

**Steigerung selbstregulierten Lernens
durch computerbasiertes Feedback
beim Erwerb
von Experimentierkompetenz
im Fach Biologie**



Dissertation

zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doktorgrades

„Doctor rerum naturalium“

der Georg-August-Universität Göttingen

im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs „Passungsverhältnisse schulischen Lernens“

der Georg-August University School of Science (GAUSS)

vorgelegt von

Dipl.-Psych. Silke D. Lange

aus Kassel

Göttingen 2012

Betreuungsausschuss:

Prof. Dr. Marcus Hasselhorn, Bildung und Entwicklung, Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF), Frankfurt

Prof. Dr. Susanne Bögeholz, Didaktik der Biologie, Georg-August-Universität Göttingen

Mitglieder der Prüfungskommission:

Referent: Prof. Dr. Marcus Hasselhorn, Bildung und Entwicklung, Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF), Frankfurt

Koreferentin: Prof. Dr. Susanne Bögeholz, Didaktik der Biologie, Georg-August-Universität Göttingen

Weitere Mitglieder der Prüfungskommission:

PD Dr. Micha Strack, Wirtschaftspsychologie, Georg-August-Universität Göttingen

Prof. Dr. Doris Lemmermöhle, Pädagogisches Seminar, Georg-August-Universität Göttingen

Prof. Dr. Stefan Halverscheid, Fachdidaktik Mathematik, Georg-August-Universität Göttingen

Prof. Dr. Susanne Schneider, Fachdidaktik Physik, Georg-August-Universität Göttingen

Tag der mündlichen Prüfung:

31.10.2012

Inhalt

I. Abbildungsverzeichnis.....	7
II. Danksagung	11
III. Zusammenfassung	14
1. Einleitung.....	16
2. Experimentierkompetenz.....	18
2.1 Kompetenz	18
2.2 Bildungsstandards im Fach Biologie	19
2.3 Experimentieren als Erkenntnisgewinnungsprozess.....	21
2.3.1 Suche im Hypothesenraum	25
2.3.2 Suche im Experimentierraum	26
2.3.3 Datenanalyse	27
2.4 Fehler beim Experimentieren	28
2.4.1 Ingenieursmodell versus naturwissenschaftliches Modell.....	29
2.4.2 Fehlertypen nach Hammann	30
2.4.3 Fehlerquelle: Variablenkontrollstrategie	30
2.4.4 Strategienutzung	31
3. Selbstreguliertes Lernen.....	34
3.1 Überblick über Modelle des selbstregulierten Lernens	36
3.2 Das Prozessmodell von Zimmerman	38
3.2.1 Selbstwirksamkeitserwartung	40
3.2.2 Monitoring	40
3.3 Herausforderungen des selbstregulierten Lernens beim Experimentieren.....	42
3.4 Feedback und SRL.....	44
4. Lernprozesse und Persönlichkeit	46
4.1 SRL und Persönlichkeit	47
4.2 Big Five	48
4.2.1 Beschreibung der einzelnen Dimensionen der „Big-Five“	49
4.2.2 Kompetenz und Persönlichkeit	50
5. Feedback als Instruktionsmethode zur Unterstützung von Kompetenzerwerb	52
5.1 Feedback als Methode zum Aufbau von negativem Wissen	52
5.1.1 Feedback	52
5.1.2 Negatives Wissen.....	53
5.1.3 Der Umgang mit Fehlern: Fehlerkultur	54
5.1.4 Negatives Wissen und der Aufbau von Schutzwissen.....	55

5.2	Feedback als lerntheoretisches Konstrukt	58
5.2.1	Unterscheidung verschiedener Feedbackarten.....	61
5.2.2	Die Wirksamkeit von Feedback.....	64
5.2.3	Elaborationsgrade von Feedback	66
5.2.4	Feedback als kognitiver Prozess	68
5.2.5	Prompting.....	70
5.2.6	Lernen anhand von Lösungsbeispielen	73
5.3	Cognitive Load-Theorie und Kategorien der kognitiven Belastung.....	74
5.4	Lernen mit Lösungsbeispielen und Cognitive Load-Theorie	76
5.4.1	Struktur und Gestaltung des Lösungsbeispiels	77
5.4.2	Fazit.....	77
6.	Fragestellung und methodischer Rahmen.....	79
6.1	Ableitung der Hypothesen	81
6.2	Design 83	
6.2.1	Lokalisation des Fehlers („Wo“-Feedback-Variante).....	85
6.2.2	Kognitive Aktivierung („Warum“-Feedback-Variante)	87
6.2.3	Kombinierte Bedingung.....	89
6.2.4	Kontrollbedingung	89
6.2.5	Präsentation der richtigen Lösung	89
6.2.6	Auswertungsplanung.....	91
6.3	Material und Instrumente.....	92
6.3.1	Strategiewissenstest zum Experimentieren (EEST-2)	92
6.3.2	Entwicklung des Strategiewissenstests	92
6.3.3	EEST-2: Paper-and Pencil-Version und Lernprogramm	93
6.3.4	Auswertung des EEST-2.....	94
6.3.5	Beschreibung des internetbasierten Lernprogramms.....	95
6.3.6	Ablauf des Lernprogramms	96
6.3.7	Bearbeitung der Biologie-Aufgaben und Feedback.....	97
6.3.8	Aufgabenbeispiel	98
6.4	Technische Voraussetzungen.....	106
6.4.1	Bedienung des Lernprogramms	106
6.4.2	Speicherung der Daten	109
6.4.3	Auswertung der Prozessdaten (Logfiles)	109
6.4.4	Zuordnung der Versuchsgruppen.....	110
7.	Entwicklung des Lernprogramms und Vorstudien.....	112
7.1	Technische Vorpilotierung des Lernprogramms	112
7.2	Vorstudien.....	113
7.2.1	Aufbau der Testversion des Programms	113

7.2.2	Erste Stufe der Vorstudie	114
7.2.3	Zweite Stufe: Vorstudie an Studierenden	114
7.2.4	Dritte Stufe: Vorstudie an einer Schülerstichprobe	125
8.	Hauptstudie	126
8.1	Stichprobe	127
8.2	Auswertung des KFT Subtest N2 (Figurale Analogien).....	130
8.3	Durchführung.....	132
8.4	Ergebnisse.....	136
8.4.1	Deskriptive Statistik.....	136
8.4.2	Reliabilitäten	138
8.4.3	Eingesetzte Instrumente	139
8.4.4	Lernzuwachs auf Aufgabenebene (prozessbezogene methodische Kompetenzen).....	140
8.4.5	Strategische Ebene	145
8.5	Potentielle Moderatoren und Kovariaten.....	150
8.5.1	Aufgabenebene (Kovariaten und Moderatoren)	151
8.5.2	Strategische Ebene (Kovariaten und Moderatoren).....	152
8.6	Zusammenfassendes Fazit	153
9.	Schlussdiskussion.....	155
9.1	Empirische Ebene	155
9.1.1	Adäquate Bearbeitung des Programms sicherstellen.....	158
9.1.2	Bessere Erhebung des Vorwissens.....	161
9.1.3	Bessere Adaptivität des Programms	162
9.1.4	Cognitive Load reduzieren und Neugierde wecken.....	164
9.1.5	Bessere Einbettung in den Biologie-Unterricht	165
9.1.6	Dauer der Intervention: Bearbeitungszeit	166
9.1.7	Follow-up-Messung	167
9.1.8	Weitere Kontrollbedingungen und zusätzliche Feedbackarten? 168	
9.2	Theoretische Ebene.....	168
9.2.1	Möglichkeiten zur Unterstützung von Lernprozessen	170
9.2.2	Vorwissen	172
9.2.3	Umgang mit Fehlern	173
9.2.4	Konstruktivismus	181
9.2.5	Outputorientierung.....	184
9.3	Ausblick.....	186
9.4	Fazit	187
10.	Literaturverzeichnis	189

A Anhang	214
10.1A.0 Tabellen	214
Tabelle zu den Regressionsschritten 3 und 4 (strategische Ebene)	215
10.2A.1 Ideen bei der Entwicklung von Distraktoren	217
10.2.1 Aufgabentyp: Hypothesenbildung (zweifaktoriell)	217
10.2.2 Aufgabentyp Datenanalyse in zweifaktoriellen Experimenten..	217
10.2.3 Aufgabentyp Planung zweifaktorieller Experimente.....	218
10.3A.2 Fragebögen.....	218
10.3.1 Erfahrungen mit dem Biologie-Unterricht.....	218
10.3.2 Selbstwirksamkeitserwartung	221
10.3.3 EEST-2.....	222
10.3.4 Big Five Inventory-10 (BFI-10).....	228
10.3.5 Skalen Selbstregulationsfragebogen	229
10.3.6 Selbstregulations-Items im Lern-Programm.....	236
10.4Definitionen der Begriffe im Programm.....	240
11. Lebenslauf	244

I. **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Anforderungsbereiche für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung für das Fach Biologie (KMK 2005a, S. 17).....	20
Abbildung 2: Gegenüberstellung des Ingenieursmodelles und des naturwissenschaftlichen Modells des Experimentierens (Ganser, Hammann o.J., Tabelle entnommen aus Janoschek, 2009)	29
Abbildung 3: Wechselseitiger Einfluss der Teilbereiche der Selbstregulation nach Zimmerman (1989a), in der deutschen Übersetzung von Hasselhorn & Labuhn (2008). Zimmerman (1989a) verwendet statt „Feedback“ die Bezeichnung „enactive Feedback“, was die Verbindlichkeit dieses Feedbackprozesses noch einmal betont (Anm. d. Verf.).	38
Abbildung 4: Psychologischer Erklärungsmodell (Backhaus, 2004).....	48
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Feedback-Interventions-Theorie (in Anlehnung an Kluger & DeNisi, 1996, entnommen aus Rost et al., 2006)	60
Abbildung 6: Taxonomie adaptiven Feedbacks (nach Vasilyeva et al., 2007; S.343)....	63
Abbildung 7: Feedbackmodell zur Unterstützung selbstregulierter Lernprozesse (Hattie & Timperley, 2007).....	69
Abbildung 8: Diagnose, Korrektur, Evaluation (entnommen aus: Dinkelaker, 2007.....	85
Abbildung 9: Beispiel für eine Motivationsseite vor der Seite mit der richtigen Antwort.	90
Abbildung 10: Beispiel für ein Lösungsbeispiel	91
Abbildung 11: Beispiel Item des EEST-2 im Forced-Choice-Format (Marschner, 2011), Paper-and-Pencil Version.....	93
Abbildung 12: Beispiel für die o.g. Forced-Choice-Items in der computerbasierten Version des Lernprogramms.....	94

Abbildung 13: Ablauf des Lernprogramms	96
Abbildung 14: Die erste Biologie-Aufgabe des Trainings (MZP 1): mit Feedback.....	98
Abbildung 15: Beispiel 1: Auswahl des ersten MC-Items	99
Abbildung 16: Feedback für die Versuchsbedingung „Lokalisation des Fehlers“	100
Abbildung 17: Feedback für die Kontrollgruppe	100
Abbildung 18: Feedback für kombinierte Versuchs-Bedingung (kognitive Aktivierung und Lokalisation des Fehlers).....	101
Abbildung 19: Feedbackseite für die „Warum“-Bedingung (kognitive Aktivierung)..	101
Abbildung 20: Beispiel für die Darstellung der Erklärungen der blau unterstrichenen Wörter. Für jedes blaue Wort im Lernprogramm konnten sich die Lernenden eine Erklärung anzeigen lassen.	102
Abbildung 21: Motivationsseite (für alle vier Bedingungen gleich).....	103
Abbildung 22: Lösungsseite für die erste Biologie-Aufgabe des Trainings.....	104
Abbildung 23: Auswahl des richtigen Items bei der ersten Biologie-Aufgabe des Trainingsteils	105
Abbildung 24: Beispiel für richtige Antwort in der Kombinations-Bedingung (Lokalisation des Fehlers und kognitive Aktivierung)	105
Abbildung 25: Warnung des Programms, die Seite nicht zu verlassen.	107
Abbildung 26: Warnung des Programms, die Seite nicht zu verlassen.	108
Abbildung 27: Warnung des Programms, die Seite nicht zu verlassen.	108
Abbildung 28: Statt die Seite neu zu laden, warnt das Programm erneut davor, den Zurück-Knopf des Browsers zu betätigen.	108

Abbildung 29: Erste Seite des Lernprogramm: Hier findet die randomisierte Zuordnung der Gruppen statt.	110
Abbildung 30: Erste Seite des zweiten Messzeitpunkts im Programm.	111
Abbildung 31: Vorstudie: EEST-2 Bildschirmvariante mit nur einem Paarvergleich (Paarvergleich 1) zunächst mit verkürzter Instruktion.	117
Abbildung 32: Vorstudie: EEST-2 Bildschirmvariante mit nur einem Paarvergleich (Paarvergleich 2) jetzt mit der Originalinstruktion.....	117
Abbildung 33: Vorstudie: EEST-2 Bildschirmvariante mit nur einem Paarvergleich (Paarvergleich 3) wieder mit der Originalinstruktion.....	117
Abbildung 34: Präsentation der Paarvergleiche in der Hauptstudie.....	118
Abbildung 35: Motivationsseite mit Smiley (in allen Versuchsbedingungen gleich). .	120
Abbildung 36: Informationsseite zum Ablauf des Programms aus der Testversion.....	120
Abbildung 37: Motivationsseite	121
Abbildung 38: Tipp zur Bearbeitung der Aufgaben (die einzige Seite mit einer strategischen Instruktion)	121
Abbildung 39: Beispiel für eine Begriffsdefinition.....	122
Abbildung 40: Beispiel für die Erläuterung des Begriffs „Hypothese“.	122
Abbildung 41: Am Ende jeder Feedbackseite wurde eingeblendet, wie viele Aufgaben bisher richtig beantwortet worden waren.	123
Abbildung 42: Erste Seite des zweiten MZPs: Erstellung des Codes und Zuordnung zur Gruppe	129
Abbildung 43: KFT Subtest N2 (Figurale Analogien) Verteilung in der Stichprobe ...	131
Abbildung 44: Schätzung der IQ-Verteilung in der Stichprobe	131

Abbildung 45: Der „Professor“, der durch das Programm leitet, stellt die Ziele der Lerneinheit dar.....	134
Abbildung 46: Aufforderung zur sorgfältigen Bearbeitung der Aufgaben.....	134
Abbildung 47: „Professor“ gibt einen Tipp zur Bearbeitung der Aufgaben.....	135
Abbildung 48: Bildschirmseite zur Aufmerksamkeitslenkung und Überleitung zwischen zwei Themengebieten	136
Abbildung 49: Interaktionseffekt zwischen den beiden Dimensionen der Versuchsgruppen.....	143
Abbildung 50: Beantwortung-Typen bei Online-Befragungen (Bosnjak & Tuten, 2001)	158
Abbildung 51: Auswahl wichtiger neurokognitiver Methoden (Jacobs et al., 2006, S. 73)	161

II. Danksagung

Zum Entstehen dieser Dissertation haben viele Menschen beigetragen – nicht nur während meiner Promotionszeit, sondern auch schon davor. Alle haben mich auf ihre Weise unterstützt und es mir ermöglicht meinen Weg zu finden und zu gehen.

Ein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Marcus Hasselhorn. Er hat mich zurück an die Universität Göttingen geholt und mir so ermöglicht, mir den Traum zu verwirklichen mich einmal intensiv mit einer selbstgewählten wissenschaftlichen Thematik zu beschäftigen. Während meiner Promotionszeit hat er meine Arbeit zielgerichtet betreut und optimale Rahmenbedingungen dafür geschaffen, Wissenschaft und Familie zu vereinbaren. Ich danke ihm für das stete Vertrauen in meine Fähigkeiten, das mir besonders in Momenten, in denen ich selbst gezweifelt habe, neue Perspektiven eröffnet hat.

Ebenso herzlich bedanke ich mich bei meiner Zweitbetreuerin Prof. Dr. Susanne Bögeholz für ihre Unterstützung und die hilfreichen Anregungen, die meinen Blick aus einer interdisziplinären Perspektive geschult und meine Arbeit bereichert haben. Besonders hilfreich war für mich ihre klare strukturierte Art, die auch bei umfangreichen Fragestellungen meinen Blick auf wichtige Details gelenkt hat.

Vielen Dank an die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die mir durch das Promotions-Stipendium ermöglichte, meine Doktorarbeit zu schreiben. Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf die komfortable und unbürokratische Regelung zur Finanzierung der Kinderbetreuung.

Als Mitglied des DFG Graduiertenkollegs 1195 „Passungsverhältnisse Schulischen Lernens“ konnte ich auf zahlreiche Unterstützung zurückgreifen: in Gestalt einer interdisziplinären Arbeitsatmosphäre, promotionsbegleitender Veranstaltungen und spannender Diskussionen mit meinen lieben Mitstipendiatinnen und Mitstipendiaten. Es war eine wunderschöne Zeit mit Euch. Vielen Dank!

Ein herzliches Dankeschön auch an Prof. Dr. Marcus Hammann (Universität Münster) für das zur Verfügung stellen der im Lernprogramm verwendeten kompetenzorientierten Biologieaufgaben, die das Design des Programms maßgeblich beeinflusst haben.

Mein ganz besonderer Dank zudem gilt Dr. Wolfgang Wörner vom Deutschen Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF). Er hat mich mit viel Ausdauer und Engagement bei der Datenauswertung unterstützt und mich dabei von seiner reichen Erfahrung profitieren lassen. Vielen Dank auch an PD Dr. Micha Strack und Kevin Eichardt vom Methodenzentrum der Universität Göttingen, die mir in der ersten Phase der Datenauswertung und noch einmal am Ende beratend zur Seite standen.

Mein Dank geht zudem an Alexander Kiok, der das Lernprogramm programmiert hat, sowie an meine beiden studentischen Hilfskräfte Sebastian Hanelt und Stefanie Kabelitz, die geholfen haben, die Erhebungen in den Schulen durchzuführen und die Datenauswertung vorbereitet haben. Erwähnen möchte ich auch Dr. Dirk Jahreis, der uns äußerst hilfsbereit und freundlich mit Ausleih-Laptops unterstützt hat.

Meiner Familie und meinen Freunden danke ich für ihren Glauben an mich und das Gelingen meines Vorhabens, der manchmal größer war als mein eigener. Insbesondere danke ich meinem Mann, Marvin Lange, und meiner Tochter, Nuria Lange, für ihre Geduld und ihre kontinuierliche Unterstützung.

Ganz besonders danke ich auch meiner Mutter, Karin H. Balk, und meinem Vater, Wilfried Balk, für ihre grenzenlose Unterstützung. Ihr habt an mich geglaubt und mir Türen geöffnet. Eure Liebe hat es mir ermöglicht da zu sein, wo ich nun stehe. Auch meiner wundervollen Oma, Ilse Kufner, und meiner Schwiegermutter, Iris Lange, möchte ich danken, dass sie mich immer wieder motiviert und ermutigt haben, an meinem Projekt weiterzuarbeiten.

Mein besonderer Dank geht an Dr. Anna Greenwald-Seydell, Berlind Perske, Robert Gandert, Eva Stehle, Nadine Merkator und Dr. Helge Gresch, die Teile meiner Arbeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten Korrektur gelesen haben. Vielen Dank dafür!

Schließlich möchte ich mich bei allen meinen Freundinnen und Freunden bedanken, die ich an dieser Stelle nicht namentlich erwähnt habe. Ihr alle habt zum Gelingen dieses Projekts beigetragen, weil ich durch Euch Halt und Motivation bekommen habe, meinen Weg zu gehen. Ich bin so froh, dass es Euch gibt!

Zuletzt ein Dank an alle Schulleiter/innen und Lehrer/innen, die eine Testung an ihrer Schule möglich gemacht haben und auch an alle Studierenden bei der Vortestung des

Programms und last but not least, den Schülerinnen und Schülern, die an der empirischen Studie teilnahmen.

III. Zusammenfassung

Feedback ist ein wichtiger Faktor für erfolgreiches Lernen – vorausgesetzt, dass es richtig eingesetzt wird (Hattie & Timperley, 2007). Dies gilt insbesondere, wenn es um den Erwerb neuer Kompetenzen geht. Die vorliegende Studie soll dazu beitragen, eine empirisch begründete kompetenzorientierte Brücke zwischen dem Konzept des *negativen Wissens* (Oser & Spychiger, 2005) und psychologischen Theorien zum Thema Feedback als Instruktionsmethode im Rahmen des selbstregulierten Lernens bei Schülern¹ zu bilden und dazu anregen, den selbstregulierten Lernprozess von Schülern durch individuell angepasstes Feedback zu fördern. Dazu wurden zwei Hypothesen expliziert: Zum einen, dass Lernende, die Feedback über die konkrete Lokalisation des Fehlers erhalten, die dargebotenen Biologieaufgaben besser lösen können (prozessbezogene methodische Kompetenzen), als Lernende, die auf einer Metaebene eine Begründung für die Ursache des Fehlers in Kombination mit einer Frage zur kognitiven Aktivierung erhalten haben. Zum anderen, dass auf der im Rahmen der Intervention nicht trainierten strategischer Ebene das Feedback mit kognitiver Aktivierung effektiver ist.

Um diese Hypothesen zu prüfen, wurde der Einfluss zweier Feedbackvarianten untersucht. In einem 2x2 Prä-Post-Test Design wurden dazu die Feedbackvarianten „Lokalisation des Fehlers“ und „Begründung des Fehlers mit kognitiver Aktivierung“ einzeln oder in Kombination einer Kontrollbedingung ohne Feedback gegenüber gestellt. Lernende der 7. Klasse bearbeiteten im Rahmen von zwei Doppelstunden ein webbasiertes interaktives Lernprogramm zum Thema „Experimentieren“. Die darin enthaltenen Multiple-Choice-Aufgaben (Hammann, 2007) umfassten die für das Experimentieren einschlägigen Kompetenzbereiche „Suche im Hypothesenraum“, „Testen von Hypothesen“ und „Analyse von Evidenzen“ (Klahr, 2000). Als abhängige Variablen haben wir jeweils in einer Prä-Post-Test-Messung den Zuwachs an prozessbezogenen methodischen Kompetenzen (operationalisiert über die korrekte Lösung der verwendeten Biologie-Aufgaben) und den strategischen Lernzuwachs (operationalisiert über die Bearbeitung

¹ In der vorliegenden Arbeit wird bevorzugt die geschlechtsneutrale Form (z.B. Lernende, Lehrende etc.) verwendet. Kontextspezifisch (wenn es z.B. nicht generell um „Lernende“, sondern speziell um „Schülerinnen und Schüler“ geht) wird die maskuline Form (z.B. „Schüler“ etc.) verwendet um eine bessere Lesbarkeit zu gewährleisten. Gemeint ist damit jedoch immer auch die feminine Form.

des EEST-2, Marschner, 2010) untersucht. Um den möglichen Einfluss individueller Unterschiede in Bezug auf die Transferwirksamkeit des erworbenen Wissens zu erheben, wurden auch Daten zu Intelligenz, Persönlichkeitsfaktoren, zum Umgang mit Fehlern, zur Selbstwirksamkeitserwartung und zum selbstregulierten Lernen erhoben.

Durch die Bearbeitung des Lernprogramms konnten die getesteten Schüler (N=355) über alle Versuchsgruppen hinweg signifikante Lernzuwächse auf der im Rahmen der Intervention trainierten Aufgabeneben (prozessbezogene methodische Kompetenzen) erzielen, nicht aber auf der nicht trainierten strategischen Ebene. Die verschiedenen Feedbackarten hatten jedoch keinen Einfluss auf den Lernzuwachs der untersuchten Stichprobe. Auf strategischer Ebene konnte sogar eine Verschlechterung des Ergebnisses vom Prä- zum Posttest beobachtet werden. Dieses könnte darauf zurückzuführen sein, dass die metakognitive Entwicklung der getesteten Schüler noch nicht ausgereift genug war, um das Feedback auf der intendierten Ebene verarbeiten zu können. In der Diskussion dieser Arbeit wird das Konzept des negativen Wissens (Oser & Spychiger, 2005) theoretisch mit den Ergebnissen aus der kognitionspsychologischen Forschung verknüpft und aufgezeigt, welche Parallelen zwischen diesen beiden Ansätzen bestehen.

Die für diese Studie konzipierte computerbasierte Lerneinheit hat sich in der Praxis zur Einübung der Variablenkontrollstrategie bei Lehramtsstudierenden bewährt.

