005). Co-Lab: Research and development of an online learning environment for collaborative scientific discovery learning. *Computers in Human Behavior*, 21, 671-688.
- Veenman, M. V. J. (1993). *Intellectual ability and metacognitive skill: Determinants of discovery learning in computerized learning environments*. Amsterdam: University of Amsterdam.
- Veenman, M. V. J. (2005). The assessment of metacognitive skills: What can be learnt from multi-method designs. In C. Artelt & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis* (S. 77-99). Münster: Waxmann.
- Veenman, M. V. J. & Elshout, J. J. (1999). Changes in the relationship between cognitive and metacognitive skills during the acquisition of expertise. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 509-523.
- Veenman, M. V. J., Kok, R. & Blöte, A. W. (2005). The relation between intellectual and metacognitive skills at the onset of metacognitive skill development. *Instructional Science*, 33, 193-211.
- Veenman, M. V. J., Prins, F. J. & Elshout, J. J. (2002). Initial inductive learning in a complex computer simulated environment: the role metacognitive skills and intellectual ability. *Computers in Human Behavior*, 18, 327-341.
- Veenman, M. V. J. & Spaans, M. A. (2005). Relation between intellectual and metacognitive skills: Age and task differences. *Learning and Individual Differences*, 15, 159-176.
- Veenman, M. V. J., Wilhelm, P. & Beishuizen, J. J. (2004). The relation between intellectual and metacognitive skills from a developmental perspective. *Learning and Instruction*, 14, 89-109.
- Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (1996). Hypotheseninstruktion und Zielspezifität: Bedingungen, die das Erlernen und Kontrollieren eines komplexen Systems beeinflussen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 4, 657-683.

- Vollmeyer, R., Burns, B. D. & Holyoak, K. L. (1996). The impact of goal specificity on strategy use and the acquisition of problem structure. *Cognitive Science*, 20, 75-100.
- Vollmeyer, R. & Funke, J. (1999). Personen- und Aufgabenmerkmale beim Komplexen Problemlösen. *Psychologische Rundschau*, 50, 213-219.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1998). Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, 11-24.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1999). Motivation and metacognition when learning a complex system. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 541-554.
- Wahser, I. (2007). *Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen.
- Wahser, I. & Sumfleth, E. (2008). Training experimenteller Arbeitsweisen zur Unterstützung kooperativer Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 219-241.
- Wallach, D. P. (1998). *Komplexe Regelungsprozesse*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.
- Weinstein, C. E. (1987). *Learning and Study Strategies Inventory (LASSI)*. Clearwater, FL: H & H Publishing Company.
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modelling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16, 3-118.
- White, B. Y. & Horwitz, P. (1988). Computer microworlds and conceptual change: A new approach to science education. In P. Ramsden (Hrsg.), *Improving learning: New perspectives* (S. 69-80). London: Kogan Page.
- Wichmann, A. & Leutner, D. (2009). Inquiry Learning. Multilevel Support with Respect to Inquiry. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 117-127.
- Explanations and Regulation During an Inquiry Cycle
- Wild, K.-P. & Schiefele, U. (1994). Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 15, 185-200.
- Wilson, T. D. (1994). The proper protocol: Validity and completeness of verbal reports. *Psychological Science*, 5, 249-251.

- Winne, P. H. (1996). A metacognitive view of individual differences in self-regulated learning. *Learning and Individual Differences*, 8, 327-353.
- Winne, P. H. & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning. In D. J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Hrsg.), *Metacognition in Educational Theory and Practice* (S. 277-304). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Winne, P. H. & Jamieson-Noel, D. (2002). Exploring students' calibration of self reports about study tactics and achievement. *Contemporary Educational Psychology*, 27, 551-572.
- Winne, P. H. & Jamieson-Noel, D. (2003). Self-regulating studying by objectives for learning: Students' reports compared to a model. *Contemporary Educational Psychology*, 28, 259-276.
- Winne, P. H. & Perry, N. E. (2000). Measuring self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 531-566). San Diego, CA: Academic Press.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. (2005). Selbstreguliertes Lernen in komplexen und dynamischen Situationen. Die Nutzung von Handlungsdaten zur Erfassung verschiedener Aspekte der Lernprozessregulation. In C. Artelt & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis* (S. 101-127). Münster: Waxmann.
- Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 172-184). Göttingen: Hogrefe.
- Wirth, J. & Leutner, D. (2008). Self-Regulated Learning as a Competence. Implications of Theoretical Models for Assessment Methods. *Zeitschrift für Psychologie*, 216, 102-110.
- Wirth, J., Meyer, K. & Leutner, D. (2005). *Assessing behavioral and reflective aspects of metacognition*. Abstracts of the 11. European Conference for Research on Learning and Instruction (S. 556). Nicosia: University of Cyprus.
- Wittmann, W. W., Süß, H. M. & Oberauer, K. (1996). *Determinanten komplexen Problemlösens* (Berichte des Lehrstuhl Psychologie II der Universität Mannheim). Mannheim: Universität Mannheim, Heft 9.
- Wittrock, M. C. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24, 345-376.

- Zhang, J., Chen, Q., Sun, Y. & Reid, D. J. (2004). Triple scheme of learning discovery learning based on computer simulation: experimental research. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20, 269-282.
- Zimmermann, B. J. & Martinez-Pons, M. (1986). Development of a structured interview for assessing student use of self-regulated learning strategies. *American Educational Research Journal*, 23, 614-628.
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1988). Construct validation of a strategy model of student self-regulated learning. *Journal of Educational Psychology*, 80, 284-290.
- Zimmermann, B. J. & Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82, 51-59.

A Prä- und Post-Test inhaltspezifischen Wissen

(Re-Analyse)

Lab Plugins

Hallo liebe Schülerin, hallo lieber Schüler,

im Folgenden geht es um das Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Dieses handelt von den Eigenschaften eines Körpers (z.B. eines Würfels), der sich in einer Flüssigkeit befindet.

Wenn sich ein Körper in einer Flüssigkeit befindet, dann wirken vier Kräfte auf ihn ein:

1. Die Kraft F_A : Sie heißt **Auftriebskraft** und **drückt den Körper nach oben**.
2. Die Kraft F_G : Sie heißt **Gewichtskraft** und **drückt den Körper nach unten**.
3. Die Kraft F_o : Sie **drückt von oben** auf die obere Grundfläche des Körpers.
4. Die Kraft F_u : Sie **drückt von unten** auf die untere Grundfläche des Körpers.

Im Folgenden findest du einige Fragen zu einem Körper, der sich in einer Flüssigkeit befindet. Für jede Frage gibt es immer genau eine richtige Antwort. Kreuze für jede Frage immer nur eine Antwort an.

Nun kann's auch schon losgehen. Viel Spaß!



OK

Lab Plugins

⏪ Auftriebsversuch

Wie verändert sich die Auftriebskraft (F_A) des Körpers, wenn man ihn von einem Würfel in eine Kugel umformt? Die Auftriebskraft (F_A) wird ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie verändert sich die Auftriebskraft (F_A) des Körpers, wenn man nur sein Volumen (V) verkleinert? Die Auftriebskraft (F_A) wird ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie verändert sich die Auftriebskraft (F_A) des Körpers, wenn man nur die Dichte (ρ_F) der Flüssigkeit vergrößert? Die Auftriebskraft (F_A) wird ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie verändert sich die Auftriebskraft (F_A) des Körpers, während er sinkt? Die Auftriebskraft (F_A) wird ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie verändert sich die Auftriebskraft (F_A) des Körpers, wenn man nur den Unterschied zwischen seinen Kräften F_O und F_U vergrößert? Die Auftriebskraft (F_A) wird ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie verändert sich die Dichte (ρ_K) des Körpers, wenn man nur sein Volumen (V) vergrößert? Die Dichte (ρ_K) wird ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie verändert sich die Dichte (ρ_K) des Körpers, wenn man nur seine Masse (m) vergrößert? Die Dichte (ρ_K) wird ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie verändert sich Dichte (ρ_K) des Körpers, wenn man seine Masse (m) verkleinert und sein Volumen (V) vergrößert? Die Dichte (ρ_K) wird ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie verändern sich die Kräfte F_O und F_U des Körpers, wenn man nur die Dichte (ρ_F) der Flüssigkeit vergrößert? Die Kräfte F_O und F_U werden ...

größer kleiner gleich bleiben

Wie groß ist die Auftriebskraft (F_A) des Körpers im Vergleich zu seiner Gewichtskraft (F_G), wenn die Dichte (ρ_K) des Körpers gleich groß ist wie die Dichte (ρ_F) der Flüssigkeit? Die Gewichtskraft (F_G) ist ...

größer kleiner gleich groß

Zurück Vorwärts Fertig

Lab Plugins

Auftriebsversuch

Wie verhält sich der Körper, wenn seine Auftriebskraft (F_A) größer ist als seine Gewichtskraft (F_G)? Der Körper wird ...

sinken schweben steigen

Wie verhält sich der Körper, wenn seine Gewichtskraft (F_G) größer ist als seine Auftriebskraft (F_A)? Der Körper wird ...

sinken schweben steigen

Wie verhält sich der Körper, wenn die Dichte (ρ_K) des Körpers größer ist als die Dichte (ρ_F) der Flüssigkeit? Der Körper wird ...

sinken schweben steigen

Wie verhält sich der Körper, wenn die Dichte (ρ_F) der Flüssigkeit größer ist als die Dichte (ρ_K) des Körpers? Der Körper wird ...

sinken schweben steigen

Wie verhält sich ein Körper mit der Dichte $\rho_K = 1 \text{ g/cm}^3$ in einer Flüssigkeit mit der Dichte $\rho_F = 3 \text{ g/cm}^3$? Der Körper wird ...

sinken schweben steigen

Zurück Vorwärts Fertig

B Test des Handlungswissen

B.1 Screenshot eines Beispielitems

B.2 Auflistung der 15 Items

B.1 Screenshot eine Beispielitems

Lab Plugins

Auftriebsversuch

500cm³ 750cm³ 1000cm³ V_{Objekt}

Blei

Hartgummi

Süßholz

5650g 8475g 11300g

600g 900g 1200g

30g 45g 60g

Heftmaschine

Entfernen

Bringe einen Körperturm aus drei Körpern irgendwie zum schweben!

Weiter

$\rho_{\text{FL}} = 1.0 \text{ g/cm}^3$

Dichtescanner

Dichte ρ in g/cm^3 :

Flüssigkeitsdichte

$\rho_{\text{FL}} = 1.0 \text{ g/cm}^3$

$\rho_{\text{FL}} = 1.2 \text{ g/cm}^3$

$\rho_{\text{FL}} = 3.0 \text{ g/cm}^3$

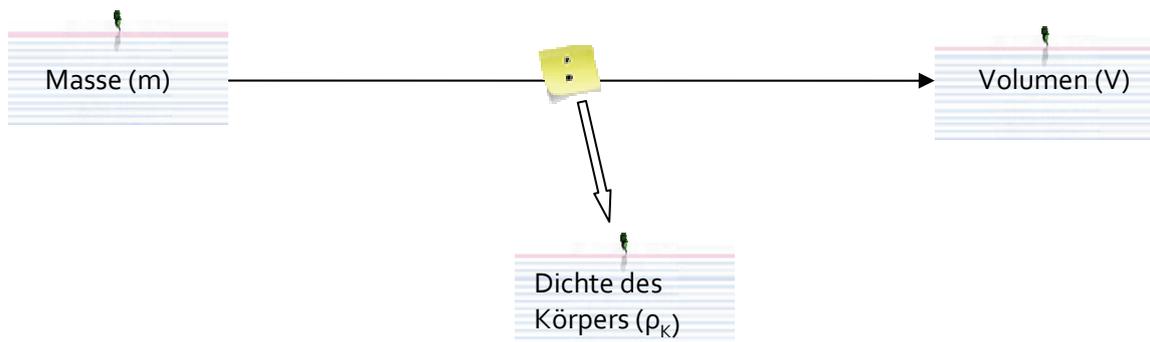
Körper ins Regal zurück

B.2 Auflistung der 15 Items

1. Wirf den einzelnen größten Bleikörper ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte!
2. Hefte den kleinsten Blei- und den größten Styroporkörper mit Hilfe der Heftmaschine zusammen!
3. Stelle die Flüssigkeitsdichte des Wassers auf $1; 2g=cm^3$ ein!
4. Bestimme die Dichte des größten Styroporkörpers mit Hilfe des Dichtescanners und schreibe sie in die Messtabelle!
5. Bestimme die Auftriebskraft des kleinsten Bleikörpers im Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte und schreibe sie in die Messtabelle!
6. Wirf den einzelnen Körper mit der kleinsten Gewichtskraft (F_G) ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte ($\rho_{(FL)}$)!
7. Wirf den einzelnen Körper mit der größten Dichte ($\rho_{(K)}$) bei einem Volumen von $V = 500cm^3$ ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte ($\rho_{(FL)}$)!
8. Wirf den einzelnen Hartgummikörper mit der größten Auftriebskraft (F_A) ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte ($\rho_{(FL)}$)!
9. Wirf den kleinsten einzelnen Styroporkörper ins Wasser mit der Flüssigkeitsdichte ($\rho_{(FL)}$), bei der die Auftriebskraft (F_A) dieses Körpers am größten ist!
10. Wirf den Körperturm, bei dem der Unterschied zwischen den Kräften F_o und F_u am größten ist, ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte ($\rho_{(FL)}$)!
11. Wirf den kleinsten Hartgummikörper in das Wasser mit der Flüssigkeitsdichte ($\rho_{(FL)}$), bei der möglichst viele andere Körper auch steigen würden!
12. Bringe einen Körper mit dem Volumen von $V = 500cm^3$ zum Schweben!
13. Bringe einen Körperturm aus drei Körpern irgendwie zum Schweben!
14. Bringe ein und denselben Körperturm direkt nacheinander einmal zum Sinken und einmal zum Steigen!
15. Bringe einen Bleikörper irgendwie zum Steigen!

C Relationen in der Physik-Lernumgebung

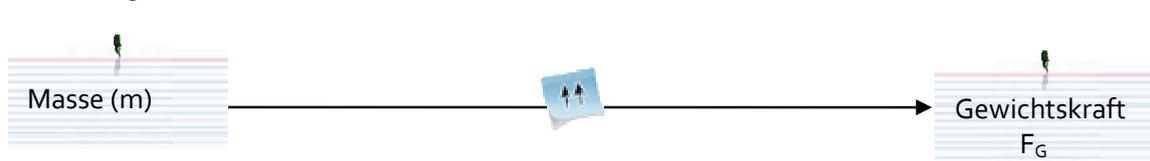
Vorgegebene Relation 1 nach dem Tutorial