Theoretischer Teil

1. Einleitung

In der heutigen Zeit ist die Halbwertszeit von Wissen immer kürzer geworden (vgl. Lang, 2002). Unser Wissen über die Welt wird dabei stets komplexer und Informationen sind auf vielfältige Weise verfügbar geworden (ebd.). Wissen und insbesondere auch der Umgang mit Informationen ist zur wichtigsten menschlichen Ressource geworden. Die Qualität der Informationen, denen wir in unserer Umwelt jeden Tag ausgesetzt sind, ist jedoch sehr unterschiedlich. Es gilt, Fakten von Meinungen trennen zu können und dabei insbesondere auch die Quellen der dargebotenen Informationen zu kennen und richtig einordnen zu können (Boshuizen et al., 2004). Dadurch gewinnt die Fähigkeit, Informationen kritisch zu reflektieren, einen immer höheren Stellenwert. Sowohl bei der Bewertung von Fakten, öffentlichen Meinungen und Ansichten als auch im Zuge des Generierens neuer, weiterführender Fragen kommt der Fähigkeit zur Regulation der Informationsaufnahme eine große Bedeutung zu. Rückmeldungen von außen spielen dabei für gelungene Problemlöseprozesse gerade am Anfang zum Aufbau von *negativem Wissen* eine wesentliche Rolle (Oser et al., 1989). Negatives Wissen ist hierbei das über einen Fehler gewonnene Wissen darüber, wie etwas nicht ist, welches dabei hilft, Fehler kein zweites Mal zu machen.

Bildung ist ein lebenslanger Prozess, d.h. über die Lebensspanne werden neue Informationen aufgenommen, bestehende Gedächtniseinheiten verändert oder mit neuen Eindrücken in Zusammenhang gebracht (Staudinger, 2000; Lindenberger, 2000). Die Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen nimmt hierbei einen zentralen Stellenwert ein. Durch die erwerbbar Kompetenz, den eigenen Lernprozess zu steuern, sind wir dazu fähig, uns den raschen technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen zielgerichtet anzupassen (Berliner Erklärung, 2000; Erpenbeck & Sauer, 2000; Erpenbeck & Heyse, 1999).

Die schnelle Veränderung der Wissensinhalte und die Interdisziplinarität bringen es mit sich, dass den für diesen Bereich identifizierten Schlüsselkompetenzen eine immer größere Bedeutung beigemessen wird. Diese stellen eine Kombination aus Wissen, Fähigkeiten und Einstellungen dar und sind an das jeweilige Umfeld angepasst. In einer Wis-

sengesellschaft spielen sie daher im lebenslangen Lernprozess eine wichtige Rolle (Empfehlung des EU Parlaments, 2006), da sie eine größere Flexibilität der erwerbstätigen Bevölkerung gewährleisten. Diese Flexibilität erleichtert es, sich schneller an ein stetig wandelndes und stark vernetztes berufliches Umfeld anzupassen und trägt somit zu Motivation und Zufriedenheit der Arbeitskräfte sowie zur Zunahme der Qualität der Arbeit bei (vgl. Empfehlung des Europäischen Parlaments und des Rates, 2006).

Laut Zimmerman (2002) sollte die Vermittlung individueller Voraussetzungen für lebenslanges Lernen daher einen zentralen Bestandteil von Bildung und Erziehung darstellen. Idealerweise beginnt diese bereits von Geburt an, indem die Bezugspersonen des Kindes dessen Begeisterung zum Entdecken, Ausprobieren und Gewinnen von neuen Erkenntnissen aber auch zur Aneignung von Wissen fördern und begleiten. Da die Vermittlung einer positiven Einstellung zum Umgang mit Erkenntnisgewinnungsprozessen besonders nachhaltig ist, wenn diese von den primären Bezugspersonen aktiv vorgelebt wird, liegt hierfür die Verantwortung vor allem und in aller Regel im Elternhaus (Braun, 2007).

Später kommt den Lehrenden in Bildungseinrichtungen die Rolle zu, Kompetenzen zu vermitteln, die der übergeordneten Erkenntnisgewinnung dienen und intuitiv verfügbare Problemlösekapazitäten explizit anwendbar machen. Durch externes Feedback kann dieser Prozess effektiv begleitet und unterstützt werden. Dabei kann Feedback auf verschiedenen Ebenen wirksam sein (Hattie & Timperley, 2006).

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie mittels unterschiedlicher Varianten von Feedback Lernprozesse im Rahmen eines computerbasierten Lernprogrammes, zum Aufbau von negativem Wissen (Oser et al., 1989) genutzt werden können.

2. Experimentierkompetenz

Das menschliche Gehirn ist nicht für das Auswendiglernen von Sachverhalten und für die Aneignung von Wissen optimiert, sondern in erster Linie für das Lösen von Problemen. Lernen ist demnach ein Erkenntnis gewinnender Prozess, in dessen Verlauf eigene, bei der Lösung von Problemen gemachte Erfahrungen in Form bestimmter neuronaler Verschaltungsmuster im Gehirn gebahnt, stabilisiert und strukturell verankert werden (Hüther & Dohne, 2010, S. 88).

Durch Experimente können wir auf spezifische Weise bestimmte Probleme lösen und eigenständig zu neuen Erkenntnissen gelangen (Klos et al., 2008). Experimentierkompetenz kann damit (indirekt) zum selbstregulierten Lernen und (direkt) zur Erkenntnisgewinnung beitragen. Insbesondere für Schüler ist im Rahmen des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts die Fähigkeit zum Experimentieren daher eine wesentliche Kompetenz im Rahmen von Problemlöse- und Erkenntnisgewinnungsprozessen. Dies wird besonders deutlich anhand der zunehmenden Wichtigkeit des didaktischen Konzeptes des "Inquiry based Science Learning" für den naturwissenschaftlichen Unterricht (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010).

2.1 Kompetenz

Kompetenz entsteht durch (selbst organisierte) Lernprozesse (Erpenbeck, 1997; Erpenbeck & Heyse, 2007). Selbstorganisations- und Selbstoptimierungsprozesse werden in vielen Beschreibungen von Kompetenz zum Ausdruck gebracht und als ihr wesentliches Merkmal angesehen (siehe auch Hartig & Klieme, 2006; Erpenbeck & Heyse, 1999; Erpenbeck & Rosenstiel, 2003). Kompetente Personen setzen sich selbst Ziele, entwickeln Strategien und erproben deren Realisierung, so dass eine ständige Optimierung von Arbeits- und Lernmethoden entsteht und die Grundlage zum selbstregulierten Lernen geschaffen wird. Erfolgreich Lernende zeichnen sich daher vor allem dadurch aus, dass sie auch bei neuartigen Aufgaben selbstständig eine Problemlösung finden (Erpenbeck & Rosenstiehl, 2005).

Damit ist das Konstrukt der Kompetenz eng verwoben mit Konzepten des selbstregulierten Lernens. Wenn in der Schule der Kompetenzerwerb im Mittelpunkt steht (KMK,

2005a,b,c), sollten die Lernenden demnach darauf vorbereitet werden, selbstreguliert zu lernen. Dieses intendierte Ziel wird in der Praxis bislang jedoch noch selten umgesetzt.

2.2 Bildungsstandards im Fach Biologie

Durch die Einführung der Bildungsstandards in Deutschland (KMK, 2005 a,b,c; Klieme, 2004a,b; Klieme et al., 2007) wurde das Konzept des kompetenzorientierten Unterrichtens für die Schulen verbindlich festgesetzt und damit ein weiterer Schritt in Richtung „Output-Orientierung“ des Lernens gegangen. In den naturwissenschaftlichen Fächern wurden in diesem Kontext vier Kompetenzbereiche definiert: Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung. Zur Verdeutlichung werden hier die vier Kompetenzbereiche des Faches Biologie aufgeführt:

Tabelle 1: Kompetenzbereiche des Faches Biologie (KMK, 2005a)

Kompetenzbereiche des Faches Biologie

Fachwissen	Lebewesen, biologische Phänomene, Begriffe, Prinzipien, Fakten kennen und Basiskonzepten zuordnen können.
Erkenntnisgewinnung	Beobachten, Vergleichen, Experimentieren, Modelle nutzen und Arbeitstechniken anwenden
Kommunikation	Information sach- und fachbezogen erschließen und austauschen
Bewertung	Biologische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten

Es gibt trotz separater Festlegungen viele Übereinstimmungen zwischen den KMK-Standards der verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächer. In Deutschland wird der Kompetenz „Erkenntnisgewinnung“ im Zuge der Entwicklung der Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss eine große Bedeutung beigemessen. Dies gilt im Besonderen für den Bereich naturwissenschaftlicher Untersuchungen und damit für das Experimentieren. Dabei spielen verschiedene Aspekte eine Rolle (KMK, 2005a,b,c):

- Lernende sollen in der Lage sein, Fragestellungen und Hypothesen zu entwickeln, die mit naturwissenschaftlichen Experimenten beantwortet werden können (Chemie: E1; Physik: E6),
- sie sollen die dafür notwendigen Untersuchungen bzw. einfachen Experimente planen und durchführen, sowie dabei relevante Daten ermitteln können (Biologie: E5, E6; Chemie: E2, E3, E5; Physik: E7, E8),
- Lernende sollen Daten auswerten und Ergebnisse von Experimenten zur Deutung heranziehen können (Biologie: E6, E7; Chemie: E6; Physik: E7, E9),
- sie sollen zudem die Gültigkeit, Tragweite und Grenzen von Untersuchungsergebnissen erörtern können (Biologie: E8; Physik: E10).

Hier wird der Anforderungsbereich Erkenntnisgewinnung für das Fach Biologie aufgeführt:

		Anforderungsbereiche		
		I	II	III
Erkenntnisgewinnung	<ul style="list-style-type: none"> • Versuche nach Anleitung durchführen, • Versuche sachgerecht protokollieren, • Arbeitstechniken sachgerecht anwenden, • Untersuchungsmethoden und Modelle kennen und verwenden, • kriterienbezogene Vergleiche beschreiben • Modelle sachgerecht nutzen, • Modelle praktisch erstellen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Biologische Fachfragen stellen und Hypothesen formulieren, • Experimente planen, durchführen und deuten, • Beobachtungen und Daten auswerten, • Biologiespezifische Arbeitstechniken in neuem Zusammenhang anwenden, • Unterschiede und Gemeinsamkeiten kriterienbezogen analysieren, • Sachverhalte mit Modellen erklären. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigenständig biologische Fragen und Hypothesen finden und formulieren, • Daten hypothesen- und fehlerbezogen auswerten und interpretieren, • Organismen ordnen anhand selbst gewählter Kriterien, • Arbeitstechniken zielgerichtet auswählen oder variieren, • Hypothesen erstellen mit einem Modell, • Modelle kritisch prüfen im Hinblick auf ihre Aussagekraft und Tragfähigkeit. 	

Abbildung 1: Anforderungsbereiche für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung für das Fach Biologie (KMK 2005a, S. 17).

Im Zusammenhang mit den nationalen Bildungsstandards kommt dem Experiment eine wichtige Rolle beim Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung zu.

In der Schule erfüllt das Experiment eine Doppelfunktion, indem es zugleich Unterrichtsmethode und Unterrichtsgegenstand ist, was sich auch in den Zielen des Einsatzes der Experimentiermethode im Unterricht widerspiegelt (Janoschek, 2009, S. 27).

2.3 Experimentieren als Erkenntnisgewinnungsprozess

Nach Klahr (2000, S. 30) kann der naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess als komplexer Prozess des Problemlösens verstanden werden. Dieser kann dadurch gekennzeichnet werden, dass zwei Suchräume angenommen werden: eine Suche im Hypothesenraum und eine Suche im Experimentierraum.

Basierend auf dem *Scientific Discovery as Dual Search Model* (SDDS-Modell; Klahr, 2000) entwickelte Hammann (2004) Kompetenzentwicklungsmodelle zur Experimentierkompetenz. Hammann identifiziert darin die drei Teilkompetenzen (Hammann, 2004, S. 198):

1. Suche im Hypothesenraum,
2. Suche im Experimentierraum sowie
3. Analyse von Daten.

Die Teilkompetenz „Suche im Hypothesenraum“ beschreibt Fähigkeiten in der Generierung und Überprüfung von Hypothesen, wohingegen die Teilkompetenz „Suche im Experimentierraum“ die Fähigkeit beschreibt, Experimente systematisch zu planen und durchzuführen. Diese beiden Teilkompetenzen werden durch die Fähigkeiten, Daten im Hinblick auf die Hypothesen und dahinter liegenden Theorien auszuwerten und zu analysieren sowie Experimente ausgehend von sinnvollen Hypothesen zu planen, verbunden. Dies spiegelt den Prozess der Wissen und Theorien hervorbringenden empirisch arbeitenden Naturwissenschaften und deren grundlegende Methodik wider.

Tabelle 2 beschreibt die Kompetenzstufen bei der Suche im Hypothesenraum für die jeweilige Altersgruppe. Während Kinder in der Grundschule noch keine Hypothesen aufstellen und im Versuch nur Effekte erzielen wollen, beginnen Schüler der 5. Klasse mit der unsystematischen Suche nach Hypothesen um dann in der 7. Klasse die Kompe-

tenz vollständig erworben zu haben, im Rahmen eines Experiments systematisch Hypothesen aufzustellen und zu testen.

Tabelle 2: Kompetenzstufen bei der Suche im Hypothesenraum (nach Hammann, 2004, S. 200)

Stufe	Kompetenzniveau	Nähere Beschreibung	Alter
1	Keine Hypothesen beim Experimentieren	<ul style="list-style-type: none"> • Experimentieren ohne Hypothesen, • Lernende führen Experimente aus, ohne Vermutungen über Ursache Wirkungs-Beziehungen zu haben, • Versuch, einen Effekt zu erzielen. • Ursache für den Mangel an Wissen über die Notwendigkeit von Hypothesen ist ein unsystematisches Durchsuchen des Experimentier-raums. 	Grundschule
2	Unsystematische Suche nach Hypothesen	<ul style="list-style-type: none"> • Es wird hypothesengeleitet experimentiert, jedoch werden nicht alle Hypothesen herangezogen, die für die Beantwortung einer Fragestellung beachtet werden müssten oder bei der Suche nach Hypothesen werden diese nicht logisch aufeinander bezogen. 	Klasse 5
3	Systematische Suche nach Hypothesen	<ul style="list-style-type: none"> • Es werden multiple Hypothesen gebildet, die logisch aufeinander bezogen werden. • Probleme bereitet jedoch noch die Hypothesen-revision. 	Klasse 5
4	Systematische Suche nach Hypothesen und erfolgreiche Hypothesenrevision	<ul style="list-style-type: none"> • Wie Stufe 3, jedoch gelingt auch die Hypothesenrevision in Situationen, in denen alle bereits getesteten Hypothesen falsifiziert wurden. 	Klasse 7

Hammann (2004) unterteilt diese drei oben genannten Teilkompetenzen wieder in jeweils vier Niveaustufen (siehe Tabelle 2 bis 4). Die Teilkompetenz „Suche im Experimentierraum“, lässt sich durch steigende Fähigkeit zur Systematisierung beschreiben. Während Lernende auf „Kompetenzniveau 1“ Variablen in einem Experiment nur unsystematisch variieren können, d.h. sie verändern mehrere oder alle Variablen (Hammann 2004, S. 201), zeichnen sich Schülerantworten auf den höheren Niveaus dadurch aus, dass Variablen von den Schülern offensichtlich kontrolliert variiert werden können. Auf dem höchsten Niveau kann diese systematische Vorgehensweise auch auf andere Domänen übertragen werden.

Tabelle 3 beschreibt die Kompetenzstufen, die bei der Suche im Experimentierraum (nach Hammann, 2004, S. 201) durchlaufen werden. In der Grundschule beginnen die

Kinder damit, unsystematisch Variablen zu variieren. Ab der 5. Klasse wird das Vorgehen beim Experimentieren systematischer. Diese Fertigkeit entwickelt sich zunächst in den für die Schüler bekannten Domänen und weitet sich dann mit zunehmendem Kompetenzzuwachs auch auf unbekannte Domänen aus. In der 6. Klasse beginnen die Kinder schließlich damit, die Variablenkontrollstrategie systematisch anzuwenden.

Tabelle 3: Kompetenzstufen bei der Suche im Experimentierraum (nach Hammann, 2004, S. 201)

Stufe	Kompetenzniveau	Nähere Beschreibung	Alter
1	Unsystematischer Umgang mit Variablen	<ul style="list-style-type: none"> • Variablen werden ohne System variiert, so dass keine schlüssigen Aussagen über die vermuteten Ursache-Wirkung Beziehungen möglich sind. • Mehr als eine Variable wird von einem Testansatz zum anderen verändert. • Eine Strategie, die Variablen konfundiert (sog. »change all«, »no plan« und »intuitive« Vorgehensweisen) werden verwendet. 	Grundschule
2	Teilweise systematischer Umgang mit Variablen	<ul style="list-style-type: none"> • Systematischeres Vorgehen als auf Stufe 1, jedoch weiterhin Defizite in Bezug auf die systematische Variation einer Variablen und fehlende Kontrolle der anderen Variablen. • Typische Vorgehensweise »local chaining«: Nur in einigen Versuchen einer Versuchsreihe werden Variablen systematisch kontrolliert, in den anderen werden die Variablen weiterhin konfundiert. • Weitere defizitäre Denkweise: konstant halten der Variable, von der ein positiver Effekt erwartet wird. Die anderen Variablen, die das Versuchsergebnis beeinflussen könnten, werden jedoch nicht hinreichend kontrolliert. <p>Erwartung der Lernenden hierbei: Die Vermutung über die Wirkung der konstanten Variable lässt sich dadurch bestätigen, dass diese die gleiche Wirkung in Verbindung mit anderen Variablen zeigt.</p>	Klasse 5
3	Systematischer Umgang mit Variablen in bekannten Domänen	<ul style="list-style-type: none"> • Lernende variieren lediglich die Ausprägung der Testvariablen und halten die Ausprägungen der übrigen Variablen konstant. <p>Diese Vorgehensweise erlaubt es, eindeutige Aussagen über die Wirkung anderer Variablen auf den zu erklärenden Zusammenhang auszuschließen.</p>	Klasse 5
4	Systematischer Umgang mit Variablen in unbekanntem Domänen	<ul style="list-style-type: none"> • Wie in Stufe 3 variieren Lernende lediglich die Ausprägung der Testvariablen und halten die Ausprägungen der übrigen Variablen konstant. <p>Jedoch gelingt die Anwendung dieser allgemeinen Strategie im Unterschied zu Stufe 3 auch in Wissensdomänen, in denen wenig oder kein Vorwissen besteht.</p>	Klasse 6

Das Gleiche gilt für die Kompetenzstufen bei der Analyse von Daten (Hammann, 2004, S. 202), die in Tabelle 4 dargestellt werden. Hier entwickeln die Schüler mit wachsender Kompetenz sukzessive die Fähigkeit, Daten in adäquater Weise zur Überprüfung von Hypothesen heranzuziehen. Das Modell der Erkenntnisgewinnung durch Experimentieren, zeichnet sich zum einen durch einen steigenden Elaborationsgrad aus, mit dem naturwissenschaftliche Fragestellungen bearbeitet werden und wie relevantes Wissen bzw. relevante Prozesse zur Lösung herangezogen werden. Zum anderen ist ein steigender Komplexitäts- und Systematisierungsgrad bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen erkennbar (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 186).

Tabelle 4: Kompetenzstufen bei der Analyse von Daten (nach Hammann, 2004, S. 202)

Stufe	Kompetenzniveau	Nähere Beschreibung	Alter
1	Daten werden nicht auf Hypothesen bezogen	<ul style="list-style-type: none"> • Beobachtete Effekte werden beschrieben, Ursachen jedoch nicht erklärt. • Defizite beruhen auf einem mangelnden Verständnis der Ziele des Datenerhebens beim Experimentieren. 	Grundschule
2	Unlogische Analyse der Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Lernende beziehen Daten auf Hypothesen, ziehen jedoch unlogische Schlüsse daraus. Grund: z.B. Nichtbeachtung deutlicher Kontraste zwischen Experimental- und Kontrollansatz. • Beim Erklären der Ergebnisse eines Experimentes treten Widersprüche auf. • Hypothesen werden gewechselt bzw. beibehalten, obwohl die Datenlage dieses nicht zulässt. 	Klasse 5
3	Weitgehend logische Analyse der Daten, jedoch Probleme bei der Bewertung von Daten, die den eigenen Erwartungen widersprechen	<ul style="list-style-type: none"> • Lernende erklären Daten auf logisch konsistente Weise in den meisten experimentellen Situationen. • Schwierigkeiten bereitet jedoch der Umgang mit Anomalien, also Daten, die den eigenen Erwartungen widersprechen und die häufig ignoriert oder fehlinterpretiert werden. 	Klasse 6
4	Daten werden in adäquater Weise zur Überprüfung von Hypothesen herangezogen	<ul style="list-style-type: none"> • Lernenden gelingt die Analyse von Daten selbst dann, wenn diese aufgrund inhaltlicher Erwartungen oder Bedingungen der Datenerhebung (z.B. kontinuierliche Variablen mit kleinen Unterschieden oder Messfehlern) schwierig zu interpretieren sind. 	ab Klasse 7

In der vorliegenden Studie wurden im Rahmen eines Computerprogramms Biologie-Aufgaben zu den drei Teilprozessen des Experimentierens bearbeitet. Im Folgenden werden diese drei Teilprozesse daher kurz skizziert (vgl. Klahr, 2000; Hammann, 2004).

2.3.1 Suche im Hypothesenraum

Ausgangspunkt eines Experiments ist die *Fragestellung*. Die Formulierung der Fragestellung ist die Basis zur Generierung der passenden Hypothese und ist somit entscheidend für den gesamten nachfolgenden Prozess.

Eine Fragestellung entsteht oftmals im Alltag, beispielsweise durch die Konfrontation mit einem naturwissenschaftlichen Phänomen, und ist somit der Auftakt im Prozess der

Erkenntnisgewinnung. Sie kann sich aber auch aus der Datenlage oder einer Lücke im Wissensstand ergeben (Mahner & Bunge, 2000). Dabei ist die Fragestellung noch nicht auf eine empirische Prüfbarkeit bzw. ein bestimmtes experimentelles Design hin formuliert. Damit ist sie insgesamt weiter gefasst als eine Hypothese (Mayer, 2003).

Jedoch spielt schon für eine konkrete Fragestellung das konzeptuelle Hintergrundwissen eine wichtige Rolle. Das Hintergrundwissen entscheidet letztendlich, ob eine sinnvolle Forschungsfrage generiert werden kann oder nicht (Marbach-Ad & Claassen, 2001).

Um eine Forschungsfrage schließlich empirisch überprüfen zu können, muss diese in eine *Hypothese* transferiert werden. Diese bietet im Gegensatz zur Fragestellung bereits eine vorläufige, widerlegbare Erklärung für ein beobachtbares Phänomen an. Sie muss zudem wissenschaftlich begründet sein und in Einklang mit bereits vorhandenen Daten und Theorien stehen (Mahner & Bunge, 2000). Hypothesen müssen logisch und widerspruchsfrei formuliert werden, dass sie experimentell überprüfbar und somit falsifizierbar sind (Popper, 1935).

Bei der Suche im Hypothesenraum werden Hypothesen entsprechend der Problemstellung formuliert und empirisch getestet, wobei vermutete Zusammenhänge über Ursache-Wirkungsbeziehungen überprüft werden und so eine Bestätigung bzw. Revision der Hypothesen möglich wird. Nach Popper (1935) entsteht der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn jedoch in erster Linie durch die Falsifikation von Hypothesen, weil man hierbei eindeutig den für das Experiment relevanten Faktor identifiziert und systematisch getestet haben muss.

Die Suche im Hypothesenraum umfasst folglich das Aufstellen und Spezifizieren neuer Hypothesen sowie das Prüfen dieser auf ihre Plausibilität. Als Quellen dafür dienen einerseits das im Gedächtnis gespeicherte domänenspezifische Vorwissen, andererseits experimentelle oder aus Beobachtungen stammende Daten. Plausibel ist somit vor allem das, was aus dem Vorwissen und vorliegenden Theorien plausibel abgeleitet werden kann.

2.3.2 Suche im Experimentierraum

Um eine Hypothese zu prüfen, muss ein passendes und jederzeit reproduzierbares Experiment geplant und kontrolliert durchgeführt werden (Popper, 1935). Bei der Planung

eines Experiments werden die relevanten Faktoren (die *abhängige* und die *unabhängige* Variable) zur Analyse eines Zusammenhangs isoliert und pro Experiment jeweils nur *eine* unabhängige Variable variiert (Variablenkontrolle). Dadurch kann systematisch überprüft werden, welchen Einfluss die Veränderung der unabhängigen Variable auf die abhängige Variable hat. Da es möglich ist, dass unkalkulierte Faktoren die Ergebnisse eines Experimentes mit absichtsvoll veränderten Bedingungen unbemerkt beeinflussen, ist stets parallel zu jedem zu testenden Experiment ein Versuchsaufbau ohne entsprechend veränderte Bedingungen zu machen. So werden die unkalkulierten Faktoren im so genannten „Kontrollansatz“ unter Kontrolle gebracht und lassen die Dateninterpretation erst zu (vgl. Bortz, 1999). Daher sind beim Experimentieren zwei Grundsätze besonders zu beachten: der *Kontrollansatz* und die *Variablenkontrolle*.

Kontrollansatz: Zur Interpretation von Kausalbeziehungen zwischen Variablen muss jeweils eine Versuchsbedingung mit einem Kontrollansatz verglichen werden. Wichtig ist für den Kontrollansatz, dass alle Bedingungen konstant gehalten werden, während im testenden Experiment eine bestimmte Bedingung verändert wurde. Dadurch wird die Voraussetzung geschaffen, eine eindeutige kausale Beziehung zwischen den Faktoren nachzuweisen (vgl. Klahr, 2000).

Variablenkontrolle: Die Ansätze, die die Wirkung einer veränderten Bedingung in einem Experiment testen, dürfen sich jeweils nur in einer Testvariable unterscheiden (Variablenkontrollstrategie), während alle übrigen Variablen eines betrachteten Systems konstant gehalten werden: "a procedure in which children learn how to set up experimental contrasts such that only one thing is varied at a time, while all other relevant factors are held constant" (Klahr, 2000, S. 221). Nur so können auftretende Effekte eindeutig der Testvariablen zugeschrieben und Kausalbeziehungen angenommen werden.

2.3.3 Datenanalyse

Um einer Fehlinterpretation der Ergebnisse vorzubeugen muss die *Deutung der Ergebnisse* streng von den Ergebnissen selbst getrennt werden. Dies entspricht der grundlegenden Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung oder Deutung in den empirisch arbeitenden Naturwissenschaften. Dabei wird unter Einbezug des konzeptuellen Hintergrundwissens geprüft, ob die Hypothese durch die Befunde gestützt werden kann oder zu falsifizieren ist (Mayer, 2002).

Die Hypothese kann lediglich beibehalten oder verworfen werden. Darüber hinaus können keine Aussagen getroffen werden (Popper, 1935). Die Falsifikation hat jedoch niemals endgültigen Charakter, da die Deutung vom Wissensstand, dem historischem Kontext und dem Entwicklungsstand des jeweiligen Theoriegebäudes abhängig ist (ebd.).

Der Prozess der Datenanalyse und -auswertung vermittelt folglich zwischen Hypothesen- und Experimentierraum. Hierbei wird festgelegt, ob die ermittelte Evidenz ausreicht, um die eingangs gestellte Hypothese zu akzeptieren oder ob diese revidiert werden muss. Die Analyse der Daten leitet eine eventuelle weitere Suche in den beiden Suchräumen, wenn etwa die gewonnenen Daten nicht ausreichen, um die Hypothesen zu bestätigen oder zu verwerfen. "Three general outcomes are possible: The current hypothesis can be accepted, it can be rejected, or it can be considered further" (Klahr, 2000, S. 38). Wird die Hypothese beibehalten, bestätigt sich das Zutreffen der Vermutung und der Erkenntnisprozess kommt vorläufig zum Ziel. Im Falle der Revision der Hypothese beginnt die Suche im Hypothesenraum erneut. Muss die Hypothese noch weiter geprüft werden, wendet sich der Prozess einer erneuten Suche im Experimentierraum zu. Überdies umfasst die Datenanalyse oft auch eine Abschätzung von Fehlern und eine Einschätzung der Vertrauenswürdigkeit der Daten (Hammann, 2004, S. 199), die bei der Hypothesenrevision berücksichtigt werden müssen.

2.4 Fehler beim Experimentieren

Oft haben Schüler intuitive Vorstellungen über Zusammenhänge in der Natur. Diese beruhen größtenteils auf ihren Erfahrungen aus dem Alltag. Beispielsweise fällt es Kindern schwer, den Einfluss von Licht in einer Versuchsanordnung von dem der Wärme zu trennen, weil die Sonne als Hauptquelle von Licht und Wärme als Referenz das Vorwissen dominiert (vgl. Hammann, 2004). Daher entstehen Fehler beim Experimentieren häufig dadurch, dass Alltagserfahrungen in empirische Fragestellungen übertragen werden. Diese Vorstellungen der Lernenden unterscheiden sich jedoch oft von naturwissenschaftlichen Konzepten, was beim Planen von Experimenten beachtet werden muss. Die Kenntnis und Änderung der Schülervorstellungen sollten daher bei der Planung von Experimenten im Unterricht besonders berücksichtigt werden. So kann auch gleichzeitig das Methodenverständnis der Lernenden gefördert werden (vgl. Phan, 2007).

2.4.1 Ingenieursmodell versus naturwissenschaftliches Modell

Schüler sehen den Sinn eines Experiments im Unterricht zunächst häufig darin, einen bestimmten Effekt zu erzielen. Dabei haben sie oft ein konkretes Ergebnis vor Augen, welches sie erzielen wollen, anstatt ein vorgegebenes Lernziel zu erreichen (sog. *engineering approach*, Schauble et al., 1991b; Schauble et al., 1995). Die Überprüfung von Kausalzusammenhängen (Hammann et al., 2006) tritt hierbei zunächst in den Hintergrund. Ein derartiges auf Effekte ausgerichtetes Vorgehen erinnert an das experimentelle Spielen von Kindern und es können Bezüge zu den so genannten Demonstrationsexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht hergestellt werden. Die folgende Tabelle (Abbildung 2) zeigt die Unterschiede zwischen dem Vorgehen, welches ausschließlich auf das Erzielen von Effekten ausgerichtet ist, und dem naturwissenschaftlichen Modell, welches dazu dient, Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu verstehen:

	"Ingenieursmodell"	"Naturwissenschaftliches Modell"
Ziel	Ein gewünschtes interessantes Phänomen erzeugen	Ursache-Wirkungsbeziehungen verstehen
Vorgehen	stark kontrastierende Ereignisse beobachten	den Einfluss jeder potentiell bedeutenden Variable untersuchen
Ableitungen	Beachtung von Ergebnissen, welche die eigenen Erwartungen stützen	Beachtung aller Ergebnisse, um logische Schlussfolgerungen zu ziehen
Suche	Konzentriert sich auf Variablen, die für das Ergebnis wichtig sein könnten	Versucht, alle Kombinationen zu testen
Stop Regel	Wenn das gewünschte Ergebnis erzeugt ist	Wenn die systematische Kontrolle aller Variablen abgeschlossen ist

Abbildung 2: Gegenüberstellung des Ingenieursmodelles und des naturwissenschaftlichen Modells des Experimentierens (Ganser, Hammann o.J., Tabelle entnommen aus Janoschek, 2009)

Sowohl Experimentierkompetenz als auch eine generelle Problemlösekompetenz sind erlernbar (vgl. Hartig & Klieme, 2006). Daher ist beim Experimentieren der Unterschied zwischen Lernen und Problemlösen relevant: Nur beim Lernen aus den Ergebnissen eines Experiments kommt es zu einer nachhaltigen Wissenserweiterung (vgl. Klauer, 1988; Wirth, 2004).

2.4.2 Fehlertypen nach Hammann

Um aus den Ergebnissen eines Experiments richtige Schlussfolgerungen ziehen zu können, ist die systematische Versuchsplanung unabdingbar. Bei der Planung von Experimenten haben Lernende jedoch häufig Probleme damit, die relevanten Variablen zu isolieren und systematisch anzuordnen. Besonders bei Schülern passiert es noch recht häufig, dass beim Planen von Experimenten die Ausprägungen mehrerer Variablen ohne System verändert werden, so dass daraus unschlüssige Experimente (Hammann, 2004, S. 200) und somit uneindeutige Ergebnisse resultieren. Aus vielen Studien im angloamerikanischen Raum sind typische Schülerfehler als Abweichungen von der naturwissenschaftlichen Methode des Experimentierens bekannt, die sich auf verschiedene Bereiche des Experimentierens auswirken (Hammann et al., 2006).

Hammann et al. (2006) unterscheiden Fehler danach, in welcher Phase des Experimentierprozesses sie auftreten, nämlich bei der Planung von Experimenten, bei der Datenanalyse und beim Aufstellen und Testen von Hypothesen.

Als einen häufig anzutreffenden Fehler bei der Planung beschreiben Hammann et al. (2006) das Fehlen des Kontrollansatzes. Ohne Kontrollansatz kann das Ergebnis des Experiments nicht kausal auf den Einfluss des veränderten Faktors zurückgeführt werden. Das *Fehlen des Kontrollansatzes* führt somit dazu, dass die Ergebnisse eines Experimentes ihre Aussagekraft einbüßen, da ein Vergleich des Ergebnisses mit bzw. ohne Einflussgröße nicht möglich ist.

2.4.3 Fehlerquelle: Variablenkontrollstrategie

Ein weiterer häufig anzutreffender Fehler ist laut Hammann et al. (2006) der unsystematische Umgang mit Variablen, da naturwissenschaftliche Experimente durch das systematische Variieren einzelner Variablen gekennzeichnet sind: Nur wenn Kontrollvariablen konstant gehalten werden und stets nur eine Testvariable variiert wird, kann die Wirkung der Testvariablen auf die Messgröße ermittelt werden. Hierbei fällt Schülern die Unterscheidung zwischen Test- und Kontrollvariablen besonders schwer.

Insbesondere die verschiedenen Aspekte der Variablenkontrollstrategie stellen die Schüler daher immer wieder vor Herausforderungen: Im Experiment wird daher häufig mehr als eine Variable verändert, wodurch konfundierte Experimente geplant werden (Chen

& Klahr, 1999). Dies führt mitunter zu falschen Deutungen (Wason, 1960), unter anderem auch deshalb, weil Variablen, die das Ergebnis beeinflussen können, dadurch unbeachtet bleiben. Um zu überprüfen, ob tatsächlich der eine variierte Faktor für einen Effekt verantwortlich ist und das Konstanthalten aller anderen Faktoren geglückt ist, sollte ein Experiment daher mehrfach durchgeführt und mit dem Kontrollansatz verglichen werden. So kann der Einfluss von weiteren Faktoren als Ursache für den aufgetretenen Effekt minimiert werden.

In der vorliegenden Studie steht daher die Variablenkontrollstrategie im Fokus. Diese verhindert das unlogische In-Bezug-Setzen von Ansätzen in Versuchsreihen und sorgt dafür, dass kausale Zusammenhänge stringent abgeleitet werden können.

2.4.4 Strategienutzung

Für einen erfolgreichen selbstregulierten Lernprozess, bei dem verschiedene Anforderungen von Lernaufgaben auf den Lerner zukommen, ist es notwendig, sowohl über übergeordnete und als auch über untergeordneten Strategien des SRL zu verfügen (Corno, 1989; Schiefele & Pekrun, 1996). Das bedeutet, dass Lernende sowohl Wissen über die Strategien besitzen als auch dieses Wissen anwenden müssen. Damit umfangreiches Strategiewissen auch angemessen genutzt werden kann, sind mögliche moderierende Variablen, wie Motivation, Vorwissen, die metakognitive Kontrolle sowie die Aufgabenschwierigkeit, zu beachten (Hasselhorn, 1992; Pressley et al., 1987; Pressley et al., 1989).

Im Bereich des SRL unterteilen Paris et al. (1983) Strategiewissen in deklaratives, prozedurales und konditionales Strategiewissen. Deklaratives Wissen umfasst Wissen über Eigenschaften von Strategien, passende Anforderungsmerkmale von Aufgaben und strategiebezogene Merkmale der Person. Prozedurales Wissen bezeichnet dagegen das Wissen, wie diese Strategien ausgeführt werden. Davon ist die tatsächliche Strategieausführung zu unterscheiden, die nicht automatisch daraus folgt. Wissen darüber, wann und warum eine Strategie sinnvoll ist, liefert das konditionale Wissen, also das Wissen über die entsprechenden Bedingungen einer sinnvollen Nutzung (vgl. Marschner, 2011, S. 22).

Neben der Variablenkontrollstrategie, die das Vorgehen beim Experimentieren steuert, spielen somit auch die Strategien eine Rolle, die die Lernenden anwenden um den internen Lernprozess zu steuern. Hierbei spielen spezifische kognitive Strategien, die sich direkt auf den Lernstoff beziehen und der Informationsaufnahme und -verarbeitung dienen, ebenso eine Rolle wie metakognitive Strategien, die den Einsatz jener kognitiven Strategien regulieren. Neben diesen beiden Typen von Strategien sind zudem Strategien relevant, die für günstige Rahmenbedingungen des Lernens sorgen: z.B. Strategien zur Aufrechterhaltung der Motivation oder zur zeitlichen Strukturierung des Lernens.

Viele Schüler zeigen jedoch noch nicht die Fertigkeiten und Strategien, die für erfolgreiches Lernen nötig wären. Laut Veenman et al. (2006) gibt es verschiedene Möglichkeiten, warum dies der Fall sein könnte. Zum einen kann es sein, dass den Lernenden kein ausreichendes Wissen über diese Strategien und Fertigkeiten zur Verfügung steht. Die Autoren sprechen dabei von einem Verfügbarkeitsdefizit (*availability deficiency*). Den Lernenden fehlt in diesem Fall folglich das strategische Wissen, das gebraucht wird, um den *discovery*-Prozess zu koordinieren und zu steuern (vgl. Bransford et al., 2000). Zum anderen kann dieses Wissen zwar ausreichend vorhanden sein, aber es wird spontan nicht oder zumindest nicht richtig genutzt (vgl. Brown & DeLoache, 1978; Flavell, 1976; Mayer, 1992; Veenman et al., 2000). Dies wird als Produktionsdefizit (*production deficiency*) bezeichnet (Veenman et al., 2006). Auch Hasselhorn (1995a, 1996) unterscheidet Defizite in Abhängigkeit davon, ob Strategien nicht verfügbar sind oder ob sie nur nicht richtig beziehungsweise gar nicht genutzt werden. Er spricht ebenfalls von Produktionsdefizit, wenn Strategiewissen zwar vorhanden ist, es aber zu keiner Nutzung dieses Wissens kommt (Hasselhorn, 1992). Zusätzlich verwendet er den Begriff Nutzungsdefizit für den Fall, wenn es zwar zu spontaner Strategienutzung kommt, diese aber fehlerhaft ist.

Ein Produktionsdefizit, bei dem die Strategien und Fertigkeiten trotz deren Kenntnis nicht angewandt werden, kann verschiedene Ursachen haben. Gründe hierfür könnten nach Veenman et al. (2005) darin liegen, dass Schüler nicht flexibel in ihrer Wissensanwendung sind, dass sie nicht wissen, wann die Strategien angemessen sind oder dass durch die Anforderungen der Aufgabe ein *cognitive overload* vorliegt (vgl. Moreno, 2004). *Cognitive overload* beschreibt einen Zustand, bei dem die kognitive Belastung des Lernenden so groß ist, dass Informationsverarbeitung und -speicherung durch die

begrenzte Kapazität des Arbeitsspeichers nicht mehr möglich sind (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1988, 1999). Weitere Ursachen können ein Mangel an oder auch Schwierigkeiten mit metakognitiven Aktivitäten sein (Bannert, 2007; Friedrich & Mandl, 1992; Hasselhorn, 1992; Veenman, 1993). Andere Moderatoren können das Vorwissen oder die Aufgabenschwierigkeit sein (Hasselhorn, 1992, 1995b). Diese Moderatoren, wie Motivation, inhaltliches Wissen und metakognitive Kontrolle nennen auch Pressley et al. (1987, 1989) um die Beziehung zwischen Wissen und Nutzung zu beschreiben (vgl. Marschner, 2011, S. 35). Möglicherweise sind Schüler zum Teil auch nicht ausreichend motiviert ihr Wissen anzuwenden. So konnte Thillmann (2008) zeigen, dass die aktuelle Motivation ein Moderator zwischen Strategiewissen und adäquater Strategienutzung ist.

3. Selbstreguliertes Lernen

Beim selbstregulierten Lernen (SRL) übernehmen die Lernenden selbst die Verantwortung dafür, den eigenen Lernprozess zu kontrollieren und zu steuern. Diese anspruchsvolle Aufgabe bringt unterschiedliche Anforderungen und Probleme mit sich (vgl. Veenman et al., 1994). In den verschiedenen Modellen (Boekaerts, 1997, 1999; Schmitz, 2001; Winne & Hadwin, 1998; Zimmerman 2000a,b) zum SRL werden unterschiedliche Aspekte des selbstregulierten Lernprozesses aufgegriffen. Leutner und Leopold (2002) nennen folgende vier Gemeinsamkeiten dieser Modelle:

1. Lerner werden als aktive Gestalter ihres eigenen Lernprozesses gesehen.
2. Es finden metakognitive Überwachungs-, Kontroll- und Regulationsprozesse per selbstbezogener Rückmeldungsschleife statt.
3. Das Lernen ist auf ein bestimmtes Lernziel (Sollzustand) hin ausgerichtet.
4. Die Selbstregulationsprozesse sind Vermittler zwischen den Merkmalen der Individuen und des Kontextes und dem aktuellen Lernerfolg.

Laut Butler und Winne (1995) sind sich die Theoretiker zwar darin einig, dass selbstregulierte Lerner die effektivsten Lerner sind, aber nicht jeder Lerner ist automatisch ein guter selbstregulierter Lerner und somit erfolgreich. Die Selbststeuerung des Lernens muss daher zunächst erlernt werden: Interne Feedback- und Monitoringprozesse müssen etabliert werden und die Lernenden müssen zudem Erfahrungen mit externem Feedback und dessen Verarbeitung sammeln. Bevor es daher zur Selbststeuerung des Lernens kommt, geschieht ein großer Teil des Lernens durch die Steuerung von anderen (Brown, 1984). Ein Lerner muss erst lernen, selbstreguliert zu lernen und braucht im Rahmen dieses Prozesses entsprechende Unterstützung von außen – sei es durch Lehrkräfte oder ein passendes Lernprogramm.

Die Ausgangsbasis zum selbstregulierten Lernen (SRL) bilden individuelle Problemlösungsprozesse, auf denen der Erkenntnisgewinnungsprozess aufbaut bzw. die diesen erst möglich machen. Während Problemlösungsprozesse situativ sind, geht der Prozess des selbstregulierten Lernens darüber hinaus und verknüpft das vorhandene Wissen mit dem neu erworbenen. Durch diese Verknüpfung werden kognitive Strukturen geschaffen, die erfolgreiches Lernen im Sinne der Erkenntnisgewinnung möglich machen. Dabei ist

SRL eine Kompetenz, die erlernt werden kann (vgl. Klauer, 1988; Wirth, 2004). Der Anspruch, Schüler zum selbstregulierten Lernen zu befähigen, ist daher inzwischen nationenübergreifend ein explizites Bildungsziel (vgl. OECD, 2004). Die Bedeutung des selbstregulierten Lernens sieht Zimmerman (2008, S. 166) insbesondere darin, dass es den Lernenden erlaubt, den eigenen Lernprozess selbst zu bestimmen.

Die Forschung und die theoretische Modelle zum selbstregulierten Lernen existieren seit Beginn der 1980er Jahre. Dabei werden Begriffe wie selbstgesteuertes Lernen, autonomes Lernen oder selbstorganisiertes Lernen (Götz, 2006; Schreiber, 1998) nicht trennscharf voneinander abgegrenzt und zum Teil synonym für SRL verwendet. Unterschiede, die hinter den Begrifflichkeiten liegen, werden unter anderem bei Künstling (2007) beschrieben. Jedoch stimmen alle Definitionen des Begriffs darin überein, dass beim selbstregulierten Lernen in klarer Abgrenzung zum fremdregulierten Lernen der Lernprozess nicht von außen, sondern vom Lerner selbst bewusst gestaltet wird (vgl. Labuhn, 2008).

Für einen erfolgreichen Lernprozess sind dabei zunächst die eigenen Lernbedürfnisse zu ermitteln und mit dem vorhandenen Angebot an Lernmöglichkeiten abzugleichen. Um erfolgreich selbstreguliert zu lernen, sollte man daher den eigenen Lernprozess angemessen einschätzen können. Zimmerman (2002) sieht im Aufbau entsprechender individueller Kompetenzen eine zentrale Funktion von Bildung und Erziehung: Lernende sollten darin unterstützt werden, ein Bewusstsein für die eigenen Fähigkeiten und deren Weiterentwicklung aufzubauen. Dies erfordert zunächst, seinen eigenen Lerntyp und seine bevorzugten Lernstrategien, die Stärken und Schwächen seiner Fähigkeiten und Fertigkeiten zu kennen und zu verstehen. Zudem sucht ein selbstreguliert Lernender aktiv nach passenden Lerngelegenheiten. Hierbei ist die richtige Kompetenzwahrnehmung der Lerner beim SRL besonders wichtig, damit sie ihr zukünftiges Lernen richtig beurteilen können (Hofer et al., 1998). Zudem sollten selbstreguliert Lernende ebenso dazu fähig sein, bei Bedarf Hindernisse zu überwinden und ggf. Beratung zu suchen und in Anspruch zu nehmen. Daher sind bestimmte Persönlichkeitseigenschaften ebenso wie Motivation und die angemessene Selbstwirksamkeitserwartung für den selbstregulierten Kompetenzerwerb des Einzelnen von entscheidender Bedeutung. Selbstregulation ist jedoch keine stabile Persönlichkeitseigenschaft (*trait*), die genetisch verankert oder erworben ist, sondern ist durch zyklisch verlaufende, kontextspezifische (Sub-)Prozesse

definiert (vgl. Hasselhorn & Labuhn, 2008; vgl. Zimmerman, 1989a). Sie wird jedoch von stabilen Faktoren wie z.B. Persönlichkeitseigenschaften in diesem kontextspezifischen, selbstgesteuerten Prozess entscheidend mitbeeinflusst.

Die Theorie des selbstregulierten Lernens, die dieser Arbeit zugrunde liegt, geht mit Zimmerman (2002) davon aus, dass Lernen nicht passiv durch den Unterricht verursacht wird, sondern dass Lernende den Lernprozess im Rahmen ihrer Möglichkeiten *proaktiv* steuern und gestalten.

Zimmerman (2000, S. 14) definiert selbstreguliertes Lernen als “self-generated thoughts, feelings, and actions that are planned and cyclically adapted to the attainment of personal goals“. Selbstregulation ist damit ein fortlaufender Prozess, in dessen Rahmen Gedanken, Gefühle und Handlungen auf individuelle Ziele abgestimmt werden (vgl. auch Hasselhorn & Labuhn, 2008). Selbstreguliert Lernende sind sich zudem darüber bewusst, ob und in welchem Maße sie eine bestimmte Fähigkeit oder Wissen in einem bestimmten Bereich besitzen (Zimmerman, 1990). Im Gegensatz zu passiv Lernenden suchen selbstreguliert Lernende aktiv nach Informationen, wenn sie feststellen, dass sie diese benötigen. Den Lernenden wird das Vermögen zugeschrieben, aktiv auf metakognitiver, motivationaler und behavioraler Ebene den eigenen Lernprozess zu gestalten (z.B. Zimmerman 2000b, 2002). Wie Zimmerman (1990, S. 4) treffend formuliert: „This perspective shifts the focus of educational analyses from students’ learning ability and environments as fixed entities to their personally initiated processes and responses designed to improve their ability and their environments for learning“. Der Beginn und die unterstützende Begleitung solcher individueller Lernprozesse werden aus dieser Sicht zur zentralen Aufgabe von Erziehung und Unterricht. Das bedeutet auch, Lernenden nicht nur zu vermitteln, dass sie Verantwortung für das eigene Lernen übernehmen sollen, sondern in erster Linie, wie sie die nötige Kontrolle erlangen und diese für sich nutzbar machen können (vgl. Labuhn, 2008, S. 2).

3.1 Überblick über Modelle des selbstregulierten Lernens

Von besonderer Bedeutung sind die Modelle selbstregulierten Lernens von Boekaerts (1997, 1999), Schmitz (2001) und Zimmerman (2000a, 2000b).

Grundsätzlich kann zwischen Komponenten- und Prozessmodellen (Winne & Perry, 2000, vgl. auch Wirth & Leutner, 2008) unterschieden werden.