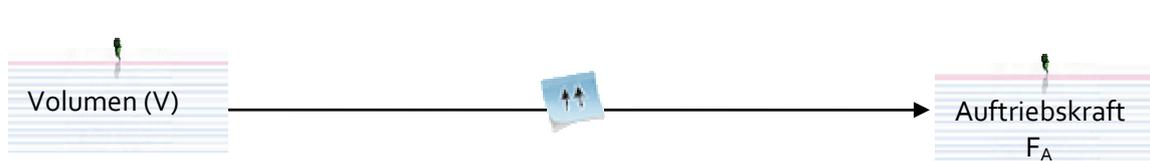
Relation 2



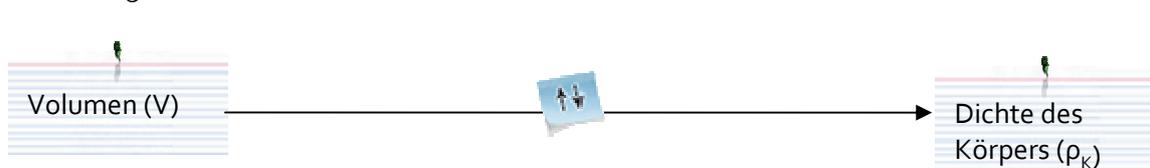
Relation 3



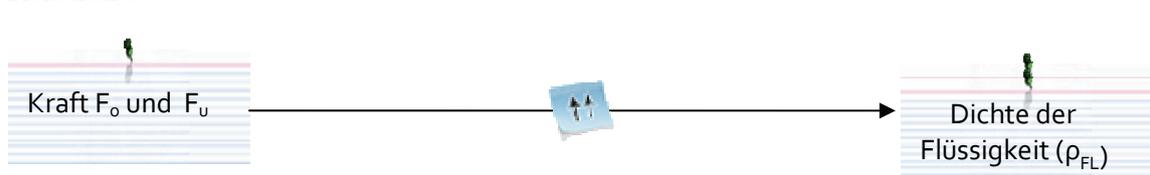
Relation 4



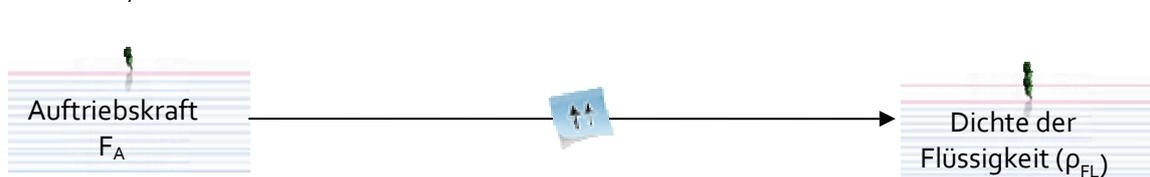
Relation 5



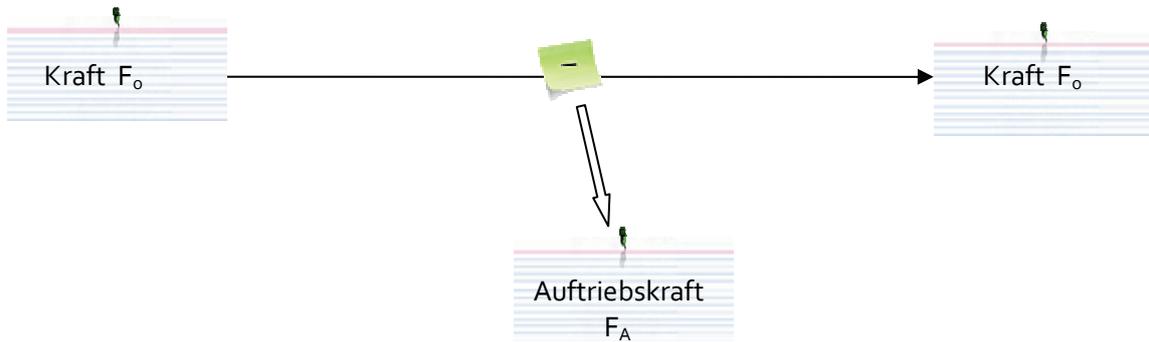
Relation 6



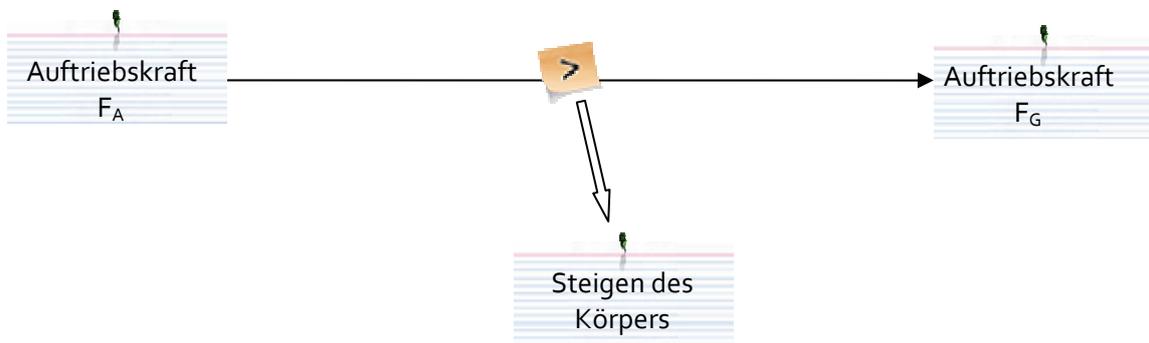
Relation 7



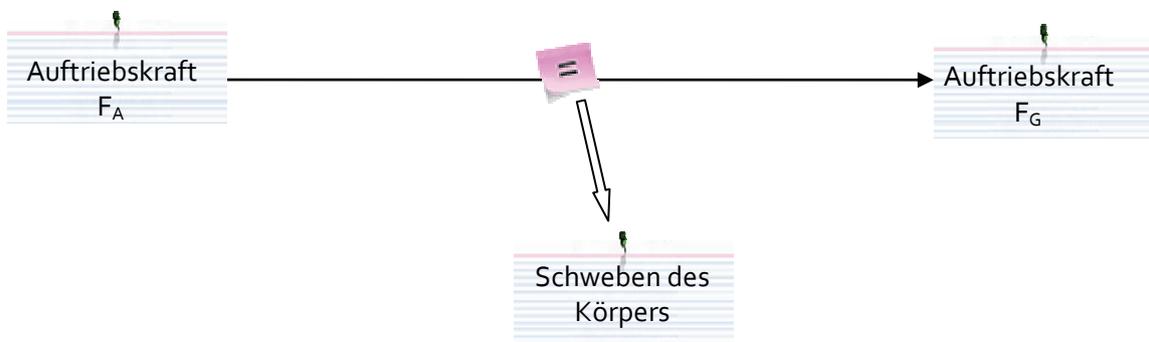
Relation 8



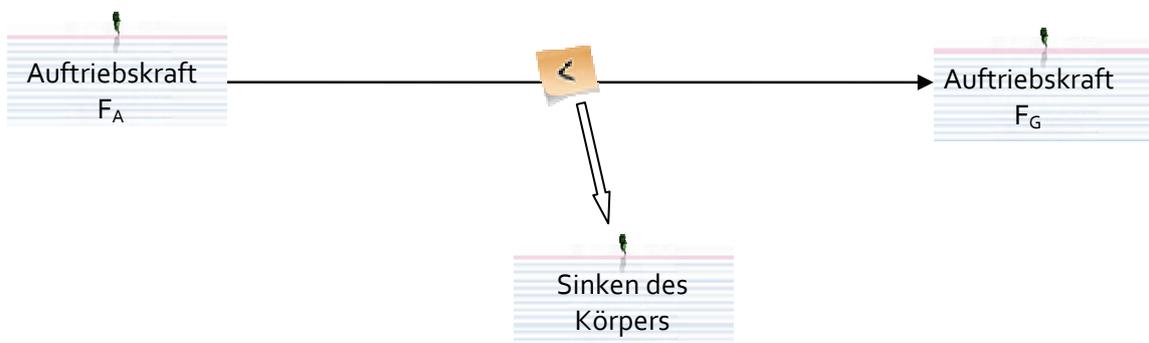
Relation 9



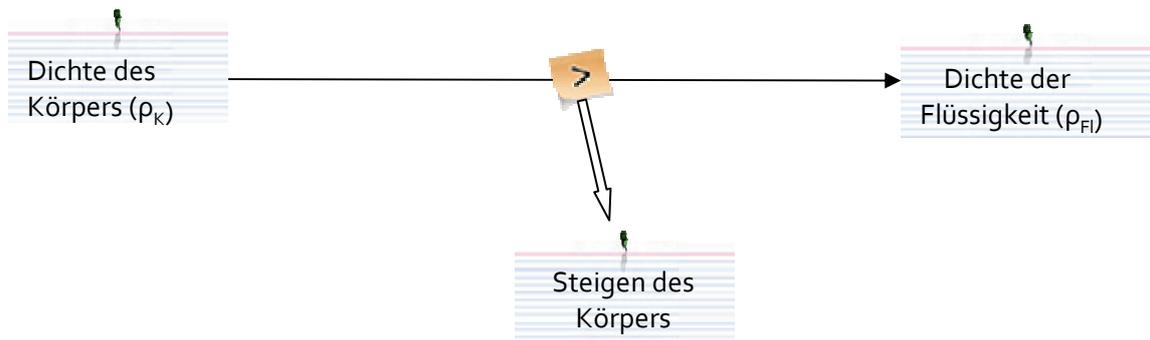
Relation 10



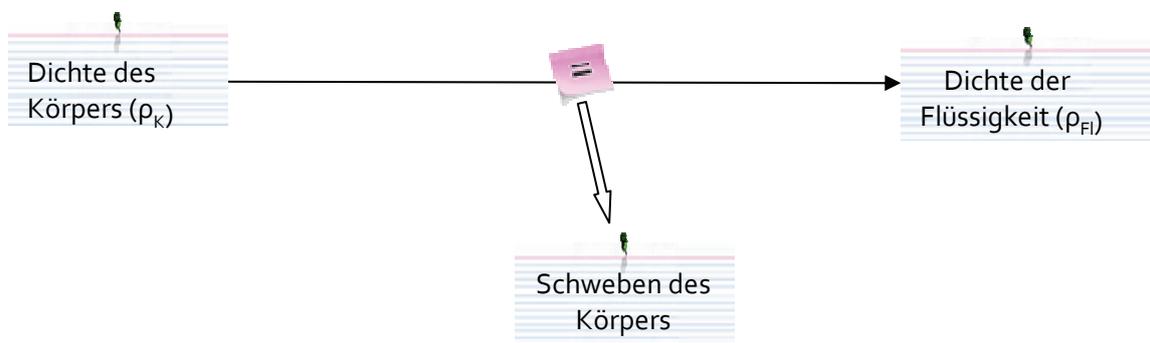
Relation 11



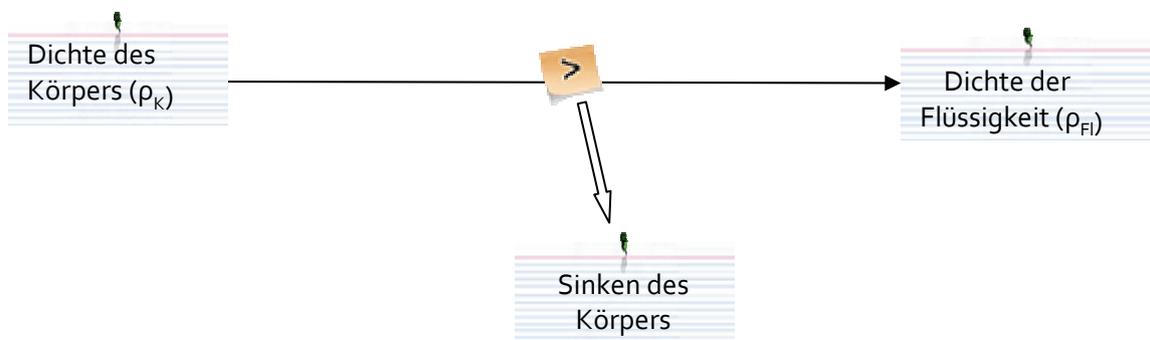
Relation 12



Relation 13



Relation 14



Anmerkungen: Bedeutungen der relationalen Label.



Proportionale Beziehung (z. B. Je größer..., desto größer).



Unproportionale Beziehung (z. B. Je größer..., desto kleiner).



Geteilt



Gleich



„Ist größer als“



„Ist kleiner als“



Minus

D Test des deklarativ-konzeptuellen Wissens Physik (Pilotierung)

Liebe Schüler/in,

danke, dass du an unserer Studie teilnimmst. Bitte fülle diesen Fragebogen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“, so gut wie du kannst, eigenständig aus. Kreuze dazu 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.

In den Fragen tauchen die Abkürzungen von verschiedenen Kräften auf. Die Abkürzungen stehen für:

Die **Kraft F_A** = Sie heißt Auftriebskraft und drückt den Körper nach oben
Die **Kraft F_G** = Sie heißt Gewichtskraft und drückt den Körper nach unten
Die **Kraft F_o** = Sie drückt von oben auf die obere Grundfläche eines Körpers
Die **Kraft F_u** = Sie drückt von unten auf die untere Grundfläche eines Körpers

Bevor du den Test ausfüllst, bitten wir dich, Klasse und Geschlecht, sowie deine letzten Noten in den Fächern Chemie, Physik und Englisch anzugeben. Der Fragebogen wird nicht benotet und wird auch nicht mit deinem Namen versehen.
Vielen Dank für deine Mithilfe!

Klasse: _____

Alter: _____

Geschlecht: weiblich männlich

Gib bitte für folgende Fächer deine letzte Zeugnisnote an:

Chemienote: _____

Mathenote: _____

Physiknote: _____

Deutschnote: _____

Biologienote: _____

Englischnote: _____

Mit dem Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ habe ich mich schon einmal beschäftigt (z.B. in der Schule, in meiner Freizeit): ja nein

Wenn das Thema bereits im Unterricht vorkam, wie lange ist es in etwa her?

Schätze ein wie viel du bereits zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ weißt?

sehr viel viel mittel wenig sehr wenig gar nichts

Die **Kraft F_A** = Sie heißt Auftriebskraft und drückt den Körper nach oben
Die **Kraft F_G** = Sie heißt Gewichtskraft und drückt den Körper nach unten
Die **Kraft F_o** = Sie drückt von oben auf die obere Grundfläche eines Körpers
Die **Kraft F_u** = Sie drückt von unten auf die untere Grundfläche eines Körpers

- 1) Auf einen Körper können verschiedene Kräfte wirken. Die Kraft F_A , die auf 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) Auf einen Körper können verschiedene Kräfte wirken. Die Kraft F_o , die auf 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.

- 3) Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, sein Volumen (V) verkleinert 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.

- 4) Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, seine Masse (m) vergrößert und das Volumen (V) 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.

- 5) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) gleich groß ist wie die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}), in die man ihn wirft?
 - a) Die Kraft F_G wird größer als die Kraft F_A .
 - b) Die Kraft F_G wird genauso groß wie die Kraft F_A .
 - 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

Die **Kraft F_A** = Sie heißt Auftriebskraft und drückt den Körper nach oben
Die **Kraft F_G** = Sie heißt Gewichtskraft und drückt den Körper nach unten
Die **Kraft F_o** = Sie drückt von oben auf die obere Grundfläche eines Körpers
Die **Kraft F_u** = Sie drückt von unten auf die untere Grundfläche eines Körpers

- 6) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{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
- 7) Was passiert, wenn man denselben Körper nacheinander in zwei Behälter mit unterschiedlicher Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) wirft? Je größer die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{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
- 8) Was passiert, wenn der Unterschied zwischen den Kräften F_o und F_u kleiner wird?
- Die Kraft F_G wird kleiner.
 - Die Kraft F_G wird größer.
 - Die Kraft F_A wird größer.
 - Die Kraft F_A wird kleiner.
 - Weiß ich nicht
- 9) 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_A des Körpers ist genauso groß wie seine Kraft F_G .
 - Die Dichte des Körpers ist kleiner als die Dichte der Flüssigkeit.
 - Die Dichte des Körpers ist genauso groß wie die Dichte der Flüssigkeit.
 - Weiß ich nicht
- 10) 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_A des Körpers ist gleich seiner 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

Die **Kraft F_A** = Sie heißt Auftriebskraft und drückt den Körper nach oben
Die **Kraft F_G** = Sie heißt Gewichtskraft und drückt den Körper nach unten
Die **Kraft F_o** = Sie drückt von oben auf die obere Grundfläche eines Körpers
Die **Kraft F_u** = Sie drückt von unten auf die untere Grundfläche eines Körpers

- 11) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser schwebt?
- a) Die Kraft F_o ist größer als die Kraft F_u .
 - b) Die Kraft F_o ist genauso groß wie die Kraft F_u .
 - c) Die Dichte des Körpers ist größer als die Dichte der Flüssigkeit.
 - d) Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit.
 - e) Weiß ich nicht
- 12) Wenn ein Körper im Wasser steigt, ist...
- a) seine Kraft F_A größer als seine Kraft F_G .
 - b) seine Kraft F_G größer als seine Kraft F_A .
 - c) seine Kraft F_A größer als die Kraft F_u
 - d) seine Kraft F_G größer als die Kraft F_u .
 - e) weiß ich nicht
- 13) Wenn ein Körper im Wasser sinkt, ist...
- a) seine Kraft F_A größer als seine Kraft F_G .
 - b) seine Kraft F_G größer als seine Kraft F_A .
 - c) seine Kraft F_A größer als die Kraft F_u .
 - d) seine Kraft F_G größer als die Kraft F_u .
 - e) weiß ich nicht.
- 14) Wenn ein Körper im Wasser schwebt, ist...
- a) seine Kraft F_A genau groß wie seine Kraft F_G .
 - b) seine Kraft F_G größer als seine Kraft F_A .
 - c) seine Kraft F_A genauso groß wie die Kraft F_u .
 - d) seine Kraft F_G größer als die Kraft F_u .
 - e) weiß ich nicht.
- 15) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Masse von 100g. Würfel B hat ein Volumen von 100cm^3 und eine Masse von 100g. 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 Kraft F_G des Würfels A ist größer als die Kraft F_G des Würfels B.
 - d) Die Kraft F_G des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_G des Würfels B.
 - e) Weiß ich nicht.

Die **Kraft F_A** = Sie heißt Auftriebskraft und drückt den Körper nach oben
Die **Kraft F_G** = Sie heißt Gewichtskraft und drückt den Körper nach unten
Die **Kraft F_o** = Sie drückt von oben auf die obere Grundfläche eines Körpers
Die **Kraft F_u** = Sie drückt von unten auf die untere Grundfläche eines Körpers

- 16) Würfel A hat eine Masse von 100g und ein Volumen von 200cm^3 . Würfel B hat eine Masse von 500g und ein Volumen von 200cm^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_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.
- 17) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Masse von 100g. Würfel B hat ein Volumen von 100cm^3 und eine Masse von 100g. Beide Würfel befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- Die Gewichtskraft des Würfels A ist größer als die Gewichtskraft des Würfels B.
 - Die Gewichtskraft des Würfels A ist kleiner als die Gewichtskraft des Würfels B.
 - Die Auftriebskraft des Würfels A ist größer als die Auftriebskraft des Würfels B.
 - Die Auftriebskraft des Würfels A ist kleiner als die Auftriebskraft des Würfels B.
 - Weiß ich nicht.
- 18) Würfel A hat eine Masse von 100g und ein Volumen von 200cm^3 . Würfel B hat eine Masse von 500g und ein Volumen von 200cm^3 . Beide Würfel befinden sich in derselben Flüssigkeit. 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.
- 19) 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.

Die **Kraft F_A** = Sie heißt Auftriebskraft und drückt den Körper nach oben
 Die **Kraft F_G** = Sie heißt Gewichtskraft und drückt den Körper nach unten
 Die **Kraft F_o** = Sie drückt von oben auf die obere Grundfläche eines Körpers
 Die **Kraft F_u** = Sie drückt von unten auf die untere Grundfläche eines Körpers

- 20) Ein Würfel hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Eine Kugel hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Beide Körper befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden 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.
- 21) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 1\text{g/cm}^3$ hat. Würfel B hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 3\text{g/cm}^3$ hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- 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.
- 22) 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.
- 23) Wann sinkt ein Körper in einer Flüssigkeit mit der Dichte 3g/cm^3 ?
- Wenn die Dichte des Körpers = 1g/cm^3 ist.
 - Wenn die Dichte des Körpers = 2g/cm^3 ist.
 - Wenn die Dichte des Körpers = 3g/cm^3 ist.
 - Wenn die Dichte des Körpers = 4g/cm^3 ist.
 - Weiß ich nicht.

Anmerkungen zum Fragebogen:

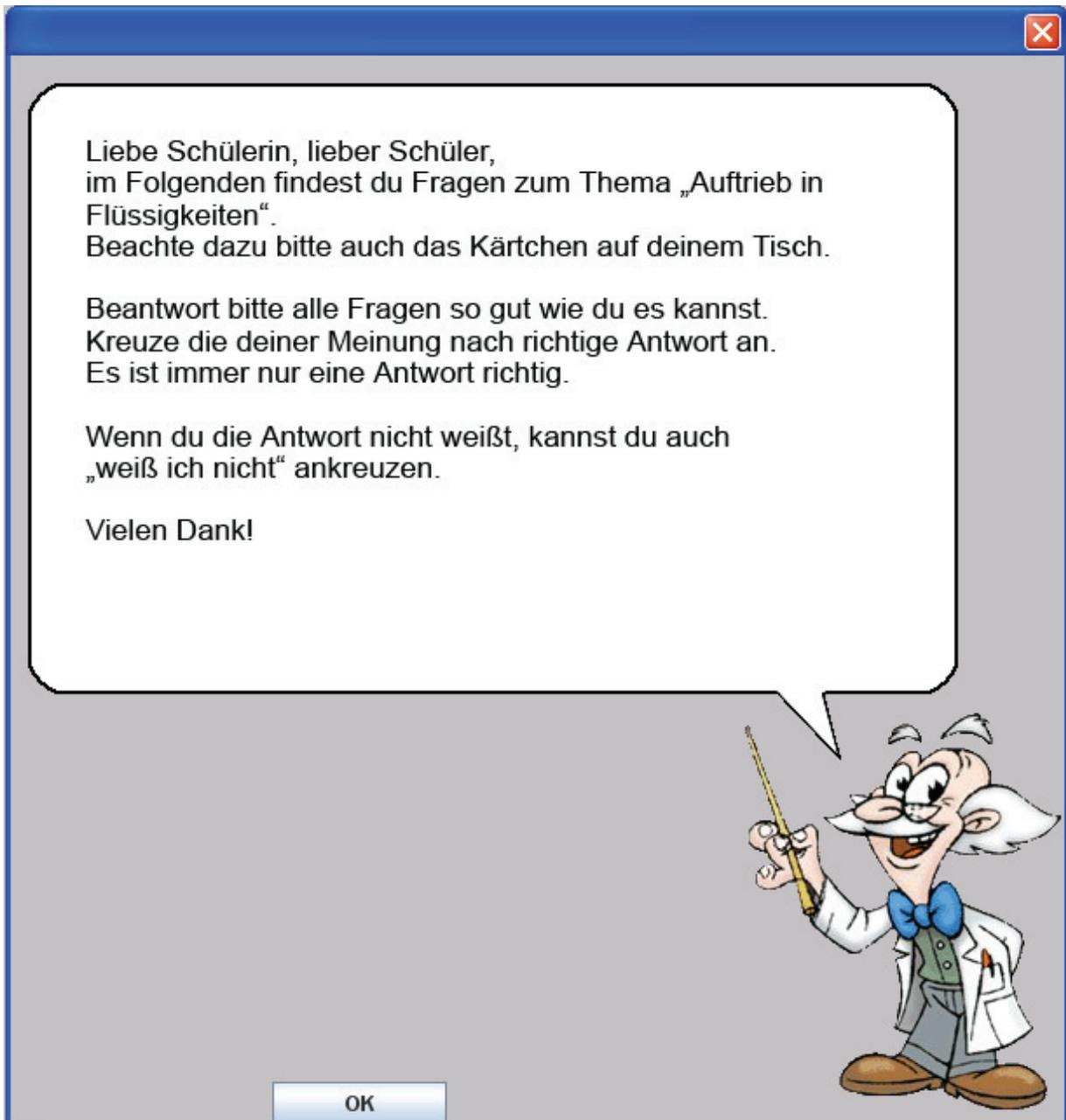
Hier kannst du aufschreiben, ob und welche Wörter du nicht verstanden hast oder wenn du Formulierungen unverständlich fandest.

E Prä-Test deklarativ-konzeptuelles Wissen Physik

(Evaluationsstudie)

- E.1 Instruktion zum Test
- E.2 Screenshot eines Beispielitems
- E.3 Auflistung aller Items

E.1 Instruktion zum Test



Liebe Schülerin, lieber Schüler,
im Folgenden findest du Fragen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“.
Beachte dazu bitte auch das Kärtchen auf deinem Tisch.

Beantworte bitte alle Fragen so gut wie du es 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!



OK

E.2 Screenshot eines Beispielitems

⤴ Auftriebsversuch

Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{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.

Vorwärts Fertig

E.3 Auflistung aller Items

- 1) Auf einen Körper können verschiedene Kräfte wirken. Die Kraft F_A , die auf 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?
 - 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.

- 3) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) gleich groß ist wie die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}), in die man ihn wirft?
 - a) Die Kraft F_G wird größer als die Kraft F_A .
 - b) Die Kraft F_G wird genauso groß wie die Kraft F_A .
 - 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

- 4) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{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

- 5) Was passiert, wenn man denselben Körper nacheinander in zwei Behälter mit unterschiedlicher Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) wirft? Je größer die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) ist, ...
 - a) desto größer die Kraft F_G .
 - b) desto geringer die Kraft F_G .
 - c) desto größer die Kraft F_A .
 - d) desto geringer die Kraft F_A .
 - e) 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_A 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 die Kraft F_u .
 - seine Kraft F_G größer als die Kraft F_u .
 - weiß ich nicht.
- 8) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Masse von 100g . Würfel B hat ein Volumen von 100cm^3 und eine Masse von 100g . 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) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Masse von 100g . Würfel B hat ein Volumen von 100cm^3 und eine Masse von 100g . Beide Würfel befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- Die Gewichtskraft des Würfels A ist größer als die Gewichtskraft des Würfels B.
 - Die Gewichtskraft des Würfels A ist kleiner als die Gewichtskraft des Würfels B.
 - Die Auftriebskraft des Würfels A ist größer als die Auftriebskraft des Würfels B.
 - Die Auftriebskraft des Würfels A ist kleiner als die Auftriebskraft des Würfels B.
 - Weiß ich nicht.
- 10) Würfel A hat eine Masse von 100g und ein Volumen von 200cm^3 . Würfel B hat eine Masse von 500g und ein Volumen von 200cm^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_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.
- 11) 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.

- 12) Ein Würfel hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Eine Kugel hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Beide Körper befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden 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.
- 13) Würfel A und B haben ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Würfel A befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{\text{FL}} = 1\text{g/cm}^3$ hat. Würfel B befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{\text{FL}} = 3\text{g/cm}^3$ hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- 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.
- 14) 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?
- 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.
- 15) Wann sinkt ein Körper in einer Flüssigkeit mit der Dichte 3g/cm^3 ?
- a) Wenn die Dichte des Körpers $= 1\text{g/cm}^3$ ist.
 - b) Wenn die Dichte des Körpers $= 2\text{g/cm}^3$ ist.
 - c) Wenn die Dichte des Körpers $= 3\text{g/cm}^3$ ist.
 - d) Wenn die Dichte des Körpers $= 4\text{g/cm}^3$ ist.
 - e) Weiß ich nicht.

F Post-Test deklarativ-konzeptuelles Wissen Physik

(Evaluationsstudie)

- F.1 Instruktion zum Test
- F.2 Screenshot eines Beispielitems
- F.3 Auflistung aller Items

F.1 Instruktion zum Test



F.2 Screenshot eines Beispielitems

⏪ Auftriebsversuch

Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, seine Masse (m) vergrößert und das Volumen (V) 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.

Vorwärts Fertig

F.3 Auflistung aller Items

- 1) Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, seine Masse (m) vergrößert und das Volumen (V) 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 (ρ_K) gleich groß ist wie die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}), in die man ihn wirft?
 - a) Die Kraft F_G wird größer als die Kraft F_A .
 - b) Die Kraft F_G wird genauso groß wie die Kraft F_A .
 - 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 (ρ_K) kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{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

- 4) Was passiert, wenn man denselben Körper nacheinander in zwei Behälter mit unterschiedlicher Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) wirft? Je größer die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) ist, ...
 - a) desto größer die Kraft F_G .
 - b) desto geringer die Kraft F_G .
 - c) desto größer die Kraft F_A .
 - d) desto geringer die Kraft F_A .
 - e) weiß ich nicht

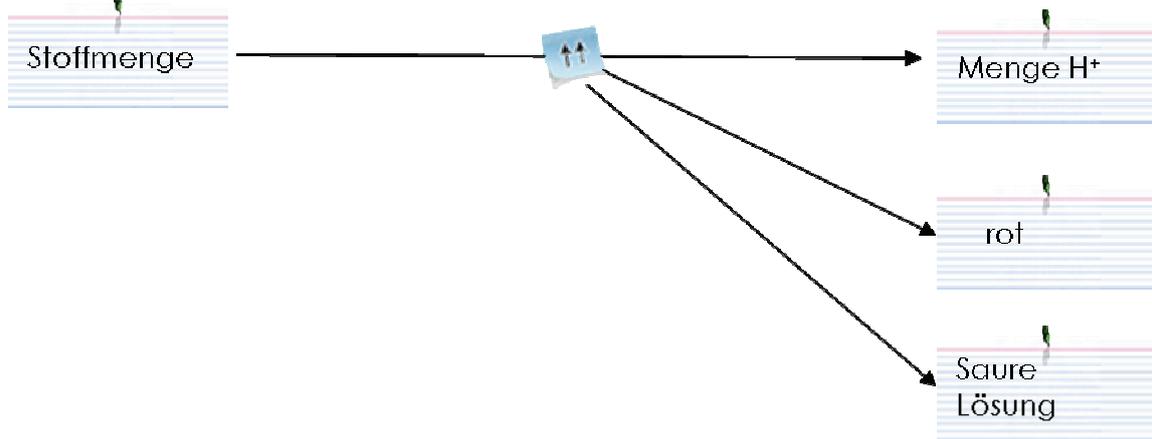
- 5) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser sinkt?
 - a) Die Kraft F_A des Körpers ist größer als seine Kraft F_G .
 - b) Die Kraft F_A des Körpers ist gleich seiner Kraft F_G .
 - c) Die Dichte des Körpers ist größer als die Dichte der Flüssigkeit.
 - d) Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit.
 - e) 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 die Kraft F_u
 - seine Kraft F_G größer als die Kraft F_u .
 - weiß ich nicht
- 8) Würfel A hat eine Masse von 100g und ein Volumen von 200cm³. Würfel B hat eine Masse von 500g und ein Volumen von 200cm³. 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_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.
- 9) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm³ und eine Masse von 100g. Würfel B hat ein Volumen von 100cm³ und eine Masse von 100g. 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.
- 10) Ein Würfel hat ein Volumen von 1000cm³ und eine Dichte von 1g/cm³. Eine Kugel hat ein Volumen von 1000cm³ und eine Dichte von 1g/cm³. Beide Körper befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden 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.