Komponentenmodelle. In Komponentenmodellen wird das selbstregulierte Lernen als *Fähigkeit* beschrieben, also als eine relativ stabile Eigenschaft, aus der sich zukünftiges Verhalten vorhersagen lässt: „An aptitude describes a relatively enduring attribute of a person that predicts future behavior“ (Winne & Perry, 2000, S. 534). Diese Fähigkeit bezieht sich hierbei auf eine Kombination mehrerer Kompetenzen eines Lernenden. Hierzu zählen motivationale, kognitive und metakognitive Regulationskompetenzen (Boekaerts, 1999; Spörer & Brunstein, 2006). Diese werden als vergleichsweise stabil, d.h. unabhängig von Situations- und Aufgabenmerkmalen betrachtet (Spörer & Brunstein, 2006). Dabei wird angenommen, dass sie sich günstig auf den Lernprozess sowie auf das Lernergebnis auswirken (Wirth & Leutner, 2008; Zimmerman, 2008). Die Ausprägung der einzelnen Kompetenzen kann hierbei interindividuell stark variieren.

Prozessmodelle. In Prozessmodellen wird das selbstregulierte Lernen als Serie von *Ereignissen* konzeptualisiert (Perels, Gürtler & Schmitz, 2005; Winne & Perry, 2000; Wirth & Leutner, 2008). Als ein Ereignis wird eine Veränderung eines Lernzustands in einen anderen angesehen. Ein Beispiel hierfür ist, wenn ein Lernender die richtige Lösung zu einem Problem entdeckt und diese Entdeckung selbst registriert (Winne & Perry, 2000, S. 535). Jedes einzelne Ereignis im Lernprozess kann wiederum in verschiedene Phasen oder Stufen unterteilt werden (Zimmerman, 2000a, 2000b, 2002, 2008). Auf der Basis von Prozessmodellen werden Lernenden Selbstregulationskompetenzen zugeschrieben, „sofern sie in der Lage sind, Lernstrategien unterschiedlicher Art (z.B. Aufgabenstrategien, Motivierungsstrategien, Reflexionsprozesse) bei der Bearbeitung einer Aufgabe selbstständig zu nutzen und so miteinander zu koordinieren, dass ein möglichst optimales Lernergebnis erreicht wird“ (Spörer & Brunstein, 2006, S. 147). Das selbstregulierte Lernen wird dabei als zyklischer Prozess betrachtet (Wirth & Leutner, 2008; Zimmerman, 2000).

Während die beiden in der Forschung häufig zitierten Modelle von Boekaerts (das „Sechs-Komponenten-Modell“, Boekaerts, 1997 und das daraus entwickelte „Drei-Schichten-Modell“, Boekaerts, 1999) explizit für den Bereich des selbstregulierten Lernens entwickelt wurden, besitzt das Modell von Zimmerman (2000a, 2000b) zudem eine höhere Allgemeingültigkeit zur Beschreibung von selbstregulierten Lern- und

Problemlösungsprozessen (vgl. Beierlein, 2011, S. 25), da Zimmerman (2000a, 2000b, 2002) neben der inneren Selbstregulation auch verhaltensbezogene und umgebungsbezogene Faktoren des selbstregulierten Lernens miteinbezieht. Dadurch wird der Fokus auf interne und externe Feedback-Prozesse im SRL gelenkt, die den strategischen Lernprozess des Einzelnen unterstützen bzw. erst ermöglichen. Wegen der hohen Allgemeingültigkeit des Modells (Schmitz, 2003) stützt sich diese Arbeit auf das Modell von Zimmerman, welches in den folgenden Abschnitten näher erläutert wird.

3.2 Das Prozessmodell von Zimmerman

Aus sozial-kognitiver Perspektive stellt die Selbstregulation eine Interaktion aus personeninternen, verhaltens- und umgebungsbezogenen Prozessen dar. Zimmerman (2000a, 2000b, 2002) unterscheidet ebenfalls drei Prozesse der Selbstregulation: eine verhaltensbezogene, eine umgebungsbezogene sowie eine innere Selbstregulation (siehe Abbildung 3).

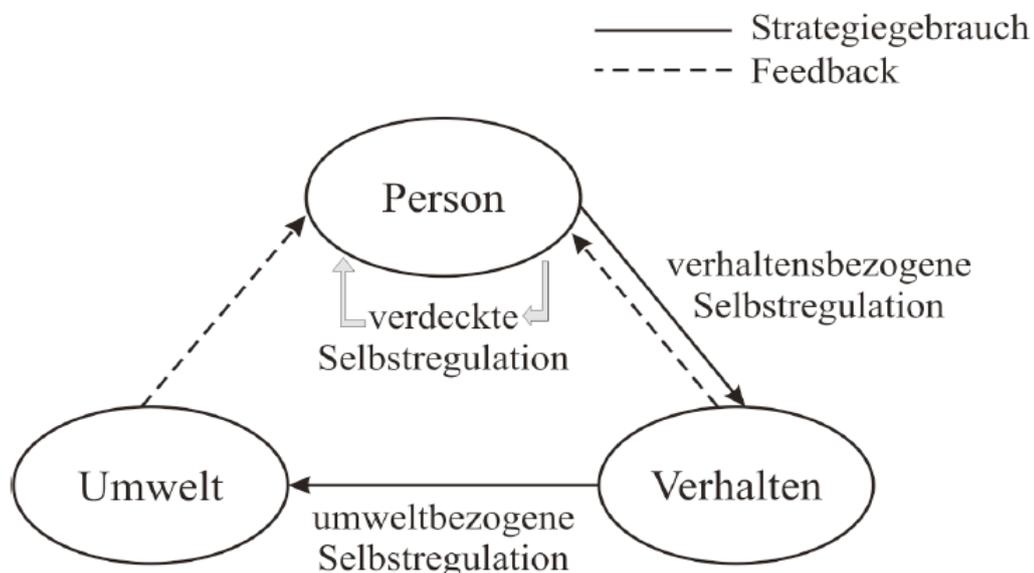


Abbildung 3: Wechselseitiger Einfluss der Teilbereiche der Selbstregulation nach Zimmerman (1989a), in der deutschen Übersetzung von Hasselhorn & Labuhn (2008). Zimmerman (1989a) verwendet statt „Feedback“ die Bezeichnung „enactive Feedback“, was die Verbindlichkeit dieses Feedbackprozesses noch einmal betont (Anm. d. Verf.).

Damit bezieht Zimmerman den Einfluss des handelnden Individuums auf seine Umwelt und die Rückkopplung dieser Effekte (internes und externes Feedback) mit ein. Neben

den Metakognitionen, die für die Selbstregulation eine zentrale Rolle spielen, hängt der Erfolg des SRL von Überzeugungen (z.B. Selbstwirksamkeitserwartungen) und affektiven Reaktionen wie Zweifel und Ängsten bezüglich bestimmter Aufgaben oder Kontexte ab (Zimmerman, 1995b). Insofern unterscheidet sich diese Sichtweise von metakognitiven Ansätzen, in welchen häufig in erster Linie Wissen und das Verständnis bestimmter Sachverhalte sowie die Reflexion darüber hervorgehoben werden.

Die Beobachtung des Prozesses (*monitoring*) erfolgt im Modell über drei Rückkopplungsschleifen, die jeweils „Ist-Soll“-Abgleiche beinhalten:

Verhaltensbezogene Selbstregulation bezieht sich auf die Selbstbeobachtung und die Auswahl und Anwendung adäquater Strategien (z.B. Lernstrategien oder -methoden).

Umweltbezogene Selbstregulation umfasst das Registrieren und Anpassen von Kontextfaktoren oder -einflüssen (z.B. Einstellung der richtigen Schriftgröße am Computerbildschirm, Regulieren des Lärmpegels am Arbeitsplatz).

Verdeckte Selbstregulation („covert selfregulation“, Zimmerman, 2000) bezieht sich auf die Beobachtung und die Modifikation kognitiver und affektiver Zustände (z.B. das Wahrnehmen von Stress und die Suche nach Entspannung als Reaktion darauf).

Diese drei Rückkopplungsschleifen werden als *offene Feedback-Systeme* betrachtet, da sie offene Rückkopplungsschleifen beinhalten und darüber hinaus durch herausfordernde Aufgaben Diskrepanzen auch temporär proaktiv vergrößert werden können. Dies ist etwa durch eine Erhöhung der persönlichen Zielvorstellungen oder die Wahl stärker herausfordernder Aufgaben möglich (Zimmerman, 2000). Die Art und Weise, wie Lernende mit negativen Diskrepanzen (wenn der Bewertungsstandard die tatsächliche Leistung übersteigt) umgehen, hängt von kontext- und personenspezifischen Faktoren ab: Manche Personen entwickeln als Reaktion bessere Strategien und intensivieren ihre Anstrengung um internen Standards zu entsprechen, andere reduzieren die Höhe dieser Standards und wieder andere halten an eigenen hohen Ansprüchen fest, verlieren aber ihre Motivation angesichts steigender Mutlosigkeit bei Misserfolg (siehe Labuhn, 2008, S. 7).

Dem Modell von Zimmerman zufolge verlaufen die Phasen des SRLs eher zyklisch als sequenziell und interagieren miteinander, so dass eine ständige Anpassung des Lernpro-

zesses möglich ist. Wichtig ist hierbei das Monitoring, über das der Lernprozess stetig überwacht wird und bei Schwierigkeiten oder ausbleibendem Erfolg eine Veränderung des Verhaltens gesteuert werden kann. Solche Anpassungen werden nötig, da personen- und verhaltensbezogene sowie umweltbedingte Faktoren interagieren und während der Aufgabenbearbeitung einer ständigen Veränderung unterliegen.

3.2.1 Selbstwirksamkeitserwartung

Ausschlaggebend für die Art und Richtung der Reaktion im Rahmen eines selbstregulierten Lernprozesses ist die kontextspezifische Selbstwirksamkeitserwartung einer Person, d.h. ihre Überzeugung bezüglich ihrer Fähigkeit eine bestimmte Aufgabe letztendlich erfolgreich zu bewältigen.

Bandura (1997, S. 37) definiert "Selbstwirksamkeitserwartung" mit folgenden Worten: „Perceived self-efficacy is concerned not with the number of skills you have, but with what you believe you can do with what you have under a variety of circumstances“.

Selbstwirksamkeitserwartung kann im schulischen Kontext auch als erlernte Kompetenzerwartung verstanden werden, die aus Lernerfahrungen, Überzeugungssystemen und Selbstwahrnehmungen resultiert (vgl. Schaper, 2004). Das Ausmaß, zu dem man glaubt, in einer spezifischen Situation etwas ausrichten zu können, hängt nicht nur vom Ausmaß der eigenen Fähigkeiten ab, sondern auch von der Situation selbst. Selbstwirksamkeitserwartungen sind folglich kontextspezifische Überzeugungen, die eine zentrale Grundvoraussetzung der Motivation, der Leistungsfähigkeit und -bereitschaft von Personen darstellen.

3.2.2 Monitoring

Unterschiedliche Modelle zum SRL stimmen nach Lan (1998) darin überein, dass sie dem Monitoring, also dem Selbstbeobachten des Lernens und dem Abgleich zwischen der Ist- und der Soll-Situation, eine besondere Bedeutung im Rahmen der Selbstregulation zuschreiben. Monitoring ermöglicht es dem Lerner, Schwierigkeiten oder ausbleibenden Erfolg zu entdecken und durch Verhaltensveränderung darauf zu reagieren.

Azevedo (2005) sieht als wichtigstes Merkmal erfolgreich Lernender, dass diese ihr Lernen dadurch regulieren, dass sie signifikant mehr metakognitives Monitoring betrei-

ben und mehr Strategien benutzen. Gute metakognitive Fähigkeiten, wie adäquates Monitoring, fördern demzufolge den Lernprozess und somit die Lernergebnisse (vgl. Azevedo et al., 2004a; Veenman, Elshout & Meijer, 1997).

Durch das Monitoring gewinnen Lernende somit Informationen über die gegenwärtige Situation, welche mit Informationen zum gewünschten Zielzustand zusammengebracht werden. Diskrepanzen zwischen dem Ist- und dem Soll-Zustand werden dadurch für die Lernenden erkennbar. Das Monitoring dient auch dazu, den Fortschritt bei einer Aufgabe zu bewerten. Es hilft zudem bei der Steuerung, welche weiteren strategischen Entscheidungen zu treffen sind (vgl. Winne, 1996).

Die Informationen über den Ist-Zustand resultieren beim Monitoring meist aus internen Feedbackprozessen. Durch interne metakognitive Prozesse generieren Lernende sich somit selbst das Feedback, welches im Prozess des SRLs gerade benötigt wird.

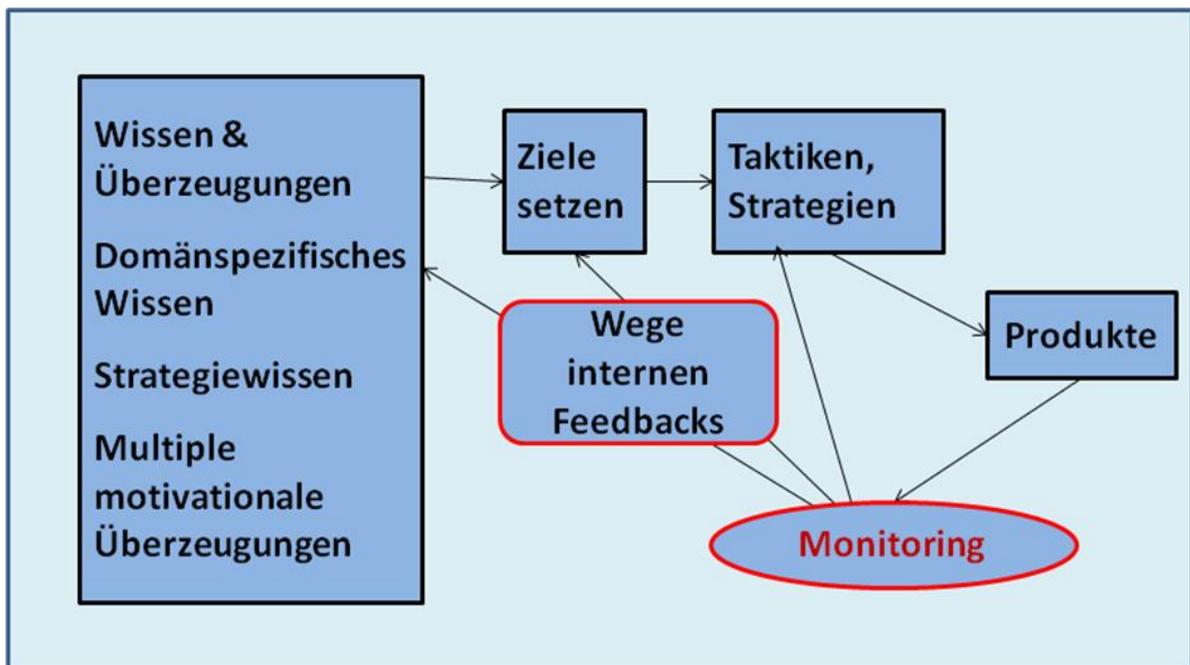


Abbildung : Wege internen Feedbacks beim Prozess des SRL (nach Butler und Winne, 1995)

Diese internen Feedbackprozesse beinhalten zum einen, dass der Lerner seinen Erfolg bezüglich der gesetzten Ziele beurteilt. Zum anderen werden die Strategien und Taktiken auf ihre Effektivität hin beurteilt. Das Monitoring sorgt folglich dafür, falschen Vorstellungen über eine Lernaufgabe vorzubeugen oder das gegenwärtige Verständnis zu korrigieren (Chi et al., 1989).

Der Monitoring-Prozess, also das Selbstbeobachten des Lernens und der Abgleich zwischen der Ist- und der Soll-Situation, stellt jedoch hohe kognitive und motivationale Anforderungen an die Lernenden. So können diese in der entsprechenden Situation mit der Selbsteinschätzung der internen Prozesse auch überfordert sein und Schwierigkeiten haben, die Lage richtig einzuschätzen. Dadurch ist es möglich, dass das interne Feedback keine adäquaten Informationen liefert und den Lernenden im Prozess des SRL nicht voranbringt. Erfolgreiche selbstreguliert Lernende suchen daher Feedback von außen, wenn sie Schwierigkeiten dabei wahrnehmen, sich selbst angemessenes Feedback zu geben. Die Suche nach externem Feedback ist insbesondere dann sinnvoll, wenn das Ergebnis des internen Feedbacks eine Diskrepanz zwischen der gegenwärtigen und der gewünschten Leistung hervor gebracht hat. Externes Feedback liefert somit wertvolle Informationen, die nicht selbst generiert werden können.

3.3 Herausforderungen des selbstregulierten Lernens beim Experimentieren

Beim Experimentieren können Lernende ihr Wissen effektiv dazu einsetzen, Versuche proaktiv zu planen und durchzuführen, die zum Erwerb von neuem Wissen und damit zur Erkenntnisgewinnung beitragen. Das geschieht u.a. durch die Integration des neu Gelernten in bestehende Wissensstrukturen (Vorwissen). Dies bringt jedoch auch einige Herausforderungen an die Lernenden mit sich. Dazu gehören u.a. das Konstruieren von Hypothesen, das Interpretieren der empirischen Daten zur Überprüfung dieser Hypothesen und die Anforderung, die die Regulation des SRL mit sich bringt. Dies erfordert Wissen über die notwendigen Prozesse beim SRL durch Experimentieren (siehe Kapitel 2.3) und Strategiewissen sowie metakognitive Fähigkeiten, um die Ergebnisse zu bewerten, zu überdenken und zu überarbeiten. Solch eine durch die Lernenden kontrollierte, selbstregulierte Lernsituation stellt folglich hohe kognitive und metakognitive Anforderungen (Veenman et al., 1994). Zumindest für Schüler mit wenig Vorwissen ist es daher schnell überfordernd, die neuen Informationen auf sich allein gestellt aufzubereiten und zu verarbeiten (ebd.).

Wirth et al. (2006) nennen drei Merkmale, die für einen erfolgreichen selbstgesteuerten Lernprozess beim Experimentieren relevant sind:

1. Selbstreguliertes Lernen ist ein zyklischer und zielgerichteter Prozess, der durch die Auswahl, Durchführung und Regulation von Strategien gestaltet wird.
2. Der Lerner beobachtet, bewertet und reguliert (Schreiber, 1998) den Lernprozess kontinuierlich nicht nur auf der Makro-, sondern insbesondere auch auf der Mikroebene.
3. Selbstreguliertes Lernen vollzieht sich unter sich kontinuierlich verändernden Bedingungen: Zum einen verändert sich das Wissen des Lerners, zum anderen verändert sich bei dynamisch-interaktiven Lernumgebungen die Lernsituation in Abhängigkeit von den Handlungen des Lerners (S. 121f.).

Insbesondere der letzte Punkt hebt die Besonderheit des SRL durch Experimentieren im Vergleich zu anderen Formen des SRL (z.B. Lernen mit Texten) hervor. Aufgrund dieser kontinuierlichen Veränderungen erscheint es beim SRL durch Experimentieren umso wichtiger, den Lernprozess kontinuierlich zu beobachten und zu überwachen, wie es im Monitoring-Prozess des SRL passiert.

Beim Monitoring-Prozess weisen Schüler nach Manlove et al. (2007) vorwiegend drei Probleme auf. Erstens erkennen die meisten gar nicht, wenn sie etwas nicht verstanden haben und nehmen häufig auch nicht die Hinweise der Umwelt wahr, die ihnen Feedbackansätze für das Monitoring liefern würden (vgl. Chi et al., 1994; Davis & Lin, 2000; Ertmer & Newby, 1996). Somit arbeiten sie nicht effektiv, wenn sie analysieren, was sie nicht verstanden haben. Häufig sind sie dabei zu selbstsicher in ihren Selbstbeurteilungen und unterliegen einer Illusion über ihre Kompetenz, die sie daran hindert, Lücken in ihrem Wissen zu erkennen (vgl. Chi et al., 1989; Davis, 2003). Zweitens, selbst wenn Schüler erkennen, dass sie etwas nicht verstehen, können sie nicht detailliert ausdrücken, was genau sie nicht erkennen und erfassen können. Drittens, auch wenn es keinerlei Schwierigkeiten mit dem Erkennen der genauen Verständnisprobleme oder Fehler gibt, fehlen häufig die richtigen Strategien, um diese Probleme beheben zu können (vgl. Schraw, 1998).

Ähnliche Probleme zeigen sich auch bei der Evaluationsphase des SRL. Schüler sind sich nicht bewusst, worauf sie beim Bewerten ihres Lernprozesses und ihrer Lernergebnisse achten sollten und reflektieren beispielsweise kaum darüber, wie Versuchsaufbau

und methodische Aspekte mit der Forschungsfrage zusammenhängen (Schauble et al., 1991a, vgl. Marschner, 2011, S. 33).

SRL Lernen beim Experimentieren setzt die Fähigkeit voraus, einen Lernprozess zu beginnen und weiterzuführen. Zudem beinhaltet es, das eigene Lernen im Experimentierprozess durch effizientes Zeit- und Informationsmanagement zu steuern. Dazu gehört insbesondere neben der angemessenen Problemlösung im Rahmen des Experiments, das eigene Lernen zu organisieren, es auf Basis von internem Feedback zu überwachen und schließlich den Erfolg zu bewerten, um die weitere Vorgehensweise zu planen (siehe Kapitel 3.2.2 Monitoring). Als Unterstützung dieses Prozesses ist Feedback von außen notwendig, damit der interne Prozess des Lernens auf externe Ziele und Standards abgestimmt werden kann.

3.4 Feedback und SRL

Feedback ist ein wesentlicher Bestandteil der Selbstregulation beim Lernen. Dabei spielt sowohl internes als auch externes Feedback eine Rolle. In Modellen zum SRL wird internes Feedback vom Lerner selbst durch einen „inneren Dialog“ beim Monitoring-Prozess zu Strategieauswahl und -anwendung erzeugt (Butler & Winne, 1995; Narciss, 2006; vgl. Kapitel 3.1, SRL-Modelle).

Die Integration von internem Feedback in Monitoring-Prozesse stellt jedoch eine hohe Anforderung an den Lerner dar, da hierbei viele Faktoren und Prozesse berücksichtigt werden müssen, die zum Teil auch unbewusst ablaufen.

Externes Feedback kann diesen Prozess von außen unterstützen. Wird dem Lernenden Feedback gegeben, kann dieses das interne Feedback bestätigen, ergänzen oder ihm widersprechen und es so überschreiben oder restrukturieren (Butler & Winne, 1995; Narciss, 2006; van den Boom et al., 2004). Winne (1996) beschreibt Feedback beim SRL in Anlehnung an Carver und Scheier folgendermaßen: “In SRL, feedback, whether self-generated or externally provided, is information that updates a task’s status and that metacognitive monitoring compares to the learner’s model of task and self” (Carver & Scheier, 1990, S.347). Folglich kann externes wie internes Feedback dazu benutzt wer-

den, die Leistung gegenüber den gesetzten Zielen zu evaluieren (Kluger & DeNisi, 1996).

Idealerweise ergänzt und präzisiert das Feedback von außen die internen Feedbackprozesse. Dabei bestimmt die Übereinstimmung von internem und externem Feedback und der Umgang der Lernenden mit möglichen Diskrepanzen, wie gut externes Feedback wirkt. Wir sind eher bereit uns mehr anzustrengen, wenn das Ziel klar vor Augen ist, wenn das Commitment sichergestellt ist und der Lerner fest an einen möglichen Erfolg glaubt (vgl. Kluger & DeNisi, 1996, S. 260). Dabei könnte die Art des Feedbacks den Umgang mit auftretenden Diskrepanzen beeinflussen. Lernförderliche Diskrepanzen beruhen darauf, dass Lernende wahrnehmen, dass sie selbst nicht in der Lage sind, sich selbst angemessenes Feedback zu generieren. Hinderlich sind hingegen jene Diskrepanzen, die daraus entstehen, dass sich das externe Feedback nicht adäquat auf die vorangegangenen Lern-Handlungen bezieht, was bei nichtadaptivem Feedback schnell zutreffen kann.

Beim Beobachten ihrer Leistung schätzen Lernende ihren Lernfortschritt oft falsch ein (Zimmerman, 1998; Jacobs & Dempsey, 1993). Die richtige Kompetenzwahrnehmung der Lernenden ist beim SRL jedoch besonders wichtig, damit sie ihr zukünftiges Lernen richtig beurteilen können (Hofer et al., 1998). Gerade Lernende mit wenig Vorwissen und wenig Erfahrung im SRL haben hierbei noch viel Wachstumspotential. So beurteilen diese ohne externe Hilfe möglicherweise vieles als richtig, was eigentlich falsch ist. Metakognitive Strategien mit Regulationsfunktion helfen beim Entdecken und Korrigieren von Fehlern (vgl. Marschner, 2010, S. 56). Dieses kann allein selbstgesteuert, aber auch durch Rückmeldung von außen geschehen (Brown, 1984). Die akkurate Selbstwahrnehmung kann folglich durch externes Feedback unterstützt werden, um Über- und Unterschätzung vorzubeugen. Externes Feedback kann insbesondere Novizen (unerfahrene selbstregulierte Lerner) durch die überwachende und anleitende Funktion unterstützen. Gerade zu Beginn des selbstregulierten Lernprozesses, bevor die Lerner ihre Fertigkeiten, sich selbst Feedback zu geben, verfeinern und schließlich völlig selbstgesteuert lernen (Brown, 1984; Dempsey et al., 1993; Zimmerman, 1998), kann dies von entscheidender Bedeutung sein.

4. Lernprozesse und Persönlichkeit

Das sozial-kognitive Prozessmodell von Zimmerman (2000a, 2000b) bietet den theoretischen Ausgangspunkt für diese Arbeit, da hierin der durch Feedback gesteuerte Lernprozess im Mittelpunkt steht. Ein zentraler Bestandteil der Theorie ist die Feststellung, dass die Welt und das Verhalten eines Menschen sich gegenseitig erzeugen. Bandura (1977, 1986) nennt dies das Konzept des *reziproken Determinismus*. Dieser beruht auf der Annahme, dass

1. persönliche Faktoren in Form kognitiver, emotionaler und physiologischer Aspekte,
2. Verhalten und
3. Umwelteinflüsse, wie etwa das soziale Umfeld, interagieren und reziprok Einfluss aufeinander ausüben.

Die Kernaussage dieses Konzeptes formuliert Bandura (1986, S. 454) wie folgt: „Behavior is, therefore, a product of both self-generated and external sources of influence“. Aus Sicht der sozial-kognitiven Perspektive wird der Mensch somit als proaktiv und reflektierend gesehen. Folglich sind Lernende keine reaktiven Wesen, die primär von äußeren Einflüssen gesteuert oder von inneren Impulsen getrieben werden. Individuen sind demnach sowohl aktiv Gestaltende als auch Produkte ihrer Umwelt und des sozialen Systems, in dem sie leben (Pajares, 2008).

Als Resultat dieser Sichtweise auf die Lernenden folgte die Idee, Unterrichtsinhalte zur Verbesserung des Lernerfolgs an die jeweiligen Lerner-Voraussetzungen anzupassen. Besonders in der Instruktionspsychologie der sechziger und siebziger Jahre fand diese Idee viel Beachtung. Cronbach (1957) prägte für diesen Forschungsbereich den Begriff der „Aptitude-Treatment-Interaction“. Dessen Forschungsgegenstand ist die Wechselwirkung (interaction) von individuellen Lernervoraussetzungen, also Merkmalen der lernenden Person (aptitudes), und der eingesetzten Lehrmethode (treatment) (vgl. Staemmler, 2006).

4.1 SRL und Persönlichkeit

Im Prozess des SRLs hat der Lernende selbst Einfluss auf seinen Lernprozess (vgl. Zimmerman, 2000a, 2000b). Aus einer sozial-kognitiven Perspektive betrachtet, sind neben sozialen Einflüssen und anderen Gegebenheiten, auf die Lernende keinen Einfluss haben, auch interindividuelle Unterschiede in der Persönlichkeit des Lernenden relevant.

Eine Lernervoraussetzung ist somit die Persönlichkeit. Heute wird zumeist für Persönlichkeit die Definition von Asendorpf (2007) herangezogen: „Unter Persönlichkeit versteht man die Gesamtheit derjenigen Merkmale eines Menschen, die (relativ) individuell und (relativ) zeitstabil sind.“ Das Ziel von Persönlichkeitstheorien besteht somit darin, die grundlegenden Dimensionen, in denen sich Menschen voneinander unterscheiden, zu bestimmen und zu beschreiben. Solche Eigenschaften sind bei allen Menschen vorhanden, jedoch in den unterschiedlichsten Ausprägungen. Sie bestimmen Gedanken, Gefühle, Einstellungen und Verhaltensweisen und ermöglichen die vergleichende Beschreibung und Charakterisierung einzelner Personen (Backhaus, 2004).

Abbildung 4 stellt die Beziehungen zwischen den einzelnen Faktoren im Rahmen seines psychologischen Erklärungsmodells dar (2004): Dabei wirken sich sowohl die Erbanlagen als auch erlernte Bewertungen und Reaktionen auf die Persönlichkeit eines Menschen aus. Die Persönlichkeit hat dabei jedoch wiederum einen Einfluss darauf, welche Bewertungen und Reaktionen erlernt werden.

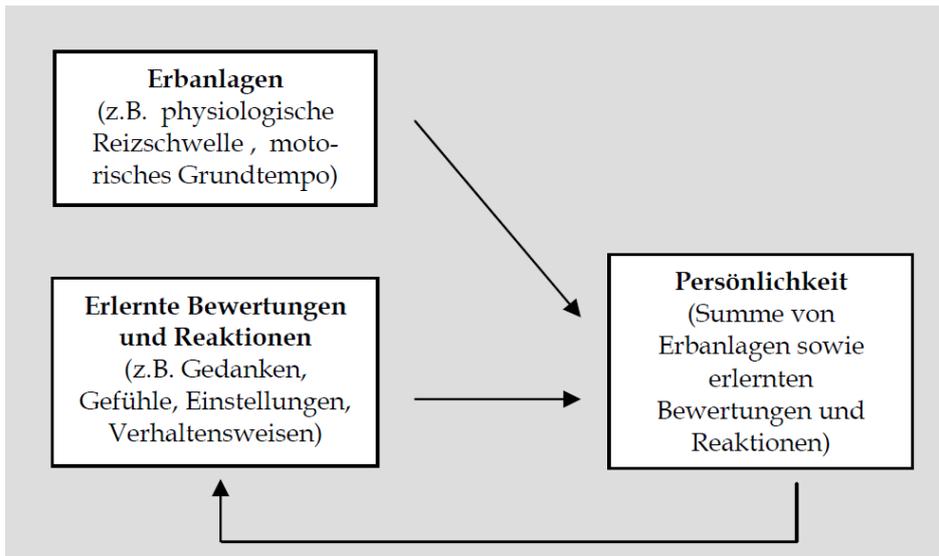


Abbildung 4: Psychologischer Erklärungsmodell (Backhaus, 2004)

Gorden W. Allport, der sich bereits in den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts mit der Definition des Konstrukts „Persönlichkeit“ befasste, zählte fünfzig Bedeutungskomponenten auf (Allport, 1949) und bezeichnete Persönlichkeit selbst als „die dynamische Ordnung derjenigen psychophysischen Systeme im Individuum, die seine einzigartigen Anpassungen (adjustments) an seine Umwelt bestimmen“ (Allport, 1949).

Allgemein kann Persönlichkeit somit als die bei jedem Menschen einzigartige Kombination der Ausprägungen von zentralen Eigenschaften definiert werden.

4.2 Big Five

In der empirischen Persönlichkeitspsychologie ist seit Ende des 20. Jahrhunderts das faktorenanalytisch begründete Modell zu psychischen Persönlichkeitsmerkmalen dominierend, in welchem fünf diskrete Persönlichkeitsdimensionen („Big Five“) genannt werden (vgl. Bartussek, 1996):

1. Extraversion,
2. Verträglichkeit,
3. Gewissenhaftigkeit,
4. emotionale Stabilität vs. Neurotizismus und
5. Offenheit für Erfahrungen.

Entsprechend des Big-Five-Modells stellen alle existierenden Persönlichkeitsmaße Teile oder Kombinationen dieser fünf Dimensionen dar. Die „Big Five“ gelten daher als große Errungenschaft der Persönlichkeitspsychologie, weil das Big-Five-Modell keine Theorie im eigentlichen Sinne, sondern das Produkt eines datengeleiteten, explorativen Vorgehens mit Post-Hoc-Theoriebildung darstellt (vgl. Block, 1995).

4.2.1 Beschreibung der einzelnen Dimensionen der „Big-Five“

Auf der Grundlage dieses Modells entwickelten Paul T. Costa und Robert R. McCrae mit dem NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI) einen heute international gebräuchlichen Persönlichkeitstest für Jugendliche und Erwachsene. Die deutschen Versionen der NEO-Instrumente wurden von der Forschergruppe um Angleitner, Ostendorf und Borkenau (Borkenau & Ostendorf, 1993) konzipiert. Nach Aussage der Autoren wurden dabei „sinngemäße Übersetzungen streng am Wortlaut orientiert“ vorgenommen. Dabei sind in der deutschen Version des NEO-FFI 60 Items entstanden, welche auf fünf faktorenanalytisch gefundene Skalen laden: Extraversion, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit, Neurotizismus, und Offenheit für Erfahrung. Die Items sind in Form von Aussagen formuliert, die fünfstufig nach dem Grad der Zustimmung (starke Ablehnung / Ablehnung / neutral / Zustimmung / starke Zustimmung) beurteilt werden. Die Items sind zum Teil positiv, zum Teil negativ gepolt. Alle Items gehen in jeweils eine Skala ein; pro Skala wird ein Summenwert gebildet.

Auf der inhaltlichen Ebene beschreiben Borkenau und Ostendorf (1993) die Skalen der „Big Five“ folgendermaßen:

- Personen mit hohen Werten in **Extraversion** sind gesellig, aktiv, gesprächig, herzlich, optimistisch und heiter. Sie mögen Anregungen und Aufregungen.
- Personen mit hohen **Verträglichkeit**werten sind altruistisch, mitfühlend, verständnisvoll und wohlwollend. Sie neigen zu Nachgiebigkeit, haben ein starkes Harmoniebedürfnis.
- **Gewissenhaftigkeit** unterscheidet ordentliche, zuverlässige, hart arbeitende, disziplinierte, pünktliche, ehrgeizige und systematische von nachlässigen und gleichgültigen Personen.

- Personen mit hohen **Neurotizismus** Werten neigen dazu, nervös, ängstlich, traurig, unsicher und verlegen zu sein. Sie machen sich Sorgen um ihre Gesundheit und neigen zu unrealistischen Ideen, sind weniger in der Lage, ihre Bedürfnisse zu kontrollieren und auf Stresssituationen angemessen zu reagieren.
- Personen mit hohen Werten in **Offenheit für Erfahrung** bevorzugen Abwechslung, sind wissbegierig, kreativ, phantasievoll und unabhängig in ihren Urteilen. Sie haben vielfältige kulturelle Interessen und interessieren sich für öffentliche Ereignisse.

Das NEO-FFI erhebt den Anspruch, der „Wahrnehmung und Beobachtung individuell beobachteter Unterschiede“ (Borkenau & Ostendorf, 1993, S. 10) zu dienen, die Skalen sollen robuste Dimensionen darstellen. Es sollen weder wie von Cattell gefordert, dezidierte Verhaltensvorhersagen aufgrund der Traits getroffen werden, noch sollen die grundlegenden Persönlichkeitsdimensionen identifizierbare physiologische Korrelate besitzen, wie von Eysenck vorgeschlagen (Klimesch, 2009).

Eine gute Zusammenstellung der bisher belegten empirischen Zusammenhänge zwischen den fünf Persönlichkeitsdimensionen und wichtigen inhaltlichen Kriterien findet man bei Rammstedt et al. (2005). Dabei interessiert uns für die vorliegende Studie insbesondere die Beschreibung der Dimension Gewissenhaftigkeit:

Nach Rammstedt et al. (2005) geht *Gewissenhaftigkeit* insbesondere mit erhöhtem Kontrollerleben einher (z.B. Morrison, 1997), beispielsweise in Bezug auf aufgabenspezifische Selbstwirksamkeit (z.B. Martocchio & Judge, 1997). Erhöhtes Kontrollerleben trägt zur Initiierung wie zur Persistenz bei zielbezogenen Anstrengungen bei (Bandura, 1991). Gewissenhafte Personen erleben zudem mehr positiven Affekt (Watson & Clark, 1992; vgl. McCrae & Costa, 1991 ; Schmutte & Ryff, 1997).

4.2.2 Kompetenz und Persönlichkeit

Bei dem Konstrukt Persönlichkeit handelt es sich um relativ situationsübergreifende und zeitlich stabile individuelle Merkmale. Kompetenzen sind laut Hartig und Klieme (2006) hingegen erlernbar und gelten zudem als situationsspezifisch und veränderlich, wobei für die Entstehung von Kompetenz selbst organisierte Lernprozesse essentiell sind. Kompetenz und Persönlichkeit sind somit zwei unterschiedliche Konstrukte, die jeweils Einfluss auf den individuellen Lernprozess einer Person haben. So spricht

Baitsch (1996) von Kompetenz als Merkmal der Persönlichkeit, welches ein System innerpsychischer Voraussetzungen schafft, das sich schließlich in der Qualität sichtbarer Handlungen niederschlägt und diese reguliert. Lang-von Wins (2003) ist der Auffassung, dass Persönlichkeitsmerkmale Annahmen darüber zulassen, wie sich Personen in bestimmten Situationen verhalten würden und in welcher Weise sie ihre Kompetenzen verwenden und/oder weiterentwickeln werden (vgl. Klimesch, 2009, S.37).

5. Feedback als Instruktionsmethode zur Unterstützung von Kompetenzerwerb

In Kapitel 2 wurde gezeigt, dass Experimentieren als Möglichkeit der Erkenntnisgewinnung ein komplexer Problemlöseprozess ist. Feedback kann diesen Prozess unterstützen und dadurch zu einem wichtigen Faktor für erfolgreiches Lernen werden – vorausgesetzt, dass es richtig eingesetzt wird.

5.1 Feedback als Methode zum Aufbau von negativem Wissen

5.1.1 Feedback

Feedback wird definiert als Information, die einer Person als Rückmeldung auf ihr eigenes Handeln und während bzw. nach einem Prozess oder Prozessschritt gegeben wird, um regulierend auf Prozess- oder Prozessschritt-Ebene einzuwirken (Narciss, 2006). Hattie und Timperley (2007, S. 81) zufolge ist Feedback die „Konsequenz“ einer Leistung. Feedback kann daher ganz unterschiedlich aussehen: Es kann von unterschiedlichen Personen oder anderen Quellen (z.B. Lehrern, Mitschülern, Büchern, selbst gemachte Erfahrungen...) gegeben werden und bezieht sich jeweils auf Aspekte des Handelns oder Verstehens einer Person. Feedback wird folglich durch die Informationen definiert, die während oder nach der Bearbeitung von Aufgaben von einer externen Informationsquelle dargeboten werden (Hattie & Timperley, 2007). Feedback kann positive Effekte auf Performanz und Motivation haben, da es als Bestätigung korrekter Antworten, als Korrektur falscher Antworten oder als Anreiz dienen kann, ein bestimmtes Ergebnis zu erreichen (Kulhavy & Wager, 1993; Narciss, 2006). Prinzipiell geht man davon aus, dass Rückmeldung zu einer Anpassung von Verhalten an ein vorgegebenes Ziel führt (Kulhavy, 1977). Auch in Meta-Analysen konnte Feedback als essenzielle Einflussgröße effektiver Lehr-/Lernprozesse identifiziert werden (Bangert-Drowns, Kulik, Kulik & Morgan, 1991; Kluger & DeNisi, 1996). Zusammenfassend zeigen empirische Befunde eine positive Auswirkung von Feedback auf die Leistung von Lernenden, (1) wenn die Rückmeldung eine Lücke zwischen Ist- und Sollzustand verdeutlicht und dadurch zur richtigen Aufgabenlösung beiträgt, (2) wenn durch die Rückmeldung die kognitive Belastung reduziert wird, sowie (3) wenn ungünstige Strategien bei der Auf-

gabenlösung verändert werden (Bangert-Drowns et al., 1991; Black & Wiliam, 1998; Hattie & Timperley, 2007; Kluger & DeNisi, 1996; Mory, 2004; Shute, 2008).

In der Feedback-Forschung wird zwischen positivem und negativem Feedback unterschieden: Positives Feedback gibt Rückmeldungen darüber, was gut gelaufen ist, negatives Feedback bezieht sich auf die Herausforderungen, die es noch zu bewältigen gibt. Es ist besonders deshalb nützlich, weil es auf Defizite im Sinne von Ist-Soll-Diskrepanzen hinweist und somit hilft, diese zu überwinden (siehe auch Kluger & DeNisi, 1996). Diese beiden Arten der Rückmeldung können sich wiederum auf ganz unterschiedliche Aspekte und Dimensionen der gezeigten Leistung beziehen.

Kluger und DeNisi (1996) stellen fest, dass sowohl positives als auch negatives Feedback lernförderlich sein kann. Hattie und Timperley (2007) vermuten sogar, dass nicht die Art des Feedbacks (positiv oder negativ) entscheidend für den Lernerfolg sei, sondern lediglich das Level (die Ebene, auf welcher das Feedback gegeben wurde) verarbeitet wird. Unstrittig ist hingegen, dass die Art der Rückmeldung einen Einfluss auf die Motivation der Lernenden und deren Lernerfolg hat (u.a. Deci & Ryan, 1993)

5.1.2 Negatives Wissen

Unter negativem Wissen versteht man das Wissen, „wie etwas nicht ist“ (Oser & Spychiger, 2005). Das Ziel von negativem Feedback ist der Aufbau von negativem Wissen. Es beinhaltet somit das Wissen darüber, was falsch ist bzw. was wir nicht tun sollten. Das Wissen über Fehler und falsche Tatbestände impliziert in vielen Fällen die richtige Lösung und ähnelt damit dem deklarativen Wissen (dem Wissen über Fakten, Zusammenhänge und gedankliche Konzepte). Oser und Spychiger (2005) definieren *Wissen* und *negatives Wissen* als zwei Seiten einer Medaille, die bestimmen, wie wir die Welt sehen, wobei negatives Wissen dabei ebenso bedeutsam sei, wie positives Wissen. Durch negatives Wissen erkennen wir (Oser & Spychiger, 2005):

1. Was etwas nicht ist (deklaratives negatives Wissen).
2. Wie etwas nicht funktioniert (prozedurales negatives Wissen).
3. Welche Strategien nicht zur Lösung eines Problems führen (strategisches negatives Wissen).

4. Welche Konzepte bzw. Theorien nicht stimmen (konzeptuelles negatives Wissen).

Negatives Wissen entsteht dabei durch Fehler und durch die dadurch verursachten Konstruktions- und Abgrenzungsprozesse. Um dieses Wissen aufzubauen ist der richtige Umgang mit Fehlern von entscheidender Bedeutung. Der Umgang mit Fehlern ist jedoch immer abhängig von der vorherrschenden Fehlerkultur.

5.1.3 Der Umgang mit Fehlern: Fehlerkultur

Internationale Schulvergleichsuntersuchungen (z. B. die TIMS-Videostudie; Baumert et al. 1997) zeigen große Unterschiede zwischen den Ländern im Hinblick auf die Fehlerkultur. Während Lehrende in Deutschland und den USA von ihren Schülern die eine „richtige Lösung“ und den „richtigen Lösungsweg“ einfordern, zeichnet sich der Unterricht etwa in Japan durch einen gänzlich anderen Unterrichtsaufbau aus. Die Lernenden dort werden ermuntert, Lösungswege selbst zu entwickeln, Alternativen zu suchen, falsche und richtige Wege zu gehen und durch Vergleiche falsche Lösungswege von richtigen zu unterscheiden. Im internationalen Leistungsvergleich lagen die Leistungen der japanischen Schüler deutlich höher als die der deutschen.

In einer allgemein gehaltenen Definition bezeichnen Oser et al. (1999) *Fehler* als einen von der Norm abweichenden Sachverhalt oder Prozess. Ausgehend von der Prämisse, dass Fehler ein integraler Bestandteil des Lernprozesses sind und das Vermeiden von Fehlern Lernprozesse behindert, fordern Spychiger et al. (1999) den Aufbau einer positiven Fehlerkultur in der Schule. Konzeptuell definiert Wehner (1992) Fehlerfreundlichkeit als:

1. optimistisch aufklärerische Haltung, welche die bewusste Hinwendung zum Fehler – und nicht die Abwendung – zum Ziel hat,
2. die Wirksamkeit eines Prinzips, das der aktiven Handlungskontrolle von Fehlerkonsequenzen – statt nur der Vermeidung oder Korrektur – dient, und
3. als Das-zur-Verfügung-Stellen von situativen Lernmöglichkeiten und Aneignungschancen, in welchen a) unerwünschte Konsequenzen (anhand technischer Vorkehrungen) harmlos gehalten und b) der Zeitpunkt sowie die Korrekturmaßnahmen vom Handelnden bestimmt werden.

Während Fehler in den Augen der behavioristischen Lerntheoretiker lediglich unerwünschtes Verhalten darstellten, dessen Wahrscheinlichkeit des Auftretens durch negative Konsequenzen wie Bestrafungen oder den Wegfall von Belohnungen verringert werden sollte, werden Fehler heute oftmals als Lerngelegenheiten wahrgenommen. Insbesondere im computerbasierten Lernarrangement hat man die Möglichkeit, auf typische Fehler der Lernenden konkret Bezug zu nehmen und dadurch aus Fehlern im Rahmen eines kontinuierlichen Prozesses systematisch Lernchancen erwachsen zu lassen.

Hattie und Timperley (2007, S. 103) beschreiben Fehlerkultur als einen professionellen Umgang mit Feedback: „It should be clear that providing and receiving feedback requires much skill by students and teachers.“ Dabei betonen die beiden, dass Feedback keine Stimulus-and-Response-Routine darstellt, sondern vielmehr ein positives Klassenklima erfordere. Diese Lernatmosphäre mache es möglich, mit der Komplexität von Beurteilungen und dem tiefen Verständnis des Lernstoffs umzugehen, Feedback über Aufgaben und Beziehungen zwischen Ideen zu vermitteln und schließlich die Selbstregulation der Lernenden zu unterstützen. Dabei sei es besonders wichtig, dass Lehrende sich im Unterricht rechtzeitig Zeit dafür zu nehmen, adäquate Rückmeldungen zu geben, bevor die Lernenden vom ausbleibenden Lernerfolg frustriert sind. Hattie & Jaeger (1998) zufolge müssen die Prioritäten im Unterricht daher neu verteilt werden, so dass genügend Zeit und Energie dafür bleibt, den Lernenden angemessene Rückmeldungen geben zu können.

Jedoch betonen Hattie und Timperley (2007), dass Lernen und der Umgang mit Feedback nicht als „Einbahnstraße“ gesehen werden sollte: „Learning can be enhanced to the degree that students share the challenging goals of learning, adopt self-assessment and evaluation strategies, and develop error detection procedures and heightened self-efficacy to tackle more challenging tasks leading to mastery and understanding of lessons“ (S. 103).

5.1.4 Negatives Wissen und der Aufbau von Schutzwissen

Oser und Spychiger (2005) betonen, dass sich ein guter Umgang mit Fehlern und Fehlerwissen grundsätzlich von Fehlertoleranz unterscheiden. „Fehler und Falsches können nicht einfach zugelassen werden; sie müssen vermieden werden, damit das Richtige seinen Platz in der Welt erhält“ (S. 13). Jeder Lernprozess sollte daher „durch Falsches

hindurch zum Richtigen finden“ (ebd.) und so das Falsche dazu nutzen, um Richtiges zu erstellen. Fehler, Falsches oder Irrtümer sollten daher einer Person bewusst werden, um negatives Wissen aufzubauen (ebd.). Wenn falsches Denken keine Konsequenzen habe, dann könne es auch nicht wirksam werden. Es wirke dann nicht als *Schutzwissen*. Oser und Spychiger (2005) führen in diesem Kontext den Begriff des Schutzwissens als etwas ein, was aus einer Fehlersituation heraus gebildet wird und zukünftig dafür sorgt, dass der gleiche Fehler kein zweites Mal vorkommt. Schutzwissen nach Oser et al. (2005) verhindert somit, dass „eine Person, die einen offensichtlichen Fehler begangen hat, in einer neuen, ähnlichen Situation dasselbe nochmals tut. Schutzwissen wird aber nicht automatisch aufgebaut; es gehört ein Verstehen und ein Erinnern der Situation dazu“ (S. 19). Dieses Schutzwissen tritt somit nicht automatisch in Kraft. Die Erinnerung werde dabei zu einer Art „metakognitive[m] Alarmsystem, das ausgelöst wird, weil die Situation ähnlich ist und wir Gefahr laufen, den gleichen Fehler nochmals zu machen“ (S. 3). Allerdings sind nicht alle unsere Fehler konstruktiv und führen auch nicht unbedingt dazu, negatives Wissen aufzubauen. Oser und Spychiger zufolge kommt es daher darauf an, *intelligent* Fehler zu machen. Dabei muss das Richtige im Rahmen der Handlungsmöglichkeiten einer Person liegen. In Überforderungssituationen ist die Barriere für den Aufbau von negativem Wissen zu hoch.