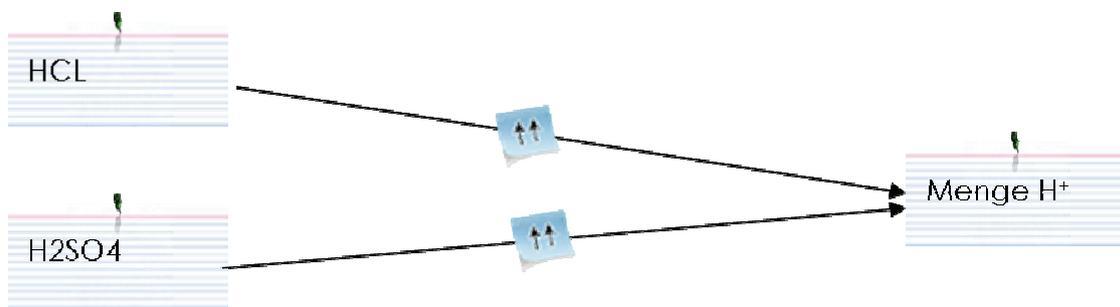
- 11) Ein Würfel hat eine Dichte von $\rho_K = 3\text{g/cm}^3$. Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 1\text{g/cm}^3$ hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- Die Kraft F_G des Würfels ist größer als seine Kraft F_A .
 - Die Kraft F_G des Würfels ist genauso groß 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.
- 12) Würfel A und B haben ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/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 stimmt?
- 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.
- 13) 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.
- 14) Wann sinkt ein Körper in einer Flüssigkeit mit der Dichte 3g/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.

G Relationen in der Chemie-Lernumgebung

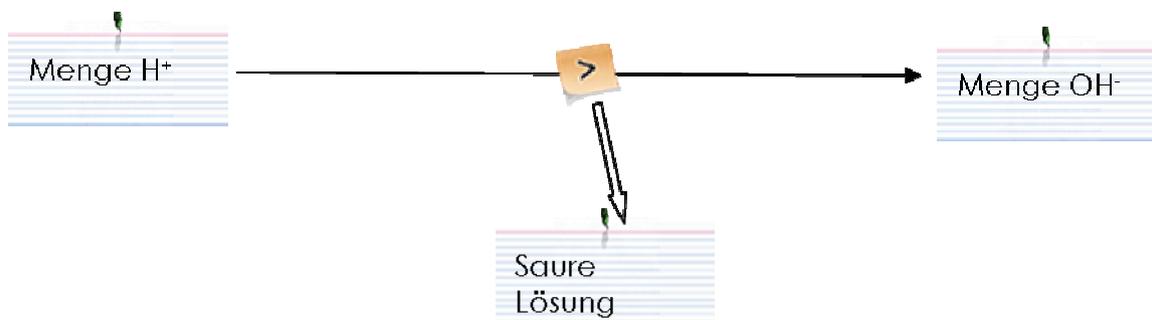
Relationengruppe 1



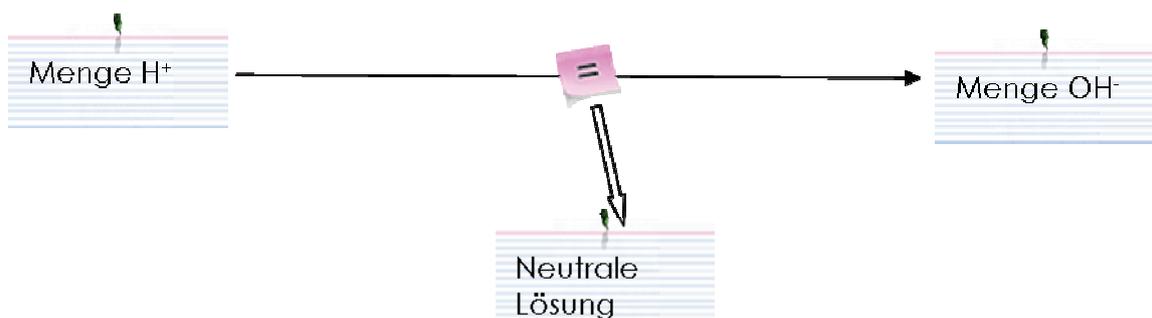
Relationengruppe 2



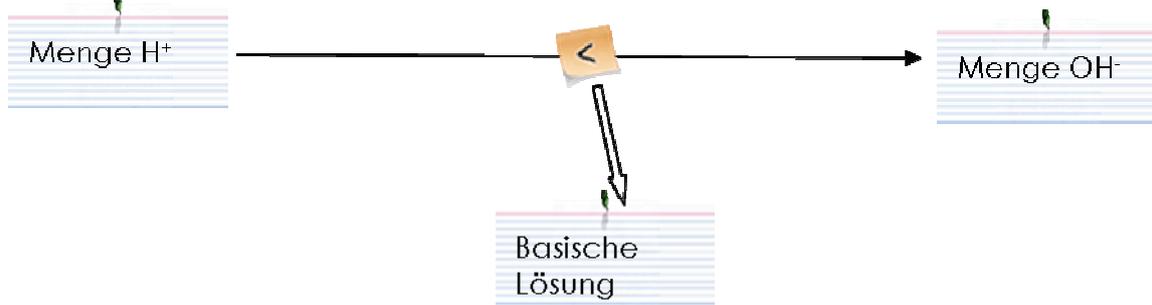
Relation 3



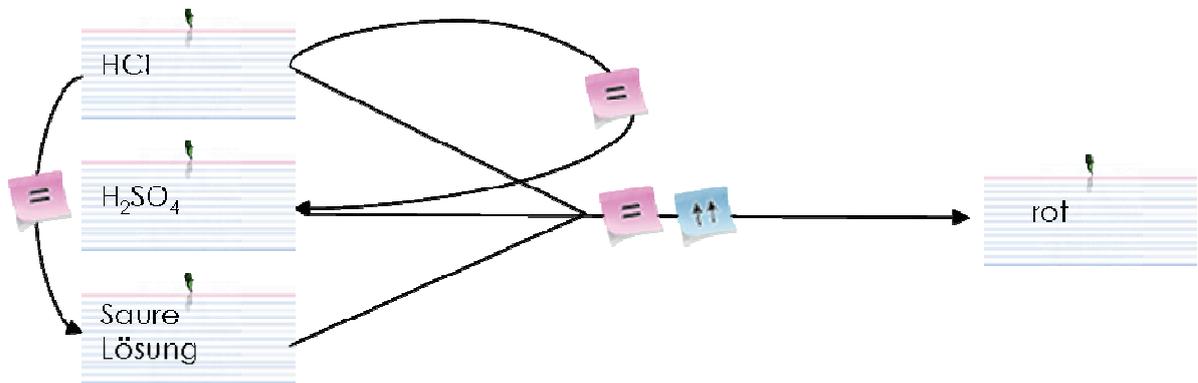
Relation 4



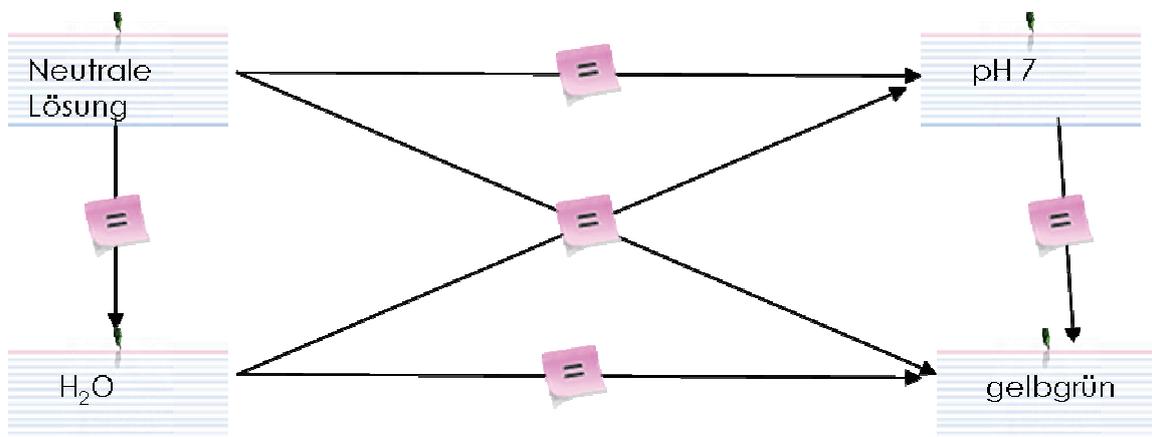
Relation 5



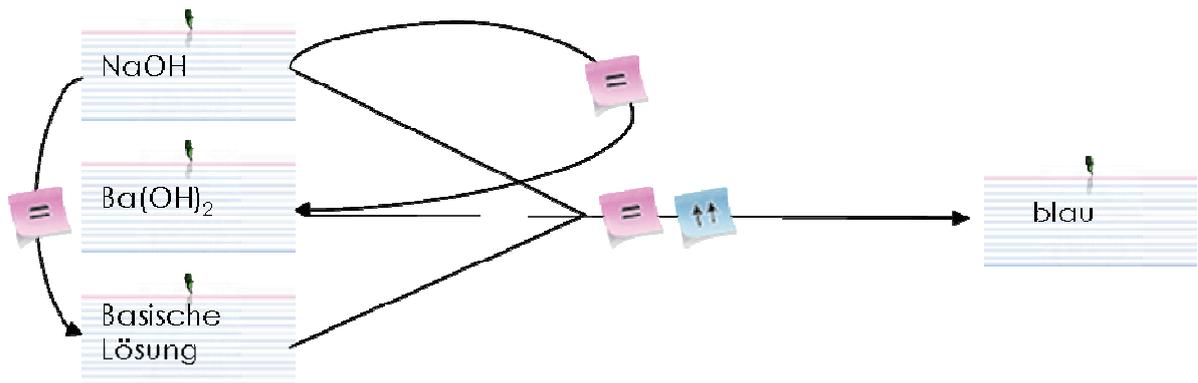
Relationengruppe 6



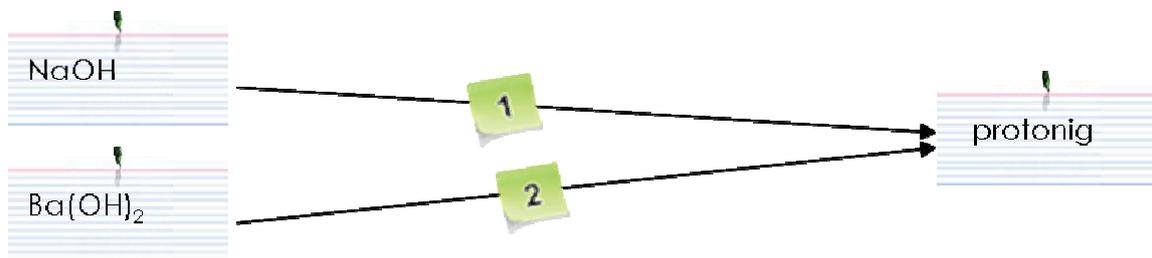
Relationengruppe 7



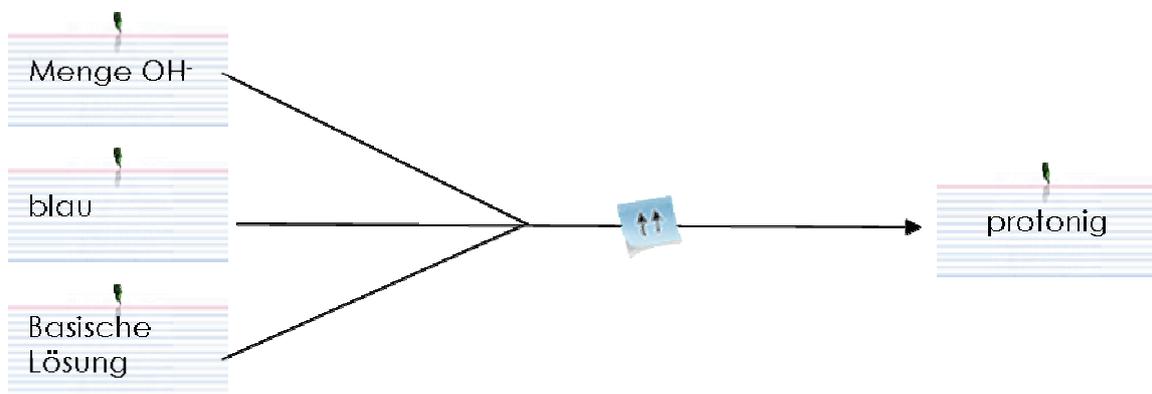
Relationengruppe 8



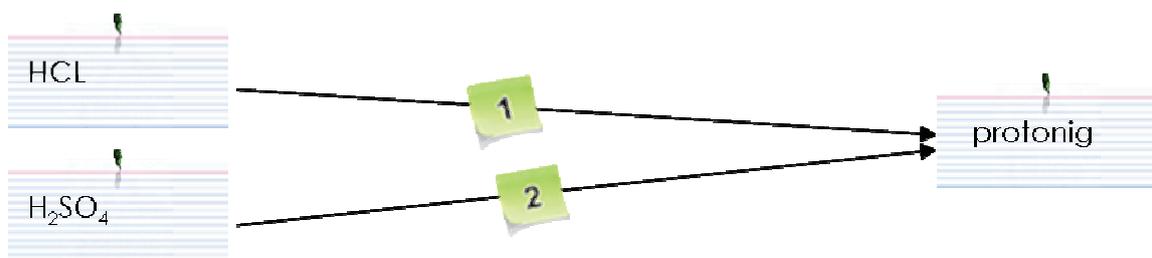
Relationengruppe 9



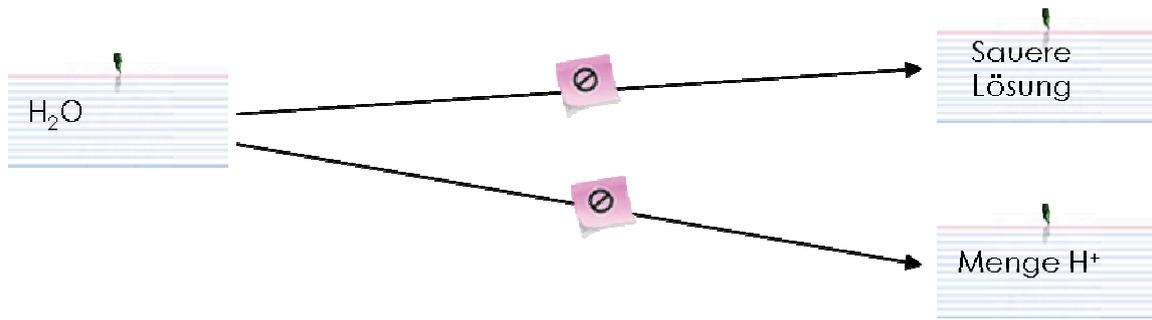
Relationengruppe 10



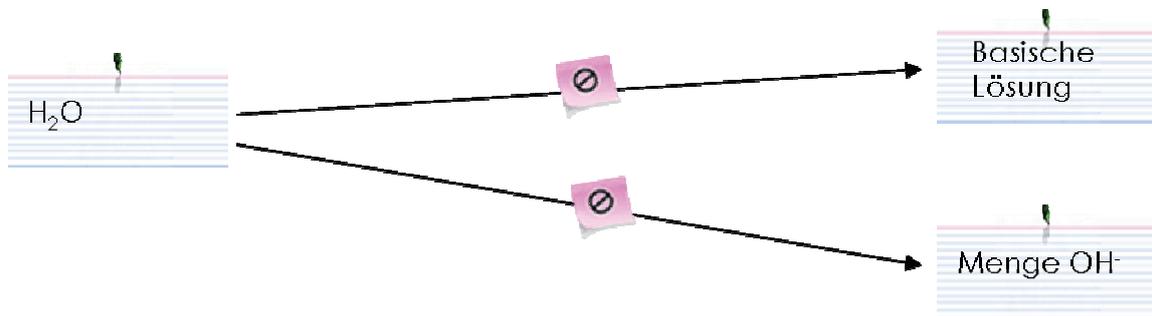
Relationengruppe 11



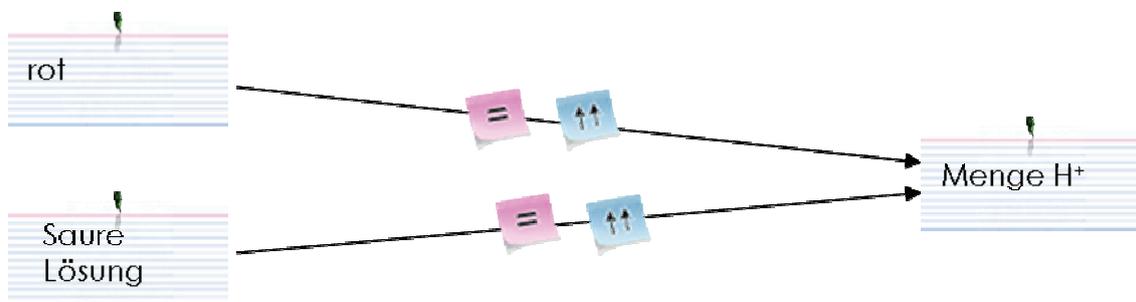
Relationengruppe 12



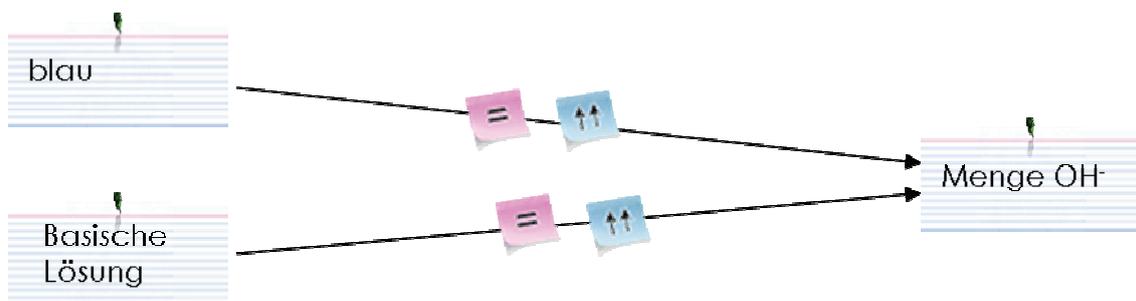
Relationengruppe 13



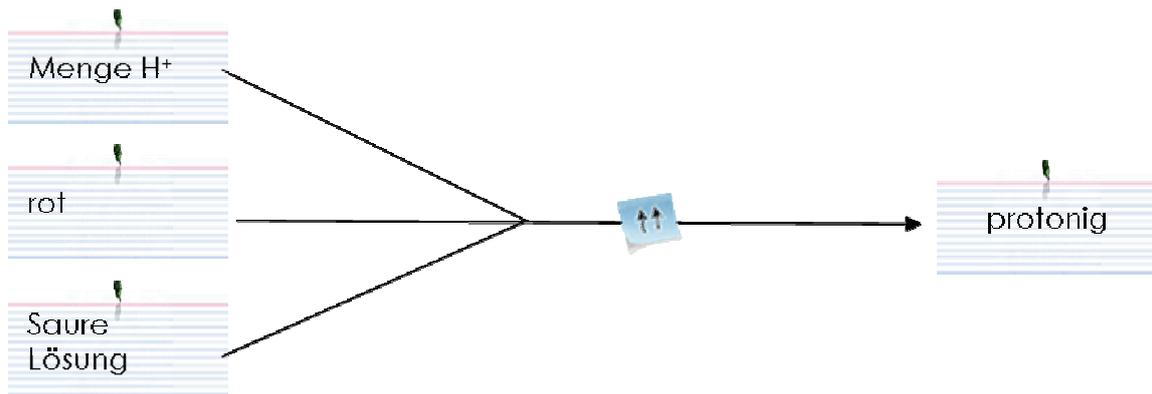
Relationengruppe 14



Relationengruppe 15



Relationengruppe 16



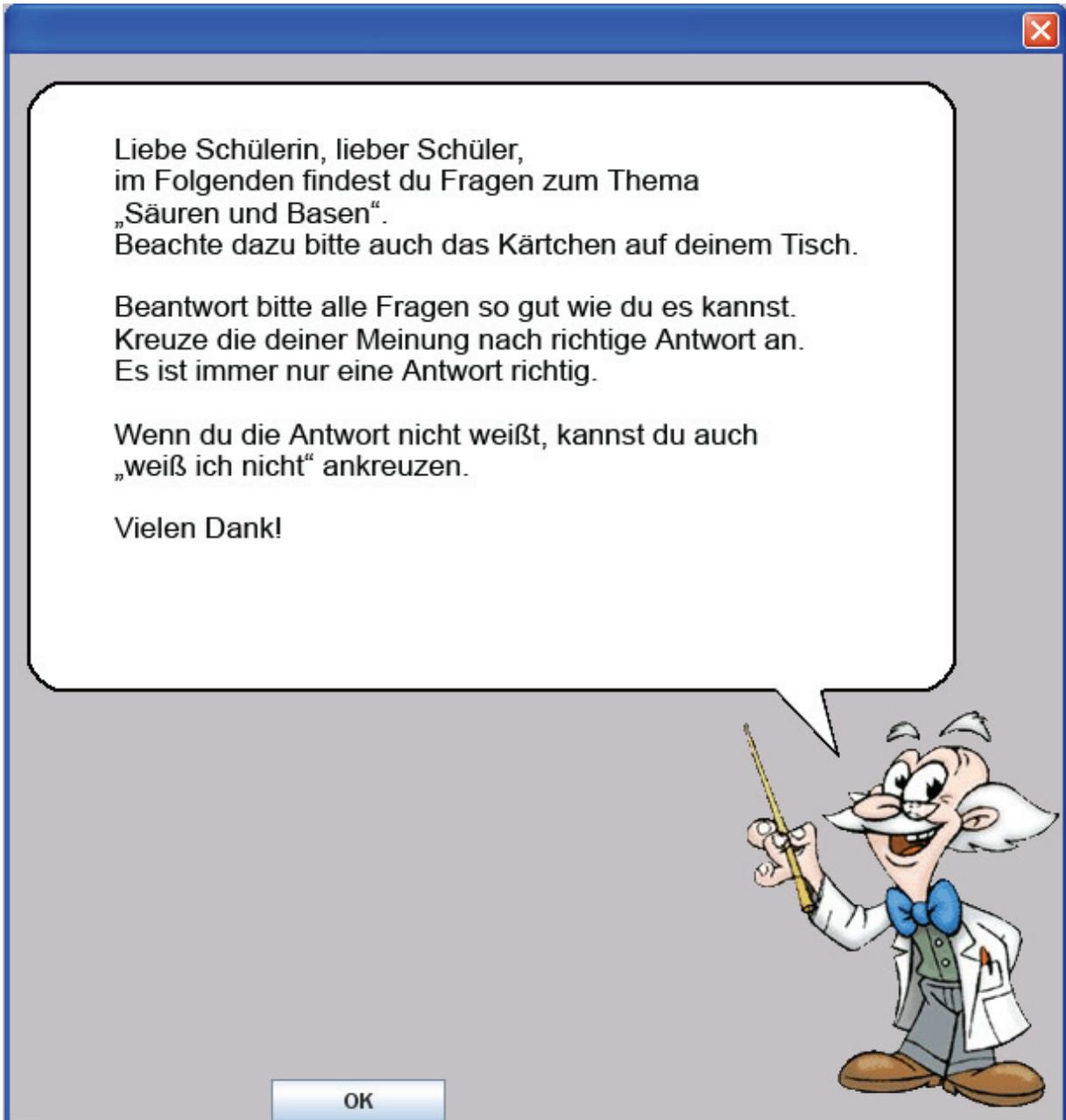
H Prä-Test deklarativ-konzeptuelles Wissen Chemie

H.1 Screenshot Instruktion

H.2 Screenshot eines Beispielimens

H.3 Auflistung aller Items

H.1 Screenshot Instruktion



H.2 Screenshot eines Beispielitens

Lab Plugins

PH-Wert

Lösung A hat ein Volumen von $V = 1 \text{ L}$ und Lösung B hat ein Volumen von $V = 2 \text{ L}$. Beide haben dieselbe Konzentration. Welche der folgenden Aussagen stimmt?

- Das Volumen (V) der Lösung A ist kleiner als das Volumen (V) der Lösung B.
- Das Volumen (V) der Lösung A ist größer als das Volumen (V) der Lösung B.
- Die Konzentration (c) der Lösung A ist kleiner als die Konzentration (c) der Lösung B.
- Die Konzentration (c) der Lösung A ist größer als die Konzentration (c) der Lösung B.
- Weiß ich nicht.

Vorwärts Fertig

H.3 Auflistung aller Items

- 1) Lösung A hat ein Volumen von $V = 1$ L und Lösung B hat ein Volumen von $V = 2$ L. Beide haben dieselbe Konzentration. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
 - a) Das Volumen (V) der Lösung A ist kleiner als das Volumen (V) der Lösung B.
 - b) Das Volumen (V) der Lösung A ist größer als das Volumen (V) der Lösung B.
 - c) Die Konzentration (c) der Lösung A ist kleiner als die Konzentration (c) der Lösung B.
 - d) Die Konzentration (c) der Lösung A ist größer als die Konzentration (c) der Lösung B.
 - e) Weiß ich nicht.

- 2) Was passiert, wenn man zu einer sauren Lösung Wasser dazugibt?
 - a) Die Lösung wird neutral.
 - b) Die Lösung wird basisch.
 - c) Die Menge der H^+ -Ionen wird größer.
 - d) Die Menge der H^+ -Ionen bleibt gleich.
 - e) Weiß ich nicht.

- 3) Womit kann man eine einhydroxidige basische Lösung neutralisieren? Mit...
 - a) Wasser mit dem gleichen Volumen (V).
 - b) Wasser mit dem doppelten Volumen (V).
 - c) einer einprotoniger saurer Lösung mit der gleichen Stoffmenge (n).
 - d) einer zweiprotoniger saurer Lösung mit der gleichen Stoffmenge (n).
 - e) Weiß ich nicht.

- 4) Womit kann man 2 Liter einprotonige saure Lösung neutralisieren? Mit...
 - a) 4 Litern Wasser.
 - b) 2 Litern Wasser.
 - c) 4 Litern einhydroxidige basische Lösung mit der halben Konzentration (c) der sauren Lösung.
 - d) 2 Litern zweihydroxidige basische Lösung mit der doppelten Konzentration (c) der sauren Lösung.
 - e) Weiß ich nicht.