Ausgehend von Oser und Spychiger (2005) kann man somit festhalten, dass beim Aufbau von negativem Wissen eine „Fehlerermutigungsdidaktik“ eine entscheidende Rolle spielt, sei es die einer Lehrperson oder eines entsprechend programmierten Computerprogramms. Die Lehrperson bzw. das Computerprogramm knüpft an den Denkprozessen der Lernenden an und ermöglicht ihnen so, ihre eigenen Lernprozesse zu reflektieren und ggf. zu korrigieren. Dazu gehört es, dass Fehler nicht übergangen oder ignoriert werden, sondern besprochen, analysiert und ausgewertet werden. Nach Oser et al. (2005) wird der Aufbau von negativem Wissen auf dieser Grundlage überhaupt erst möglich.

Für Oser und Spychiger (2005) ist das Verstehen des Fehlers sowie der reflexive Umgang mit dem Falschen gemeinsam mit anderen kognitiven und emotionalen Reaktionen (S. 72ff.) der Schlüssel zum Aufbau von funktionellem Schutzwissen.

Auch die Persönlichkeit des Lernenden spielt für Oser und Spychiger eine Rolle, da so das Schutzwissen zu einem „Teil des Selbst der Person in Bezug auf den Sachbereich“

(ebd.) werde. Jedoch sei das Fehlermachen selbst essentiell für den Aufbau des Negativen Wissens. So reiche es nicht, Fehler „nur noch ‚geistig‘ machen zu lassen (S. 57) und somit den Schülern (etwa beim Lösen mathematischer Aufgaben) das Fehlermachen zu erlassen“. Lehrende sollten daher auf keinen Fall „schon alles Falsche vorgebend besprechen (...)“, da eine ‚vorwegnehmende Fehlerkultur‘ lernhemmend wirke (ebd.).

Der Kontext, in dem ein Fehler gemacht wird, ist ebenfalls relevant damit Lernende Schutzwissen aufbauen können. Oser und Spychiger (2005) betonen daher, dass „Menschen a) mit dem Richtigen konfrontiert werden, dass sie b) ein Bewusstsein der Situationen, in denen das Falsche auftritt, erhalten, c) nicht von außen beschämt werden (...), sondern einen inneren Anspruch entwickeln, das Richtige zu tun, d) eine Möglichkeit erhalten, die gleiche Situation zu wiederholen und auf diese Weise Sicherheit im richtigen Umgang mit dem Falschen erlangen“ (S. 27).

Zudem müssen die Lernenden in der betreffenden Situation erkennen können, was stattdessen richtiger gewesen wäre. An dieser Stelle ist ein angemessenes Feedback von großer Bedeutung. Die Art und Weise der Rückmeldung ist dabei wichtig, da das Feedback zu der Art des Fehlers passen muss und den Lernenden die Gelegenheit bieten sollte, den Fehler zu erkennen und kognitiv so zu verarbeiten, dass er kein zweites Mal gemacht wird. Bei Krause, Stark und Mandl (2004) heißt es: „Es wird davon ausgegangen, dass Feedback Diskrepanzen zwischen erbrachter und angestrebter Leistung aufzeigt und der Fehlerkorrektur dient“ (S.127). So lernen vor allem diejenigen aus Feedback, die Fehler machen (Dempsey, Driscoll & Swindell, 1993). Feedback spielt somit eine bedeutsame Rolle, wenn es darum geht, eine angemessene Fehlerkultur zu fördern, in der Fehler als Lernchancen begriffen werden (Oser & Spychiger, 2005; vgl. Kapitel 5.1.1, Fehlerkultur).

Im Kontext einer Interventionsstudie, bei der Lehrende dazu aufgefordert waren, „einem eigenen Falschen den Kampf anzusagen“, entwickelten Oser und Spychiger (2005, S. 124) einen „losen Algorithmus“ zum Aufbau von Negativem Wissen. Hierfür sind Oser und Spychiger zufolge folgende Elemente wesentlich (a.a.O., S. 125):

- Fehlerdetektion vornehmen
- Zeit zur Fokussierung nehmen
- Exzessive Kontrastierung von richtig-falsch und deren Begründung stimulieren
- Möglichkeit zur Öffentlichmachung des Fehlers erkennen

- Aufbau von Gedächtnisstützen ermöglichen
- Repetitionsmöglichkeiten schaffen
- Überprüfung und Bewertung des richtigen Verhaltens bewirken (Schutzwissen)
- Aufbau eines tragfähigen Bewertungssystems organisieren
- Flexible Evaluation der individuellen Fehlermechanismen vornehmen
- Langzeitwirkung des Geleisteten wiederholend überprüfen

Negatives Wissen ist somit wichtig, um die Lücke zwischen dem Ist- und dem Sollzustand beim Lösen einer Aufgabe zu schließen. Um erfolgreich zu lernen, bedarf es daher, neben einer guten Fehlerkultur als Basis, auch einer angemessenen Rückmeldung mit der die Lernenden ihre Wissenslücke zunächst identifizieren und daraufhin schließen können. Wie aber sollte eine Rückmeldung aussehen, damit ein Lernprozess effektiv unterstützt werden kann? Um dies zu beantworten, ist es hilfreich kurz die Entwicklung des Feedbackbegriffs und der verschiedenen Art der Rückmeldung zu skizzieren,

5.2 Feedback als lerntheoretisches Konstrukt

Die ersten Forschungsergebnisse zum Thema Feedback kommen aus der frühen behavioristischen Forschung. Thorndike (1898) entdeckte im Tierversuch, dass unter verschiedenen, nach Versuch und Irrtum gezeigten Reaktionen diejenigen stärker mit der Situation verknüpft werden, die von einem befriedigenden Zustand begleitet oder gefolgt werden. Das häufige Auftreten von dem gezeigten Verhalten in Abhängigkeit von positiven Verhaltenskonsequenzen bezeichnete Thorndike (1911, 1932) als *Gesetz des Effekts*. In seinen Arbeiten zum *operanten Konditionieren* führte Skinner den Grundgedanken des Lernens anhand von Konsequenzen weiter. Dabei war es sein Ziel, die Mechanismen der Beeinflussbarkeit der Auftretenswahrscheinlichkeit operanten Verhaltens (spontan, auf die Umwelt wirkend) durch dessen Konsequenzen (Reize) aufzuzeigen. Dabei war für Skinner aus Sicht des operanten Modells, Feedback Verstärkung von Lernprozessen: Durch Feedback wird gelernt, weil Feedback als Verstärker wirkt, also die Auftrittswahrscheinlichkeit des erwünschten Verhaltens erhöht.

Nach weniger erfolgreichen Versuchen zum sog. *programmierten Unterricht*, wo Grundprinzipien des operanten Konditionierens auf menschliches Lernen angewendet wurden (vgl. Ewert & Thomas, 1996), kamen seit den 1970er und 1980er Jahren die *kognitivistischen Lerntheorien* in den Blickpunkt der Forschung. Diese betonen insbesondere die informative Wirkung von Feedback, die Funktion Misskonzepte bewusst zu

machen, Fehler zu identifizieren und zu korrigieren (Kulhavy & Stock, 1989; Mory, 2004; Musch, 1999). Der Sinn von Feedback wird folglich darin gesehen, Lernende über die richtige Lösung oder auch über die Falsifikation einer Hypothese (Popper, 1935) zu informieren: Feedback geht als Information in einem zwischen Reiz und Reaktion geschalteten Informationsverarbeitungsprozess ein und beeinflusst dadurch das darauf folgende Verhalten in gewünschter Richtung.

Da es auf Grund des kognitiven Feedback-Modells nicht möglich war, die innerhalb der Feedback-Forschung häufig beobachteten „enttäuschend“ geringen, oder sogar „erwartungswidrigen“ negativen Effekte von Leistungsfeedback zu erklären, wurde Ende der 90er Jahre die Forderung nach einem theoretischen Modell erhoben, das neben kognitiven auch nicht-kognitive Personmerkmale bei der Erklärung und Vorhersage von Verhalten in Lern- und Leistungssituationen mit Feedback berücksichtigt. Mit diesem Ziel publizierten Kluger und DeNisi (1996) die Feedback-Interventions-Theorie (siehe Abbildung 5), die vor allem eine erste Integration ganz unterschiedlicher theoretischer Ansätze zur Vorhersage von Verhalten in Leistungssituationen, speziell unter Feedback-Bedingungen realisiert. Dazu wurden Erkenntnisse aus verschiedenen etablierten Forschungsrichtungen (z.B. Kontrolltheorie, Zielsetzungstheorie, Theorie zur Gelernten Hilflosigkeit) herangezogen. Wie Abbildung 5 zeigt, lassen sich die Einflüsse auf den Feedback-Prozess im Rahmen der Feedback-Interventions-Theorie zunächst in zwei Gruppen aufteilen: Zum einen die situativen und individuellen Variablen und zum anderen die Merkmale der Aufgabe, die gerade bearbeitet werden soll. Dabei wirken sich die Faktoren „selbstbezogenen Meta-Ebene“, „Motivationale Aufgabenebene“ und „aufgabenbezogene Lernebene“ nicht nur auf die Leistung aus, sondern die Faktoren interagieren auch noch untereinander und bewirken so metakognitive Effekte, Motivations- und Lerneffekte. Das Feedback ist somit Teil einer komplexen Interaktionskette, die sich auf die erfolgreiche Problemlösung im Rahmen einer Aufgabe auswirkt.

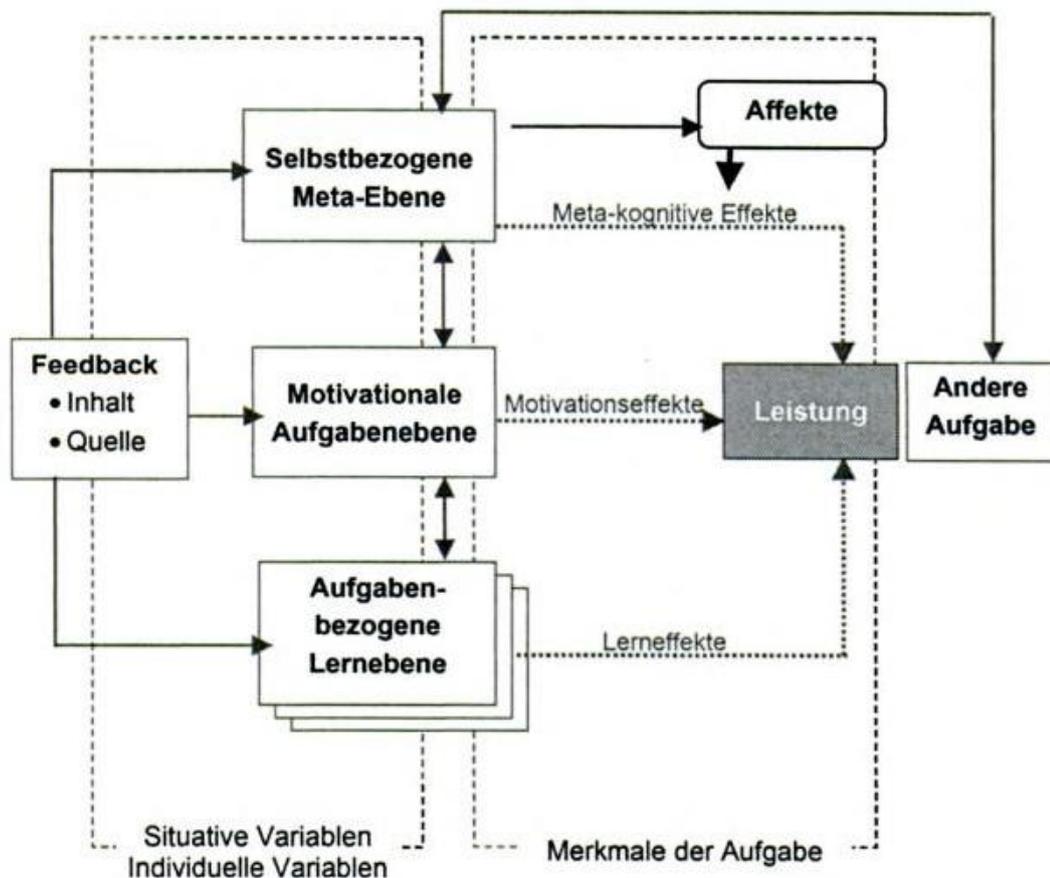


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Feedback-Interventions-Theorie (in Anlehnung an Kluger & DeNisi, 1996, entnommen aus Rost et al., 2006)

Die Feedback-Interventions-Theorie (ebd.) kann als Übergang von den kognitiven zu den konstruktivistischen Feedback-Modellen gesehen werden. Während die kognitivistischen Lerntheorien noch davon ausgingen, dass es reiche, Rückmeldung als Information zur Verfügung zu stellen, betonen die späteren *konstruktivistischen Instruktionsansätze* die situativen und individuellen Aspekte des Lernens mit Hilfe von Feedback.

Derartige Instruktionsmodelle gehen von einem aktiven, selbstgesteuerten Lernenden aus. Lehrende sollen dabei weniger als Vermittler oder Präsentator von Wissen auftreten, sondern vielmehr Mitgestaltende von Lernumgebungen und Unterstützer von Lernprozessen sein (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995). Das konstruktivistische Modell strebt somit eine *Förderung* anstelle einer *Steuerung* des Lernens an. Feedback wird nun als Informationsangebot gesehen. Den Lernenden soll im Sinne des entdeckenden Lernens viel stärker die Möglichkeit für eine *selbstgesteuerte* Systemexploration und der

eigenen Konstruktion von Wissen in vorhandene Hirnstrukturen gegeben werden (vgl. Beckmann, 2004, S. 10).

Feedback beinhaltet somit aus konstruktivistischer Sicht ein (Informations-) Angebot an den Lernenden. Ob und inwieweit er darauf zurückgreift, bleibt ihm überlassen. Aus sozial-kognitiver Sicht kommt noch zusätzlich die Rolle des Gegenübers in den Blick: Feedback wird als Teil einer sozialen Interaktion betrachtet, als ein Aspekt von Kommunikation: Somit stellt Feedback im Sinne einer gezielten Einflussnahme eine gerichtete Informationsübertragung von einem Sender-System zu einem Empfänger-System dar, vorausgesetzt die Information wird adäquat wahrgenommen, verarbeitet und genutzt (vgl. Definition von Kommunikation nach Frey & Greif, 1994).

5.2.1 Unterscheidung verschiedener Feedbackarten

Grundsätzlich unterscheiden Forscher zwischen *internem* Feedback, welches vom Lerner selbst generiert wird, und *externem* Feedback, welches Lernende von außen erhalten. Erfolgreiche Lerner generieren internes Feedback und kognitive Routinen während sie dabei sind, eine anspruchsvolle Aufgabe zu bearbeiten.

D. L. Butler und Winne (1995, S. 245) betonen, dass Feedback dabei ein Katalysator für alle selbst regulierten Aktivitäten sei: „As learners monitor their engagement with tasks, internal feedback is generated by the monitoring process.“ Feedback beschreibe dabei die Art des Ergebnisses und die Qualität der kognitiven Prozesse, die diesen zugrunde liegen. Butler & Winne (ebd.) stellen daher die These auf, dass besonders effektive Lerner idiosynkratische kognitive Routinen zur Erstellung von internem Feedback entwickeln während sie sich mit akademischen Aufgaben beschäftigen.

Weniger effektive Lernende haben hingegen eine geringe Auswahl an Selbstregulations-Strategien und sind eher abhängig von externen Feedbackquellen (wie z.B. Lehrer, ein Computerprogramm etc.). Solche Lernenden sind nur selten dazu fähig, selbst Feedback zu generieren, welches ihren zukünftigen Lern- oder Selbstregulationsprozess unterstützt.

Für den Kompetenzerwerb beim SRL beschreiben van den Boom et al. (2004) eine Feedbackart als besonders günstig, die dabei hilft eine Problematik zu erkennen, ohne direkt darauf hinzuweisen. So wird die Reflexionsfähigkeit des Lernenden gestärkt.

Dies führt dazu, dass die Lernenden selbst herausfinden müssen, warum etwas falsch war, wodurch die Metakognition der Lernenden gefragt ist und ein effektiver Feedback-Prozess angeregt wird. Hierfür untersuchten die Autoren in ihrer Studie Kombinationen aus verschiedenen Prompts und tutoriellem Feedback. Dabei zeigte sich in einer Fragebogenmessung, dass sich diese Art von Feedback positiv auf die Regulationsstrategien (Selbstregulation und externale Regulation) auswirkte.

Neben der Unterscheidung zwischen internem und externen Feedback, wird zudem zwischen standardisiertem Feedback, bei dem alle Lerner dasselbe Feedback, zum Beispiel die richtige Lösung, erhalten, und adaptivem, genauer, individuell-adaptivem Feedback, das an die Reaktion des Lerners angepasst ist, unterschieden. Die Adaptivität kann sich dabei auf verschiedene Aspekte beziehen. Zum Beispiel kann das Feedback an individuelle Eigenschaften des Lerners (z.B. bezogen auf Lernstile oder Vorwissen) oder an sein Leistungsverhalten angepasst sein. Das Feedback kann jedoch auch entsprechend der Aufgabe oder der Umgebung präsentiert werden (vgl. Vasilyeva, Puuronen, Pechenizkiy & Räsänen, 2007). Gerade im Bereich computerbasierten Lernens sind die technischen Möglichkeiten vorhanden, adaptives Feedback umzusetzen. Der Computer kann die Reaktionen der Lernenden präzise aufzeichnen und Feedback an veränderte Bedürfnisse der Lerner in interaktiven Lernumgebungen zeitnah anpassen. Dennoch wird bisher selten solch ein adaptives Feedback gestaltet (Mason & Bruning, 2001; Mory, 2004).

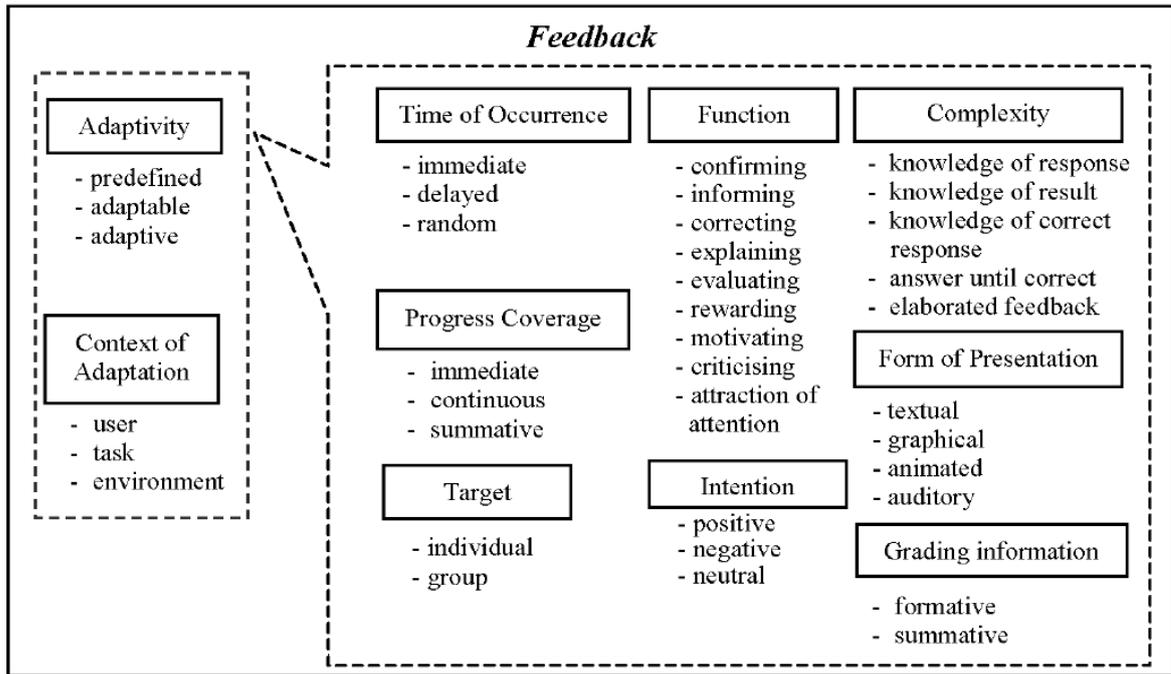


Abbildung 6: Taxonomie adaptiven Feedbacks (nach Vasilyeva et al., 2007; S.343)

Feedback kann zudem verschiedene Funktionen erfüllen. Während Vasilyeva et al. (2007) neun Funktionen von Feedback nennen (siehe Abbildung 6), treffen Narciss und Huth (2004) lediglich die Unterteilung in kognitive, metakognitive und motivationale Funktionen.

Feedback kann auch durch den Zeitpunkt kategorisiert werden, an dem es dargeboten wird. Dieser Frage nach *immediate* (sofortigem) oder *delayed* (verzögertem) Feedback wurde in vielen Studien nachgegangen (vgl. Kulhavy & Wager, 1993; Musch, 1999). Darüber hinaus sind weitere Unterscheidungen, wie zum Beispiel nach der Bezugsnorm (kriterial, sozial oder individuell), denkbar.

Studien haben gezeigt, dass eine individuelle und auch eine kriteriale Bezugsnorm positive Effekte auf die Leistung zeigen, eine soziale Bezugsnorm sich dagegen eher nachteilig auswirkt (Kluger & DeNisi, 1996). Eine individuelle Bezugsnorm hat zudem zusätzliche positive Auswirkungen auf Selbstwertgefühl, Attributionen, Leistungsmotivation und Selbstwirksamkeitserwartung (Hartinger & Fölling-Albers, 2002).

5.2.2 Die Wirksamkeit von Feedback

Hattie und Timperley (2007) sehen die Hauptaufgabe von Feedback darin, die Lücke zwischen dem aktuellen Verständnis, der Leistung und der Zielsetzung des Lerners zu minimieren. Wobei sie (a.a.O., S. 82) mit Kulhavy (1977) und Oser et al. (2005) darin übereinstimmen, dass der Umgang mit Feedback ganz individuell sein kann: „Feedback can be accepted, modified, or rejected“: Feedback allein reicht nicht aus, um zukünftige Handlungen zu beeinflussen. Die Effektivität von Feedback ist daher unter anderem abhängig von der Darbietungsweise (z.B. Spezifität, Komplexität, Informationsgehalt), der Aufgabenart (z.B. Lernkontext, Komplexität, Art des zu lernenden Wissens) und von den individuellen Lerner-Voraussetzungen (z.B. kognitive, metakognitive, motivationale). So müssen der instruktionale Kontext und die Eigenschaften der Lerner berücksichtigt werden, damit Feedback bei komplexen Lernaufgaben positive Effekte auf Leistung und Motivation haben kann (Narciss & Huth, 2004). Diese Aspekte sollten aufeinander abgestimmt sein, um den Informationsgehalt des Feedbacks zu maximieren.

Obwohl Feedback im Allgemeinen lernförderlich zu sein scheint (Dempsey et al., 1993; Shute, 2008), zeigen sich bei den Meta-Analysen von Bangert-Drowns et al. (1991) und Kluger und DeNisi (1996) immerhin bei einem Drittel der vorliegenden Studien auch negative Effekte von Feedback. Auch in der Meta-Analyse von Hattie (1999) offenbaren sich große Unterschiede zwischen verschiedenen Feedbackarten. Dabei zeigte sich, dass effektive Rückmeldungen zielorientiert waren und den Lernenden Hinweise oder Verstärkung boten, die oft in Form von Video-, Audio-, oder computerbasiertem instruktionalem Feedback gegeben wurden.

Es gibt verschiedene Erklärungen für diese Effekte: Manchmal wirkt externes Feedback nicht, weil zu viele Faktoren die Wirkung beeinflussen (z.B. Vorwissen, Verarbeitungstiefe). Zum Teil wird Feedback auch ignoriert, zurückgewiesen, als irrelevant betrachtet oder reinterpretiert. Krause et al. (2004) nennen motivationale und metakognitive Voraussetzungen der Empfänger als entscheidend dafür, ob Feedback intentionsgemäß genutzt wird und somit positiv wirken kann. Externes Feedback kann Lernende, die gerade aktiv im Problemlöseprozess engagiert sind, jedoch auch stören und so Lernen verhindern (Corno & Snow, 1986).

Zu langes und kompliziertes Feedback kann zudem dazu führen, dass es nicht genutzt wird, und somit nicht seine potentiell lernförderliche Wirkung entfaltet (Shute, 2008). Bangert-Drowns et al. (1991) argumentieren, dass Feedback dann hinderlich sein kann, wenn es dazu führt, dass Lernende nicht mehr selbst kognitiv aktiv werden müssen. Dies wäre der Fall, wenn Antworten durch Feedback gegeben werden, bevor die Lernenden selbst dazu Überlegungen anstellen konnten, oder wenn die Feedbackbotschaft nicht zu den kognitiven Bedürfnissen der Lernenden passt (also beispielsweise zu einfach, zu komplex etc. ist).