- 5) Kann man 2 Liter einer zweiprotonigen sauren Lösung und 2 Liter einer einhydroxidigen basischen Lösung so mischen, dass dabei eine neutrale Lösung entsteht?
 - a) Ja, wenn die zweiprotonige saure Lösung dieselbe Stoffmenge (n) wie die einhydroxidige basische Lösung hat.
 - b) Ja, wenn die zweiprotonige saure Lösung die doppelte Stoffmenge (n) der einhydroxidigen basischen Lösung hat.
 - c) Ja, wenn die einhydroxidige basische Lösung dieselbe Konzentration (c) wie die zweiprotonige saure Lösung hat.
 - d) Ja, wenn die einhydroxidige basische Lösung die doppelte Konzentration (c) der zweiprotonigen sauren Lösung hat.
 - e) Weiß ich nicht.

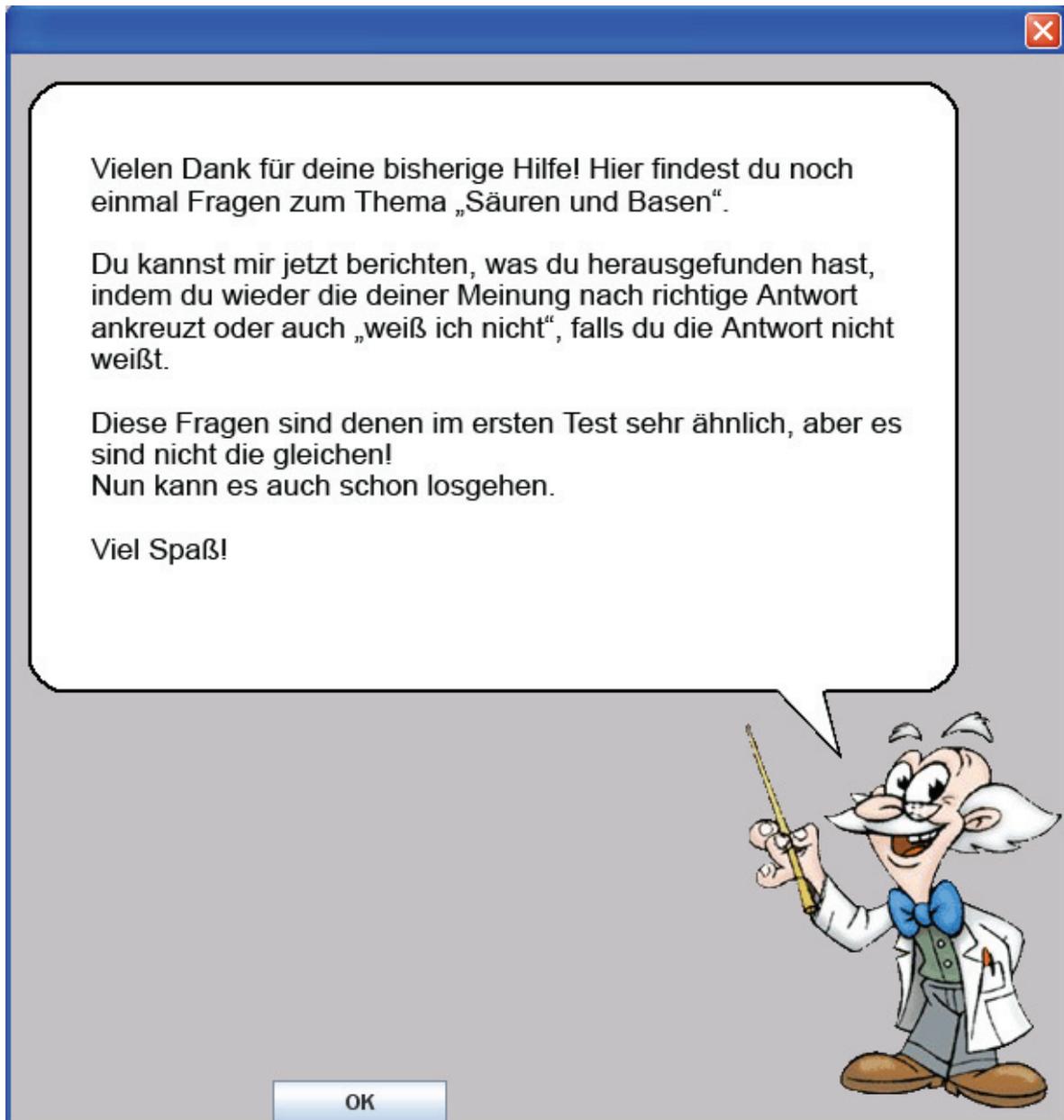
- 6) Worin unterscheiden sich ein Liter $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ und ein Liter $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ mit derselben Konzentration (c)?
- Die Stoffmenge (n) ist von $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ größer als von $\text{HCl}_{(\text{aq})}$.
 - Die Stoffmenge (n) ist von $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ kleiner als von $\text{HCl}_{(\text{aq})}$.
 - Die Menge der H^+ -Ionen ist in $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ größer als in $\text{HCl}_{(\text{aq})}$.
 - Die Menge der H^+ -Ionen ist in $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ kleiner als in $\text{HCl}_{(\text{aq})}$.
 - Weiß ich nicht.
- 7) Worin unterscheiden sich 1 Liter einer einprotonigen sauren Lösung mit der Konzentration $c = 0,1 \text{ mol/L}$ und 1 Liter einer zweiprotonigen sauren Lösung mit der Konzentration $c = 0,1 \text{ mol/L}$?
- Die Stoffmenge (n) ist von der zweiprotonigen sauren Lösung größer als von der einprotonigen sauren Lösung.
 - Die Stoffmenge (n) ist von der zweiprotonigen sauren Lösung kleiner als von der einprotonigen sauren Lösung.
 - Die Menge der H^+ -Ionen ist in der zweiprotonigen sauren Lösung größer als in der einprotonigen sauren Lösung.
 - Die Menge der H^+ -Ionen ist in der zweiprotonigen sauren Lösung kleiner als in der einprotonigen sauren Lösung.
 - Weiß ich nicht.
- 8) Lösung A ist eine einprotonige saure Lösung und hat eine Konzentration von $c = 0,1 \text{ mol/L}$ und ein Volumen von $V = 2 \text{ L}$. Lösung B ist eine einprotonige saure Lösung und hat eine Konzentration $c = 0,4 \text{ mol/L}$ und ein Volumen von $V = 2 \text{ L}$. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- Der pH-Wert der Lösung A ist kleiner als der pH-Wert der Lösung B.
 - Der pH-Wert der Lösung A ist genauso groß wie der pH-Wert der Lösung B.
 - Die Stoffmenge (n) der Lösung A ist kleiner als die Stoffmenge (n) der Lösung B.
 - Die Stoffmenge (n) der Lösung A ist genauso groß wie die Stoffmenge (n) der Lösung B.
 - Weiß ich nicht.
- 9) Bei welcher Mischung ist der pH-Wert = 7
- Mischung einer einprotonigen sauren Lösung und dem doppelten Volumen (V) an Wasser.
 - Mischung einer einprotonigen sauren Lösung und demselben Volumen (V) an Wasser.
 - Mischung einer zweiprotonigen sauren Lösung und einer einhydroxidigen basischen Lösung, die dieselbe Stoffmenge (n) haben.
 - Mischung einer zweiprotonigen sauren Lösung und einer zweihydroxidigen basischen Lösung, die dieselbe Stoffmenge (n) haben.
 - Weiß ich nicht.