Damit Feedback effektiv sein kann, müssen daher nach Shute (2008) drei Aspekte als Grundvoraussetzungen gegeben sein:

- der Lerner braucht es,
- der Lerner erhält es zu dem Zeitpunkt, an dem er es braucht und
- der Lerner ist in der Lage und bereit, es zu nutzen.

Shute (2008) zufolge sollte Feedback auf die Aufgabe und nicht auf den Lerner fokussieren. Es sollte in gut zu handhabenden Einheiten gegeben werden. Dabei sollte das Feedback spezifisch und deutlich formuliert sein und schriftlich oder per Computer gegeben werden. Zudem sollten verschiedene Charakteristika der Lernenden mit erhoben werden, da diese vermutlich mit Feedback interagieren. Nur dadurch könne man herausfinden, wie Feedback adaptiert werden muss, damit es wirksam wird (vgl. Shute, 2008).

Kluger und DeNisi (1996) stellten in einer Metaanalyse die große Variabilität von leistungsbezogenen Feedback-Effekten heraus. Dabei machten sie erstmals gezielt auf häufig ignorierte schwache sowie negative Feedback-Effekte aufmerksam (38% der 131 einbezogenen Studien; siehe auch Bangert-Drowns et al., 1991; Kluger & DeNisi, 1998). In Bezug auf Intelligenztests (insbesondere Raven Matrizen) konnten Carlson und Wiedl (1980, 1992; Carlson, 1989) bei Verwendung von Richtig/Falsch-Rückmeldungen in dynamischen Tests (*Testing-the-Limits*) ebenfalls keine Leistungsverbesserungen nachweisen. Der Grund hierfür lag bei den IQ-Tests u.a. daran, dass die Getesteten ihre Leistungen auch ohne Richtig/Falsch-Feedback richtig einschätzen konnten und diese nicht elaborierte Rückmeldung dadurch nur redundante Information lieferte. Als ein wesentlicher Faktor einer effektiven Feedback-Strategie wird daher von einigen Autoren ein hinreichender *Elaborationsgrad* der rückgemeldeten Information

ausgemacht (Kluger & DeNisi, 1996; Kulhavy, 1977; Musch, 1999; unter Berücksichtigung von intelligenzunabhängigen Personmerkmalen siehe auch Johnson et al., 1993; Narciss, 2001).

5.2.3 Elaborationsgrade von Feedback

Meta-Analysen zeigen, dass Rückmeldungen u.a. dann einen Leistungszuwachs begünstigen, wenn sie spezifische Informationen über die weitere Aufgabenbearbeitung enthalten (Hattie & Timperley, 2007). Zudem wird angenommen, dass die Performanz wie auch die Motivation von Lernenden durch elaborierte Rückmeldungen begünstigt wird.

Feedbackarten werden traditionell auch nach dem Ausmaß der enthaltenen Informationen, also ihrer Elaboriertheit, unterschieden (Bangert-Drowns, Kulik, Kulik & Morgan, 1991; Butler & Winne, 1995; Dempsey et al., 1993; Kulhavy & Stock, 1989; Narciss, 2006). Wenn Feedback nach seinem Informationsgehalt klassifiziert wird, ist in einigen Studien auch von erklärendem (statt elaboriertem) Feedback die Rede oder es wird von der Spezifität des Feedbacks gesprochen. Die Elaborationsgrade von Feedback werden nach Vasilyeva et al. 2007 (vgl. Abb. 7) folgendermaßen kategorisiert:

Knowledge of result (KOR oder KR): Der Lerner wird nur darüber informiert, ob seine Antwort richtig oder falsch ist.

Knowledge of performance (KP): Es wird nach mehreren Lernaufgaben eine summative Rückmeldung über den erreichten Leistungsstand gegeben (z.B. Angabe, wie viel Prozent richtig gelöst wurde).

Knowledge of correct result (KCR)/ korrekatives Feedback: Zusätzlich zur Information, ob die Antwort richtig oder falsch ist, wird bei einer falschen Antwort die richtige Antwort genannt.

Answer until correct (AUC): Hierbei wird KR-Feedback solange wiederholt gegeben, bis der Lerner die korrekte Antwort selbst gefunden hat.

Elaborated feedback: Der Lerner erhält zusätzliche Informationen darüber, warum seine Antwort richtig oder falsch war.

Elaborated feedback (elaboriertes Feedback) ist auch unter den Bezeichnungen explanatory feedback, extended feedback oder informatives Feedback bekannt. Im Vergleich zur simplen richtig/falsch-Rückmeldung (KR-Feedback) kann elaboriertes Feedback zusätzlich Informationen geben, die dem Lerner bei der Selbstregulation helfen (Butler & Winne, 1995). Nach Kulhavy und Stock (1989) enthält elaboriertes Feedback zwei Arten von Informationen, erstens die einfache Beurteilung richtig oder falsch (Verification) und zweitens die Komponente, die Hinweise liefert, um den Lerner zur richtigen Antwort zu führen (Elaboration). Um einer instruktionalen Funktion nachzukommen, sollte diese zweite Komponente Informationen liefern, die sich spezifisch auf eine Aufgabe oder einen Lernprozess beziehen und die die Lücke schließen zwischen dem, was verstanden wurde und dem was verstanden werden soll (Sadler, 1989).

Kulhavy & Stock (1989, S. 285), verstehen unter elaboriertem Feedback "... *anything more than 'yes-no' or 'right-wrong'*". Die beiden (ebd.) unterscheiden drei Formen des elaborierten Feedbacks:

- *Task specific elaboration* liegt vor, wenn z.B. eine Multiple Choice - Aufgabe erneut mit allen Alternativen und einer Kennzeichnung der korrekten Antwort vorgelegt wird. Diese Form geht nicht über die Mitteilung der korrekten Antwort hinaus, sondern sie stellt diese nur deutlich heraus. Somit wird den Lernenden lediglich die richtige Antwort verdeutlicht, jedoch nicht erläutert.
- *Instruction based elaboration* basiert vorwiegend auf den ursprünglichen Lernmaterialien in der Instruktionsphase und kann Unterschiedliches bedeuten, u.a. Erklärung der Aufgabenlösung, Unterstützung von Lösungsregeln, Verbesserung von Fehlern, Darbieten der ursprünglichen Instruktion. Somit gibt es auch hier keine neuen Informationen, die über diejenigen der Instruktion hinausgehen.
- *Extra-instructional elaboration* stellt zusätzliche, dem Lerner bisher noch nicht dargebotene Informationen zur Verfügung, etwa neue Beispiele oder alternative Präsentationen des Lehrstoffs. In der Erläuterung werden dem Lerner somit neue zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt.

5.2.4 Feedback als kognitiver Prozess

Effektives Feedback muss Hattie und Timperley (2007) zufolge drei Fragen beantworten: Wo muss ich hin? (Was sind meine Ziele?), Wie komme ich dorthin? (Welche Fortschritte habe ich schon in Bezug auf die Zielerreichung gemacht?), Was steht als nächstes an? (Was muss ich unternehmen, damit ich besser vorankomme?). Die Beantwortung dieser Fragen ist jeweils abhängig davon, auf welcher Ebene Feedback gegeben wird (Aufgabenbearbeitung, Verständnis, Struktur, metakognitive Prozesse...): „Feed up“, „Feed back“ und „Feed forward“ (a.a.O., S. 86). Diese drei Ebenen, die das Feedback umfassen sollte, könnte man auch mit: „Bestandsaufnahme“, „Rückkopplung“ und „Perspektive“ (Übersetzung der Verfasserin) umschreiben. Um gute Ergebnisse erzielen zu können, muss zudem die Passung zwischen dem Level auf dem Feedback gegeben wird und dem Kenntnisstand des Lerners stimmig sein.

Hattie und Timperley (2007) zufolge wirkt Feedback nur dann, wenn die Diskrepanz zwischen dem aktuellen und dem gewünschten Verständnis eines Sachverhalts reduziert wird (S.86). Die Lernenden können dabei auch selbst effektive (Feedback-)Strategien entwickeln, wie sie eigene Fehler entdecken und ihrem Ziel dadurch näher kommen (siehe Abbildung 7). Hattie und Timperley (2007) betonen, dass dieses Aufspüren von eigenen Fehlern sehr wirkungsvoll sein kann – sofern die Lernenden über ein Mindestmaß an Wissen und Verständnis der Aufgabe verfügen, die es zu bearbeiten gilt. Zudem können Lernenden dadurch sogar nach besseren Strategien zur Aufgabenbearbeitung suchen.

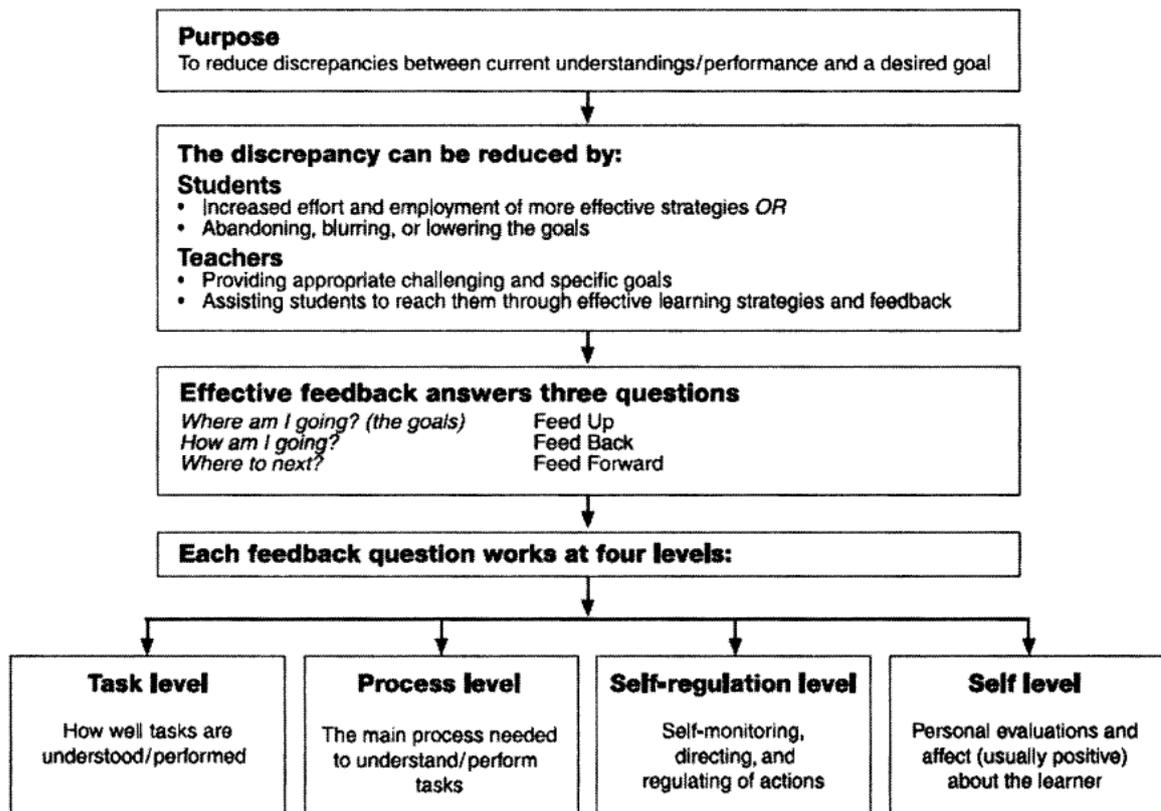


Abbildung 7: Feedbackmodell zur Unterstützung selbstregulierter Lernprozesse (Hattie & Timperley, 2007)

An dieser Stelle kann Feedback insbesondere auch dazu beitragen, den Prozess zu unterstützen und Informationen zur Verfügung stellen, die dazu führen, dass die Lernenden die Aufgabe besser lösen können. Dies kann beispielsweise darin bestehen, Selbstregulations- und Problemlöseprozesse anzuregen oder das Vorwissen der Lernenden zu aktivieren.

Hattie und Timperley (2007, S. 88) betonen, dass eine ideale Lernumgebung dann geschaffen ist, wenn sowohl Lehrende als auch Lernende versuchen, jeweils die drei Ebenen des Feedbacks („Bestandsaufnahme“, „Rückkopplung“ und „Perspektive“) zu berücksichtigen. Hierfür ist es wichtig, dass die Zielsetzung klar ist und davon abgeleitet werden kann, was als nächstes zu tun ist. Neben den Prozess-Fragen über den Verlauf eines Problemlösevorgangs, beschreiben Hattie und Timperley (2007, S. 90) vier Dimensionen auf denen Feedback wirksam sein kann:

Feedback about the task (FT) beinhaltet Feedback über die Aufgabe oder das Ergebnis (falsch/richtig) und ggf. Hinweise darüber, welche Informationen zusätzlich berücksichtigt werden sollten.

Feedback about the processing of the task (FP) gibt Hinweise über den Prozess, der nötig ist, um eine Aufgabe zu lösen. Diese Art der Rückmeldung bezieht sich vor allem auf den Informationsverarbeitungs- oder Lernprozess und macht darauf aufmerksam, was zum Verständnis der Aufgabe noch zusätzlich hilfreich sein könnte.

Feedback about self-regulation (FR) sich auf die Selbstregulationsfähigkeit der Lernenden z.B. die Fähigkeit, die eigene Leistung zu beurteilen oder sich noch weiter bei der Aufgabenlösung anzustrengen. Diese Art des Feedbacks beeinflusst die Selbstwirksamkeitserwartung der Lernenden, Selbstregulationsfähigkeiten und auch die Überzeugungen darüber, ob jemand eine Aufgabe erfolgreich lösen kann, da die Lernenden darüber informiert werden, wie sie eine Aufgabe noch besser bzw. systematischer lösen können.

Feedback about the self as a person (FS) ist in dem Sinne persönlich, indem es sich auf die Lernenden selbst und nicht auf die Aufgabenbearbeitung bezieht (z.B. „Du bist ein hervorragender Schüler.“).

Hattie und Timperley (2007, S. 90) zufolge ist *Feedback about the self as a person* (FS-Feedback) die Rückmeldung, die am wenigsten effektiv ist. *Feedback about self-regulation* (FR-Feedback) und *Feedback about the processing of the task* (FP-Feedback) sind in dem Sinne wirksam, als dass sie eine tiefere Verarbeitung anregen und so zur Aufgabenlösung beitragen. *Feedback about the task* (FT-Feedback) ist dann besonders wirkungsvoll, wenn die Aufgabeninformation strategisch genutzt werden kann oder auch um die eigene Selbstregulationsfähigkeit zu verbessern. Dies ist Hattie und Timperley (ebd.) zufolge jedoch nur sehr selten der Fall.

5.2.5 Prompting

Um die Effektivität von Feedback zusätzlich zu steigern kann man dieses mit dem Prompting verknüpfen. Die Methode des Prompting (engl.: Anregung) stellt eine instruktionale Maßnahme dar, die den Lernenden während des Lernprozesses zur Ausführung kognitiver, metakognitiver oder motivationaler Prozesse anregt. Im Gegensatz zum Feedback und zu konventionellen Instruktionsmaßnahmen, in dem neues Wissen

und neue Fertigkeiten vermittelt werden, wird beim Prompting davon ausgegangen, dass die Lernenden bereits über bestimmte Vorkenntnisse verfügen, diese jedoch im Sinne eines Produktionsdefizits nicht spontan anwenden können. Somit kann durch Prompting non-direktiv die selbstregulierte Anwendung dieser Vorkenntnisse und Prozesse gefördert werden (vgl. Thillmann, 2008). Insbesondere im Hinblick auf die Nutzung von Strategien kann dies förderlich sein. In den letzten Jahren wird in immer mehr Studien die Möglichkeit zur computerbasierten Darbietung von Prompts während des Lernens genutzt (Wirth, 2009; Azevedo, Cromley & Seibert, 2004; Gerjets, Scheiter & Schuh, 2005). Hierbei konnte die lernförderliche Wirkung von Selbsterklärungsprompts bestätigt werden. Sowohl in einer computerbasierten Lernumgebung zum Problemlösen (Alevén & Koedinger, 2002) als auch beim Lernen mit Lösungsbeispielen wirken sich die Selbsterklärungsprompts insbesondere auf die Fähigkeiten aus, spätere Transferaufgaben lösen zu können (Atkinson, Renkl & Merrill, 2003; Renkl, Atkinson & Maier, 2000). In einem direkten Vergleich konnten Schworm und Renkl (2006) zeigen, dass durch Prompts ausgelöste Selbsterklärungen effektiver hinsichtlich des Lernerfolgs waren, als extern präsentierte Erklärungen.

Lin und Lehmann (1999) haben in ihrer Studie die Wirkung von kognitiver, metakognitiver und emotionsfokussierter Prompts beim Lernen in einer computerbasierten Lernumgebung im Bereich der Biologie getestet. Die metakognitiven Prompts forderten die Lernenden zu Selbsterklärungen ihrer Problemlöseaktivitäten auf, während die kognitiven Prompts zum Erkennen von Regeln anregten. Die emotionsfokussierten Prompts forderten schließlich dazu auf, über den eigenen emotionalen Zustand zu reflektieren. Sowohl hinsichtlich des Lernerfolgs als auch in Bezug auf die Transferleistung, zeigten sich die metakognitiven Prompts überlegen. Zum gleichen Ergebnis kamen auch Davis und Linn (2000): Sie konnten die Überlegenheit metakognitiver Prompts gegenüber aktivitätsorientierten Prompts beim Lernen in einer computerbasierten Lernumgebung mit naturwissenschaftlichen Inhalten bestätigen. Dabei regten die metakognitiven Prompts nicht nur zur Reflexion (im Sinne von Selbsterklärungen) an, sondern auch zur Planung von Lernprozessen. Im Hinblick auf eine Förderung des SRL durch Experimentieren liefern Promptingstudien Hinweise darauf, dass Lernenden mit Hilfe von Prompts nicht nur zu Selbsterklärungen, sondern zu verschiedenen spezifischen metakognitiven Aktivitäten angeregt werden können (vgl. Thillmann, 2008).

Prompts können unterschiedlich gestaltet sein und dadurch auch ganz unterschiedliche Aspekte anregen. Sie können in Form von Lernfragen, die man sich selbst stellt, oder in Form von Hinweisen bzw. Tipps dargeboten werden. Selbsterklärungsprompts fordern zur Reflexion auf, andere Prompts zielen darauf ab, regulative Prozesse wie Planung, Ziele setzen und Monitoring anzuregen (de Jong & van Joolingen, 1998).

Prompts können im Rahmen des normalen Schulunterrichts durch Lehrer gegeben werden oder auch computerbasiert im Rahmen eines Lernprogramms (z.B. Bannert, 2003). In den letzten Jahren hat sich die Forschung verstärkt mit computerbasierten Varianten des Prompting beschäftigt, da man hier unter kontrollierten und interindividuell vergleichbaren Bedingungen Lernprozesse unterstützen und anregen kann (z.B. Marschner et al., 2012; Tyroller, 2005; Lin & Lehmann, 1999).

In einer Studie zum Prompting von Manlove et al. (2007) konnte die Quantität und Qualität des Monitoring durch eine Kombination aus direktem Feedback und Prompts bei der Experimentalgruppe verbessert werden. Dabei forderten die Prompts dazu auf:

- sich die Ergebnisse der Selbstbeobachtung zu notieren,
- eine Vorlage zur Berichterstattung zu benutzen,
- Selbsterklärungen zu geben oder
- spezifische Strategien darzubieten, um Fehler zu erkennen.

In dieser Studie (Manlove et al., 2007) wurde jedoch allein diese kombinierte komplexe Unterstützungsmaßnahme im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Unterstützung untersucht. Die Unterstützung durch die Prompts zielte hierbei auf die Regulation und nicht auf den Inhalt ab. Trotz der Vorteile für die Experimentalgruppe im Monitoring konnte die Kontrollgruppe bessere Modelle entwickeln, die das konzeptuelle inhaltsspezifische Wissen widerspiegeln. Um zu vermeiden, dass Prompts in Konflikt mit eigenen regulativen Handlungen geraten bzw. bei leistungsschwachen Schülern zur Überforderung führen, sollten Prompts vor allem als adaptive und wenig aufdringliche Form der Unterstützung genutzt werden.

Eine mögliche Erklärung dafür, warum Prompts während des Lernens lernförderlich wirken, ist, dass sie die Aufmerksamkeit aufrechterhalten und motivationsförderlich sowie metakognitiv anregend sein können. Dadurch könnte es dazu kommen, dass Ler-

ner sich mehr mit dem Lerngegenstand auseinandersetzen. Außerdem könnte so sicher gestellt werden, dass nicht zu viel Information auf einmal verarbeitet und erinnert werden muss (Thillmann, 2008).

In der vorliegenden Studie wurden am Prompting orientierte Fragen zur kognitiven Aktivierung dazu verwendet, die Lernenden auf die Verarbeitung der im Anschluss daran präsentierten Lösungsbeispiele vorzubereiten. Die Hypothese hierbei ist, dass ein kognitiv aktivierter Lerner das Lösungsbeispiel besser verarbeiten kann und dadurch einen höheren Lernzuwachs zu verzeichnen hat, als ein Lerner, der im Rahmen des Feedbacks lediglich elaborierte Zusatzinformationen präsentiert bekommen hat.

5.2.6 Lernen anhand von Lösungsbeispielen

Die Wirksamkeit und Effizienz des Lernens anhand von Lösungsbeispielen konnte von zahlreichen Forschergruppen in den vergangenen Jahren empirisch nachgewiesen werden (für einen Überblick: siehe Atkinson et al., 2000). Bisher wurde besonders der Bereich der Naturwissenschaften, insbesondere der Physik, der Mathematik, der Programmierung und der Statistik untersucht (u.a. Chi et al., 1989; Renkl, 1997). Da beim Lesen der Lösungsbeispiele der Fokus nicht mehr die Problemlösung der Aufgabenstellung ist, sondern das Verstehen des Lösungsansatzes hinter dem präsentierten Beispiel, kann die kognitive Belastung der Lernenden durch diese Methode verringert werden. Das Lösungsbeispiel soll veranschaulichen, wie ein vorher eingeführtes Prinzip (z.B. Gesetzmäßigkeit, Formel, etc.) angewendet werden kann. Die Präsentation des Lösungsbeispiels kann ganz unterschiedlich gestaltet sein. Der Erfolg dieser Methode ist daher stark davon abhängig, wo der Aufmerksamkeitsfokus der Lernenden liegt und wie intensiv sich die Lernenden mit den Lösungsbeispielen auseinandersetzen (Stark, 1999; Renkl et al., 1998; Renkl & Schworm, 2002; Renkl, 2002; Renkl et al., 2003).

Beim Lernen mit Lösungsbeispielen wird die kognitive Kapazität des Lernenden durch die Darbietung der Lösung entlastet. Die Lernenden haben somit die Möglichkeit, Schemata aufzubauen und den *Cognitive Load* dadurch zu verringern. Dadurch hat das Arbeitsgedächtnis mehr Kapazität für die eigentlichen Lern- und Verstehensprozesse zur Verfügung (Tarmizi & Sweller, 1988; Ward & Sweller, 1990). Lernen mit Lösungsbeispielen wird daher vor allem zum Wissenserwerb bei Novizen eingesetzt. Zahlreiche Studien von Sweller und Kollegen (u.a. Sweller & Cooper, 1985; Sweller, van

Merriënboer & Paas, 1998) bestätigen, dass Lernen mit Lösungsbeispielen vor allem für Lernende mit geringem oder keinem fachspezifischen Vorwissen effektiver sein kann als das Lernen durch Problemlösen. Beim Lernen mit Lösungsbeispielen ist der Erfolg der Methoden neben dem Fachgebiet (Lerninhalt) vor allem davon abhängig, wie intensiv sich die Lernenden mit dem Lösungsbeispiel auseinandersetzen. Das Elaborationsverhalten und damit die Effektivität der Lernmethode werden durch *indirekte Faktoren*, welche die Gestaltung, Präsentation und Struktur der Lösungsbeispiele betreffen und von *direkten Faktoren*, wie z.B. kognitive Aktivierung, Aufforderung zur Selbsterklärung oder instruktionale Hilfen zum Bearbeiten der Lösungsbeispiele beeinflusst.