- 10) Bei welcher Mischung ist der pH-Wert am größten, wenn alle Lösungen dasselbe Volumen (V) und dieselbe Stoffmenge (n) haben?
- Mischung aus zwei zweihydroxidigen basischen Lösungen.
 - Mischung aus zwei einprotonigen sauren Lösungen.
 - Mischung aus einer zweihydroxidigen basischen Lösung und einer zweiprotonigen sauren Lösung.
 - Mischung aus einer einhydroxidigen basischen Lösung und einer einprotonigen sauren Lösung.
 - Weiß ich nicht.
- 11) Was passiert, wenn man eine zweiprotonige saure Lösung und eine einhydroxidige basische Lösung mischt, und die basische Lösung die dreifache Stoffmenge (n) hat?
- Die Lösung wird neutral.
 - Die Lösung wird sauer.
 - Die Indikatorfarbe wird rot.
 - Die Indikatorfarbe wird blau.
 - Weiß ich nicht.
- 12) Was passiert, wenn man eine einhydroxidige basische Lösung und eine einprotonige saure Lösung mischt, die beide dieselbe Konzentration (c) haben, und die basische Lösung doppelt soviel Volumen (V) hat?
- Die Lösung wird neutral.
 - Die Lösung wird basisch.
 - Die Indikatorfarbe wird rot.
 - Die Indikatorfarbe wird gelb-grün.
 - Weiß ich nicht.
- 13) Was passiert, wenn man eine zweiprotonige saure Lösung und eine einhydroxidige basische Lösung mischt, die beide dasselbe Volumen (V) und dieselbe Konzentration (c) haben?
- Die Lösung wird sauer.
 - Die Lösung wird basisch.
 - Die Indikatorfarbe wird blau.
 - Die Indikatorfarbe wird gelb-grün.
 - Weiß ich nicht.
- 14) Bei welcher Mischung ist die Indikatorfarbe blau?
- Mischung einer sauren Lösung und demselben Volumen (V) an Wasser.
 - Mischung einer basischen Lösung und demselben Volumen (V) an Wasser.
 - Mischung einer einhydroxidigen basischen Lösung und einer einprotonigen sauren Lösung, die dieselbe Stoffmenge (n) haben.
 - Mischung einer einhydroxidigen basischen Lösung und einer zweiprotonigen sauren Lösung, die dieselbe Stoffmenge (n) haben.
 - Weiß ich nicht.

- 15) Eine Lösung wird so gemischt, dass genauso viele H^+ -Ionen wie OH^- -Ionen hinzugefügt wurden. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Lösung ist sauer.
 - b) Die Lösung ist basisch.
 - c) Die Indikatorfarbe ist blau.
 - d) Die Indikatorfarbe ist gelb-grün.
 - e) Weiß ich nicht.

I Post-Test deklarativ-konzeptuelles Wissen Chemie

I.1 Screenshot Instruktion



I.2 Screenshot Beispielitems

Lab Plugins

PH-Wert

Was passiert, wenn man zu einer basischen Lösung Wasser dazugibt?

Die Lösung wird neutral.

Die Lösung wird sauer.

Die Menge der OH⁻-Ionen wird größer .

Die Menge der OH⁻-Ionen bleibt gleich.

Weiß ich nicht.

Vorwärts Fertig

I.3 Auflistung aller Items

- 1) Was passiert, wenn man zu einer basischen Lösung Wasser dazugibt?
 - a) Die Lösung wird neutral.
 - b) Die Lösung wird sauer.
 - c) Die Menge der OH⁻-Ionen wird größer.
 - d) Die Menge der OH⁻-Ionen bleibt gleich.
 - e) Weiß ich nicht.

- 2) Was passiert, wenn man die Stoffmenge (n) einer sauren Lösung erhöht, aber ihr Volumen (V) gleich lässt?
 - a) Der pH-Wert wird größer.
 - b) Der pH-Wert bleibt gleich.
 - c) Die Menge der H⁺-Ionen wird größer.
 - d) Die Menge der H⁺-Ionen bleibt gleich.
 - e) Weiß ich nicht.

- 3) Welche der folgenden Aussagen bezogen auf Wasser stimmt?
 - a) Wasser erhöht OH⁻-Ionen.
 - b) Wasser verringert die Konzentration (c) einer Lösung.
 - c) Wasser hat einen pH-Wert von 10.
 - d) Wasser ist zweiprotonig.
 - e) Weiß ich nicht.

- 4) Womit kann man 2 Liter Wasser einhydroxidige basische Lösung neutralisieren? Mit...
 - a) 4 Litern Wasser.
 - b) 2 Litern Wasser.
 - c) 4 Litern einprotonige saure Lösung mit der halben Konzentration (c) der basischen Lösung.
 - d) 2 Litern zweiprotonige saure Lösung mit der doppelten Konzentration (c) der basischen Lösung.
 - e) Weiß ich nicht.

- 5) Kann man eine einprotonige saure Lösung und eine zweihydroxidige basische Lösung so mischen, dass dabei eine neutrale Lösung entsteht?
 - a) Nein, die gemischte Lösung ist immer sauer.
 - b) Nein, die gemischte Lösung ist immer basisch.
 - c) Ja, wenn die saure Lösung das doppelte Volumen (V) der basischen Lösung hat.
 - d) Ja, wenn die saure Lösung die doppelte Stoffmenge (n) der basischen Lösung hat.
 - e) Weiß ich nicht.

- 6) Kann man 2 Liter einer zweiprotonigen sauren Lösung und 2 Liter einer einhydroxidigen basischen Lösung so mischen, dass dabei eine neutrale Lösung entsteht?
 - a) Ja, wenn die zweiprotonige saure Lösung dieselbe Stoffmenge (n) wie die einhydroxidige basische Lösung hat.
 - b) Ja, wenn die zweiprotonige saure Lösung die doppelte Stoffmenge (n) der einhydroxidigen basischen Lösung hat.

- c) Ja, wenn die einhydroxidige basische Lösung dieselbe Konzentration (c) wie die zweiprotonige saure Lösung hat.
- d) Ja, wenn die einhydroxidige basische Lösung die doppelte Konzentration (c) der zweiprotonigen sauren Lösung hat.
- e) Weiß ich nicht.
- 7) Worin unterscheiden sich $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ und $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$, wenn beide Lösungen dasselbe Volumen (V) und dieselbe Konzentration (c) haben?
- a) $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ hat eine kleinere Stoffmenge (n) als $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$.
- b) $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ hat einen kleineren pH-Wert als $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$.
- c) $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ ist eine saure Lösung und $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ist eine basische Lösung.
- d) $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ ist eine zweihydroxidige Lösung und $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ist eine einhydroxidige Lösung.
- e) Weiß ich nicht.
- 8) Worin unterscheiden sich 1 Liter einer einhydroxidigen basischen Lösung mit der Konzentration $c = 0,2 \text{ mol/L}$ und 1 Liter einer zweihydroxidigen basischen Lösung mit der Konzentration $c = 0,2 \text{ mol/L}$?
- a) Die Stoffmenge (n) ist von der zweihydroxidigen basischen Lösung größer als von der einhydroxidigen basischen Lösung.
- b) Die Stoffmenge (n) ist von der zweihydroxidigen basischen Lösung kleiner als von der einhydroxidigen basischen Lösung.
- c) Die Menge der OH^- -Ionen ist in der zweihydroxidigen basischen Lösung größer als in der einhydroxidigen basischen Lösung.
- d) Die Menge der OH^- -Ionen ist in der zweihydroxidigen basischen Lösung kleiner als in der einhydroxidigen basischen Lösung.
- e) Weiß ich nicht.
- 9) Bei welcher Mischung ist der pH-Wert = 7?
- a) Mischung einer einprotonigen sauren Lösung und dem doppelten Volumen (V) an Wasser.
- b) Mischung einer einprotonigen sauren Lösung und demselben Volumen (V) an Wasser.
- c) Mischung einer zweiprotonigen sauren Lösung und einer einhydroxidigen basischen Lösung, die dieselbe Stoffmenge (n) haben.
- d) Mischung einer zweiprotonigen sauren Lösung und einer zweihydroxidigen basischen Lösung, die dieselbe Stoffmenge (n) haben.
- e) Weiß ich nicht.
- 10) Bei welcher Mischung ist der pH-Wert kleiner als 7, wenn alle Lösungen dasselbe Volumen (V) und dieselbe Konzentration (c) haben?
- a) Mischung einer einhydroxidigen basischen Lösung und einer einprotonigen sauren Lösung.
- b) Mischung einer einhydroxidigen basischen Lösung und einer zweiprotonigen sauren Lösung.
- c) Mischung einer zweihydroxidigen basischen Lösung und einer einprotonigen sauren Lösung.
- d) Mischung einer zweihydroxidigen basischen Lösung und einer zweiprotonigen sauren Lösung.
- e) Weiß ich nicht.

- 11) Was passiert, wenn man eine zweihydroxidige basische Lösung und eine einprotonige saure Lösung mischt, und die saure Lösung die dreifache Stoffmenge (n) hat?
- Die Lösung wird neutral.
 - Die Lösung wird basisch.
 - Die Indikatorfarbe wird rot.
 - Die Indikatorfarbe wird blau.
 - Weiß ich nicht.
- 12) Was passiert, wenn man eine saure Lösung und eine basische Lösung mischt, die beide dieselbe Menge an Ionen haben?
- Die Lösung wird neutral.
 - Die Lösung wird basisch.
 - Die Indikatorfarbe wird rot.
 - Die Indikatorfarbe wird blau.
 - Weiß ich nicht.
- 13) Bei welcher Mischung ist die Indikatorfarbe gelb-grün, wenn beide Lösungen dieselbe Stoffmenge (n) haben?
- Mischung einer einprotonigen sauren Lösung und einer einhydroxidigen basischen Lösung.
 - Mischung einer einprotonigen sauren Lösung und einer zweihydroxidigen basischen Lösung.
 - Mischung einer einhydroxidigen basischen Lösung und einer zweiprotonigen sauren Lösung.
 - Mischung einer einhydroxidigen basischen Lösung und einer zweihydroxidigen basischen Lösung.
 - Weiß ich nicht.
- 14) Eine Lösung wird so gemischt, dass weniger H^+ -Ionen als OH^- -Ionen hinzugefügt wurden. Welcher der Aussagen stimmt?
- Die Lösung ist sauer.
 - Die Lösung ist basisch.
 - Die Indikatorfarbe ist rot.
 - Die Indikatorfarbe ist gelb-grün.
 - Weiß ich nicht.