5.3 Cognitive Load-Theorie und Kategorien der kognitiven Belastung

Die Reflexion über eigene Fehler stellt Lernende vor große Herausforderungen: Zum einen müssen sie fehlerhafte Konzepte identifizieren, zum anderen auch neue Information verarbeiten und in bestehende kognitive Strukturen integrieren. Die verschiedenen Feedback-Bedingungen stellen die Lernenden insofern vor große kognitive Herausforderungen, insbesondere, was die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses angeht. Das Arbeitsgedächtnis ist im Gegensatz zum Langzeitgedächtnis in seiner Kapazität begrenzt (Baddeley, 1997). Nach kognitionspsychologischen Aspekten erfolgt Lernen durch den Aufbau von Schemata und deren Automatisierung. Ein Schema ist als Konzept definiert, welches zu einem bestimmten Sachverhalt eine Struktur liefert, welche an verschiedene Situationen angepasst werden kann und keinen Anspruch auf Vollständigkeit hat. Dabei erfüllt die Schemakonstruktion zwei Hauptaufgaben: einerseits den Aufbau und die Speicherung von Wissen im Langzeitgedächtnis, andererseits die Reduzierung der Belastung des Arbeitsgedächtnisses im Rahmen von Informationsverarbeitungsprozessen (Anderson, 2001; Chi et al., 1982). Durch intensives Üben kann das Ausführen von Prozeduren automatisiert werden (Schemaautomatisierung). Diese automatisierten Prozeduren entlasten das Arbeitsgedächtnis und schaffen damit freie Kapazitäten für die Verarbeitung neuer Informationen. Dadurch werden Lern- und Verstehensprozesse ermöglicht, die ansonsten zu einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses geführt hätten. Somit dient die Schemaautomatisierung ebenso wie die Schemakonstruktion der Entlastung des Arbeitsgedächtnisses und erhöht somit dessen freie Kapazität für die Aneignung von neuen Inhalten und Strukturen. Die kognitive Belastung

(cognitive Load) umfasst die Menge an Informationen und Operationen, die gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis organisiert, abgeglichen und verarbeitet werden müssen (vgl. Sweller, 1991).

Die Leistung des Lernenden lässt nach, wenn die kognitive Belastung entweder extrem niedrig (Unterbelastung) oder extrem hoch (Überbelastung) ist (Teigen, 1994). In beiden Extremfällen findet kein Lernprozess mehr statt.

Die Cognitive Load-Theorie² „bringt die Leistungsfähigkeit beim anfänglichen Erwerb kognitiver Fertigkeiten mit dem Umgang mit Kapazitätsbeschränkungen im menschlichen Informationsverarbeitungssystem in Zusammenhang“ (Renkl et al., 2003, S.94). Die CLT befasst sich folglich mit dem anfänglichen Wissenserwerb unter Berücksichtigung der kognitiven Struktur des Menschen, insbesondere der Kapazitätsbeschränkung des Arbeitsgedächtnisses durch kognitive Belastung.

Beim Lernen von komplexen kognitiven Sachverhalten, werden Lernende oft von der Menge an Informationselementen und deren Interaktionen, die gleichzeitig verarbeitet werden müssen, überwältigt. Die CLT geht davon aus, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses limitiert ist und praktisch nicht belastet wird, wenn ähnliche Aufgabenstellungen mit gleichen Sachverhalten behandelt werden, die zu einem früheren Zeitpunkt im Langzeitgedächtnis in Form von Schemata gespeichert wurden. Die Schemaautomatisierung ermöglicht unbewusstes Abarbeiten dieser Schemata unter minimaler Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses. Durch Schemakonstruktion und -automatisierung wird die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für erneute Informationsverarbeitung und damit für den eigentlichen Lernprozess freigegeben. Diese kognitionspsychologischen Erkenntnisse sollten bei der Konstruktion des Feedbacks berücksichtigt werden, damit möglichst viel Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für die lernwirksame Schemakonstruktion bleibt (vgl. Maier-Richter, 2005, S. 14).

² Im Folgenden wird die **Cognitiv Load-Theorie** mit CLT abgekürzt.

5.4 Lernen mit Lösungsbeispielen und Cognitive Load-Theorie

Lernen mit Lösungsbeispielen wird überwiegend bei Novizen mit geringem fachspezifischem Vorwissen eingesetzt. Dieses geringe Vorwissen hat für den Lernenden zwei Konsequenzen:

1. Aufgrund des fehlenden Fachwissens sind bei Novizen keine Schemata zum Lerngegenstand vorhanden. Dadurch ist die intrinsische Belastung sehr hoch. Um Lernen zu ermöglichen, müssen die entsprechenden Informationen und deren Kausalbeziehungen zunächst in Schemata zusammengefasst und abgebildet werden. Dieser Prozess des permanenten Abgleichs der Informationen und Schemata hemmt den eigentlichen Wissenserwerb, da ein erheblicher Teil des Arbeitsgedächtnisses durch die Informationsverarbeitung bereits beansprucht wird (Mayer & Moreno, 1998; 2003).
2. In diesem frühen Wissensstadium sind die Lernenden auf allgemeine Problemlösestrategien angewiesen. Dabei ist die häufigste Methode beim Problemlösen von Novizen das *suchbasierte Problemlösen*, die sog. Ziel-Mittel-Analyse. Bei dieser Lösungsstrategie wird zu Beginn ein Prinzip z.B. in Form einer Gesetzmäßigkeit gesucht, das die in der Problemstellung gefragte Größe mit anderen Größen, deren Werte bekannt sind, in Beziehung setzt (...). Die Ziel-Mittel-Analyse ist „eine „schwache“ Problemlösestrategie, weil sie wenig Bereichswissen nutzt, und daher leicht zu ineffektiven Lösungsversuchen führt. Der Vorteil von schwachen Problemlösestrategien ist, dass sie generell anwendbar sind, also nicht an spezifische Gegenstandsbe- reiche gebunden sind“ (Reimann, 1997, S.82).

Die Ziel-Mittel-Analyse belastet jedoch in hohem Maße das Arbeitsgedächtnis, da die Lernenden gleichzeitig den aktuellen Problemzustand, das gesuchte Ziel, mögliche Unterschiede zwischen dem momentanen Zustand und dem Zielzustand und aktive Zwischenzustände abgleichen bzw. bereithalten müssen. Damit generiert diese Problemlösestrategie eine hohe irrelevante Belastung des Arbeitsgedächtnisses, was der relevanten lernwirksamen Belastung abträglich ist (Renkl et al., 2003; Renkl & Atkinson, 2002). Die Ziel-Mittel-Analyse unterstützt das Problemlösen erfolgreich, dient jedoch nicht dem Wissenserwerb. Bei Experten hingegen wird *schemabasiertes Problemlösen* beobachtet. Experten arbeiten von den gegebenen Größen aus zum Ziel hin. Diese Problemlösestrategie des „vorwärts Schließens“ findet sich bei Problemlösern, die bereits über fundiertes Bereichswissen und damit über Schemata zum Lerngegenstand verfügen. Sie

sind sich über ihr Vorgehen zur Problemlösung im Klaren und entwickeln ihre Lösungsschritte zum Erreichen der Zielgröße nach einem Plan oder Schema (Reimann, 1997).

Erklärtes Ziel beim Lernen mit Lösungsbeispielen ist es, die irrelevante Belastung („extraneous load“), die nicht dem Wissenserwerb dient, durch das Instruktionsdesign z.B. die Gestaltung und Strukturierung des Lösungsbeispiels, gering zu halten und somit möglichst viel kognitive Kapazität für die relevante lernwirksame Belastung („germane load“) freizuhalten. Auf die intrinsische Belastung kann hierbei in der Regel kein Einfluss genommen werden, da sie durch den Lerngegenstand festgelegt ist (vgl. Maier-Richter, 2005, S.15).

5.4.1 Struktur und Gestaltung des Lösungsbeispiels

Zahlreichen Studien zeigen, dass mehrere von der Oberflächenstruktur leicht unterschiedliche Beispiele gleicher Problemstruktur (isomorphe Beispiele) erforderlich sind, damit Lernende auch komplexe Lerninhalte verstehen können (u.a. Gick & Holyoak, 1983). Gick und Holyoak (1983) zeigen, dass ein Lösungsprinzip besser verstanden wird und auf neue Problemstellungen angewendet werden kann, wenn die Lernenden zwei isomorphe Beispiele anstatt nur eines Beispiels bearbeitet haben. Dies begründen sie damit, dass bei der Vorgabe von mehreren Beispielen gleicher Problemstruktur der Aufbau von abstrakten Wissensstrukturen (Schemainduktion) unterstützt wird, da durch die Bearbeitung der isomorphen Beispiele problemstrukturbezogene und damit lösungsrelevante Ähnlichkeiten der Lösungsbeispiele hervortreten. Der Lernende extrahiert diese strukturellen Gemeinsamkeiten der isomorphen Lösungsbeispiele und versucht die Ähnlichkeiten in der neuen Problemstellung wieder zu erkennen und anzuwenden. Die erste empirische Studie zur effektiven Anzahl von isomorphen Beispielen wurde von Reed et al. (1991) zum Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen in der Algebra durchgeführt. Sie verifizierten die Erkenntnis von Gick et al. (1983), dass mindestens zwei isomorphe Beispiele unterschiedlicher Komplexität notwendig sind, um den Wissenserwerb zu fördern.

5.4.2 Fazit

Die Effektivität von internem und externem Feedback ist wie in Kapitel 2.2 dargestellt von ganz unterschiedlichen Faktoren abhängig. Dabei kann externes Feedback interne

Problemlöseprozesse im Rahmen des SRL unterstützen und zum Aufbau von (Experimentier-) Kompetenz beitragen. Obwohl diese Konzepte theoretisch stark miteinander verbunden sind, gibt es dazu bislang erst wenige empirische Studien, die sich näher mit der Thematik der spezifischen Wirksamkeit von Feedback befassen (Butler & Winne, 1995; Mory, 2004). Hier setzt die vorliegende Arbeit an und vergleicht die Wirksamkeit von verschiedenen Feedbackarten, die zum Aufbau von prozessbezogenen methodischen Kompetenzen und strategischem Wissen im Sinne des negativen Wissens beitragen und so den Kompetenzerwerb fördern sollen. Zum einen über *Extra-instructional elaboration* Feedback (Lokalisation des Fehlers) und zum anderen über eine Rückmeldung mit einer am Prompting orientierten kognitiven Aktivierung („Warum“-Feedback), jeweils in Kombination mit einem Lösungsbeispiel.

Empirie Teil

6. Fragestellung und methodischer Rahmen

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin zu untersuchen, welcher Bestandteil von Feedback im Rahmen des SRL durch Experimentieren besonders wirksam ist. Aus der Feedbackforschung konnten die spezifischen Anforderungen, die die Effektivität von Feedback ausmachen, theoretisch hergeleitet werden. Dabei zeichnet sich das SRL durch Experimentieren insbesondere durch die Notwendigkeit der Regulation innerhalb und zwischen zwei Teilzielen des Lernprozesses aus (Wirth, 2004; Wirth & Leutner, 2006): dem Identifizieren neuer Informationen (elaboriertes Feedback) und dem Integrieren neuen Wissens in bestehende kognitive Strukturen (kognitive Aktivierung). Diese beiden Teilprozesse haben wir im Rahmen unserer Studie getrennt voneinander in verschiedenen Feedbackbedingungen untersucht: Zum einen durch Fehlerrückmeldungen, die den Lernenden zusätzliche Information als Reaktion auf einen Fehler präsentierten (Versuchsbedingung: Lokalisation des Fehlers „Wo“-Bedingung) und zum anderen Begründungen des Fehlers auf einer Meta-Ebene in Kombination mit einer am Prompting orientierten Frage zur kognitiven Aktivierung (Versuchsbedingung: Kognitive Aktivierung „Warum“-Bedingung). Diese beiden Feedback-Bedingungen haben wir jeweils mit der Darbietung der richtigen Lösung verknüpft, um den Cognitive Load zu reduzieren und eine weitere Lerngelegenheit zu schaffen.

Ziel der vorliegenden Studie war es dabei, auf Basis eines Prä-Post-Test-Vergleichs zu untersuchen, welche spezifischen Faktoren den Prozess der Wissenskonstruktion bei Lernenden der 7. Klasse auf kompetenzorientierter Aufgabenebene bzw. auf strategischer Ebene am besten fördern. Dazu sollten die Lernenden Experimentier-Aufgaben am Computer bearbeiten und im Anschluss daran eine Antwort im Multiple-Choice-Format auswählen. Im Anschluss daran bekamen sie entsprechend der Versuchsgruppe eine Rückmeldung, welche sich auf die von ihnen ausgewählte Antwortoption bezog. Damit war die computerbasierte Unterstützung eng daran gekoppelt, welche Antwort von den Lernenden gewählt worden war.

Auch wenn es sich bei dem dieser Studie zugrunde liegenden Lernprogramm um ein klassisches Übungsprogramm handelt, haben wir uns bei der Erstellung der Versuchs-

bedingungen lerntheoretisch am Konstruktivismus orientiert. Lernen wird daher nicht als *Instruktion*, also als Verarbeitung und Abspeichern des angebotenen Wissens, sondern als aktive Konstruktion von Wissen verstanden (vgl. Roth, 2004, S. 496). Entgegen dem von Anderson entwickelten Modell der *Informationsverarbeitung* (Anderson, 2001), welches Lernende lediglich als Empfänger von Information betrachtet, haben wir bei der Entwicklung unseres Lernprogramms ganz bewusst auf klassische Instruktionen verzichtet. Unser Ziel dabei war es, dass die Lernenden über die Feedbackseiten zusätzliche Informationen bekommen und diese dazu nutzen, Wissen individuell selbst zu konstruieren und dadurch zu besseren Problemlösungen zu finden, welche durch die Präsentation der richtigen Lösung im Anschluss an das Feedback noch zusätzlich unterstützt werden sollten.

Vor dem Hintergrund der Diskrepanz zwischen den Erwartungen, die an die didaktische Methode des Experimentierens gestellt werden (vgl. KMK, 2004), und der Beobachtung der ausbleibenden Experimentierkompetenz (Hamman et al., 2006) haben wir die Aufgabenbeispiele unseres computerbasierten Lernprogramms im Bereich des Experimentierens gewählt. Die Inhalte des Programms sind curricular valide und Vorstudien von Hamman et al. (2006) folgend dem Lernstand der Schüler angemessen.

Aus den dargestellten theoretischen Überlegungen ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Inwiefern kann der Aufbau von negativem Wissen (Oser et. al., 1998) im Rahmen eines computerbasierten Lernprogramms durch Feedback unterstützt werden?

Wie in den vorhergehenden Kapiteln dargestellt wurde, ist der Erwerb von negativem Wissen ein Faktor zum erfolgreichen Aufbau von Experimentierkompetenz. Da die Biologieaufgaben kompetenzorientiert formuliert sind, stellt sich die Frage, ob neben der Experimentierkompetenz auch auf der strategischen Dimension ein Lernzuwachs zu verzeichnen ist. Um herauszufinden, welche Aspekte von Feedback neben der Experimentierkompetenz auch die strategische Herangehensweise beim Experimentieren fördert, haben wir die beiden Dimensionen kompetenzorientierter und strategischer Wissenszuwachs getrennt voneinander im Rahmen eines 2x2 gekreuzten Prä-Post-Test-Designs getestet.

- Inwiefern wird der Lernzuwachs auf der kompetenzorientierten Aufgaben-Ebene durch elaboriertes Feedback mit dem Fokus auf der Lokalisation des Fehlers stärker gefördert als durch das Feedback mit der Begründung / kognitiven Aktivierung des Fehlers?
- Inwiefern wird der Lernzuwachs auf strategischer Ebene durch Feedback mit der Begründung des Fehlers in Kombination mit einer am Prompting orientierten Frage zur kognitiven Aktivierung stärker gefördert als durch ein Feedback zur Lokalisation des Fehlers?
- Ist die Kombination aus Informationen über die Lokalisation des Fehlers und die Begründung des Fehlers mit kognitiver Aktivierung die effektivste Form der Rückmeldung?

Um die Einflüsse auf den Lernzuwachs noch besser spezifizieren zu können und besser zu verstehen, wie selbstreguliertes Lernen mit Hilfe eines computerbasierten Lernprogramms effektiv gestaltet werden kann, interessieren uns zusätzlich noch folgende differenzielle Fragestellungen:

- Inwiefern korreliert Selbstreguliertes Lernen der Schüler mit hohen Lernzuwächsen auf der kompetenzorientierten und der strategischen Ebene?
- Lernen Schüler mit einer hohen Ausprägung der Big-Five-Persönlichkeitsdimension Gewissenhaftigkeit besser als Lerner mit einer geringen Ausprägung auf dieser Dimension?

6.1 Ableitung der Hypothesen

Im Theorieteil dieser Arbeit wurde herausgearbeitet, wie geeignete Unterstützungsmaßnahmen aussehen könnten, um Lernprozesse anzuregen. Entsprechend wurden in der Trainingsphase der vorliegenden Studie vier verschiedene Feedback-Varianten getestet.

Dabei sollte folgende Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet werden: **Welche Art von Feedback eignet sich am besten zum Aufbau von negativem Wissen nach Oser?**

Das negative Wissen nach Oser haben wir auf zwei Dimensionen in einem Prä-Post-Test-Vergleich erhoben. Zum einen auf einer kompetenzorientierten Ebene (AV1), die in der Interventionsphase anhand von strukturell ähnlichen Biologie-Aufgaben mit Hilfe von vier verschiedenen Feedback-Varianten trainiert wurde und auf einer strategischen Ebene (AV2), die im Rahmen des Lernprogramms nicht trainiert wurde.

Die Biologie-Aufgaben wurden von der Forschungsgruppe um Marcus Hammann (Universität Münster) kompetenzorientiert konstruiert. Da der Kompetenzbegriff auch eine strategische Dimension umfasst, müsste durch die Bearbeitung der kompetenzorientierten Aufgaben auch die strategische Kompetenz der Lernenden als Teilkompetenz des Experimentierens gefördert werden.

Daraus ergibt sich folgende Forschungsfragestellung:

Welche Aspekte des Feedbacks bewirken den größten Lernzuwachs in Bezug auf die korrekte Lösung der Biologie-Aufgaben (AV1) bzw. auf strategischer Ebene (AV2)?

Um diese Frage zu beantworten, wurden in der vorliegenden Studie die vier unterschiedlichen Feedback-Varianten miteinander verglichen, nämlich Feedback mit Informationen über die Lokalisation des Fehlers, Feedback, welches durch kognitive Aktivierung und Prompting zum eigenen Finden der Lösung anregt und einer Kombination aus beiden Varianten, die jeweils mit einer Kontrollbedingung verglichen wurden.

Die vermuteten Unterschiede lassen sich als folgende Hypothesen, die in Kapitel 6 aus dem theoretischen Teil dieser Arbeit abgeleitet wurden, formulieren:

H1: „Wo-Feedback“ (Lokalisation des Fehlers) bewirkt einen Lernzuwachs.

H2: „Warum-Feedback“ (kognitive Aktivierung) bewirkt einen Lernzuwachs.

H3: Der Lernzuwachs ist in der „Wo-Feedback“-Bedingung (Lokalisation des Fehlers) in Bezug auf die korrekte Bearbeitung der Biologie-Aufgaben größer als in der „Warum-Feedback“-Bedingung (kognitive Aktivierung).

H4: Lerner, die „Warum-Feedback“ (kognitive Aktivierung) erhalten, haben einen größeren strategischen Wissenszuwachs als Lerner, die „Wo-Feedback“ erhalten.

H5: Der Lernzuwachs sowohl auf kompetenzorientierter (gemessen an der richtigen Lösung der Biologie-Aufgaben) wie auch auf strategischer Ebene ist in der kombinier-

ten Bedingung aus „Wo-Feedback“ (Lokalisation des Fehlers) und „Warum-Feedback“ (kognitive Aktivierung) am größten.

H6: In der Kontrollbedingung sind ist der Lernzuwachs sowohl bezogen auf die richtige Lösung der Biologieaufgaben als auch auf strategischer Ebene am geringsten.

6.2 Design

Die Untersuchung basiert auf einem zweifaktoriellen bivariaten 2x2 Between-Subject-Design.

Tabelle 5: Versuchsdesign

		Kognitive Aktivierung „Warum?“	
		+	-
Lokalisation des Fehlers „Wo?“	+	„Kombination“	„Wo?“
	-	„Warum?“	„Kontrolle“

Die Versuchsbedingungen unterscheiden sich in der Art des Feedbacks. Jede der Feedback-Varianten ist, angelehnt an die Struktur des negativen Wissens von Oser, dreigliedrig strukturiert (vgl. Kapitel 5, Feedback).

Bei der Konstruktion der Feedback-Bedingungen unseres 2x2 Designs haben wir uns an der Umsetzung des Algorithmus zum Aufbau einer Fehlerkultur (Oser & Spychiger, 2005, S. 125) orientiert um auf Basis dieser Struktur eine trennscharfe Unterteilung der Versuchsbedingungen zu erzielen.

Tabelle 6: Darstellung der Umsetzung des Algorithmus zum Aufbau einer Fehlerkultur (Oser & Spychiger, 2005, S. 125) in den Versuchsbedingungen des 2x2 Designs der vorliegenden Studie

Elemente zum Aufbau einer Fehlerkultur	„Wo“-Bedingung mit Lokalisation des Fehlers	„Warum“-Bedingung mit kognitiver Aktivierung
Fehlerdetektion vornehmen	ja	nein
Zeit zur Fokussierung nehmen	nein	ja: aktivierende Frage
Exzessive Kontrastierung von richtig-falsch und deren Begründung stimulieren	ja	nein
Möglichkeit zur Öffentlichmachung des Fehlers erkennen	nein	nein
Aufbau von Gedächtnisstützen ermöglichen	nein	ja
Repetitionsmöglichkeiten schaffen	ja	ja
Überprüfung und Bewertung des richtigen Verhaltens bewirken (Schutzwissen)	ja	ja
Aufbau eines tragfähigen Bewertungssystems organisieren	Bewertung durch Lernprogramm	Bewertung durch Lernprogramm
Flexible Evaluation der individuellen Fehlermechanismen vornehmen	nein	ja
Langzeitwirkung des Geleisteten wiederholend überprüfen	ja, nach zwei Wochen	ja, nach zwei Wochen

Basierend auf empirischen Befunden von Oser und Spychiger (2005, S. 209) beschreiben diese den Prozess des Lernens aus Fehlern in folgenden drei Schritten:

1. Der Fehler muss *erkannt* werden. (...)
2. Man muss den Fehler *akzeptieren und zu ihm stehen*.
3. Man muss aus dem Fehler lernen *wollen*.

Auch bei Dinkelaker (2007) findet sich eine Trias zur Abfolge des Lernens aus Fehlern aus:

1. Diagnose,
2. Korrektur und
3. Evaluation

Dinkelaker zufolge ermöglicht diese Trias die Darstellung von Lernen: „Erst die Kombination dieser drei Zuschreibungsakte erlaubt die plausible Darstellung des Übergangs einer Person vom Nicht-Wissen zum Wissen“ (Dinkelaker, 2007, S. 202).

	Diagnose	Korrektur	Evaluation
Position in der Sequenzfolge	Anfang	Mitte	Ende
Fokus der Bewertung	Person	Wissenserwartungen	Lernprozess
Leitunterscheidung	Defizit Kompetenz	richtig falsch	gelernt nicht-gelernt

Abbildung 8: Diagnose, Korrektur, Evaluation (entnommen aus: Dinkelaker, 2007)

Basierend auf dem von Oser und Spychiger (2005, S. 209) beschriebenen Prozess des Lernens aus Fehlern und der Darstellung der Trias des Lernens von Dinkelaker (2007) haben wir in beiden Versuchsbedingungen unseres Lernprogramms die Lösungen der Biologie-Aufgaben durch die Lernenden jeweils in drei Schritten gegliedert:

- 1) Analyse des Fehlers
- 2) Korrektur
- 3) Begründung des Fehlers

Bei Oser und Spychiger (2005) wird zusätzlich noch der persönliche Bezug des Lernenden zum gemachten Fehler betont. Dieser Aspekt findet sich bei uns ausschließlich in der „Warum“-Bedingung, indem dort die Reflexion der Lernenden angeregt und dazu aufgefordert wird, das Neu-Gelernte mit bereits vorhandenem Wissen zu verknüpfen.

6.2.1 Lokalisation des Fehlers („Wo“-Feedback-Variante)

Beim elaborierten Feedback ist es wichtig, dass Informationen bereitgestellt werden, welche die korrekte Lösung verständlich machen und ggf. sogar eine detaillierte Beschreibung des Lösungsweges in Form eines Musterlösungsansatzes mit einer entsprechenden Begründung beinhaltet (siehe Kapitel 5.2.3 zum elaborierten Feedback). Aus diesem Grund haben wir bei der Konstruktion der Versuchsbedingungen den Elaborationsgrad des Feedbacks variiert.

Da im Rahmen des Programms ausschließlich anhand der eigenen Fehler gelernt werden sollte, wurde auf jede inhaltliche Instruktion verzichtet. Zusätzliche Information

wurde auf den Feedbackseiten präsentiert. In der „Wo“-Bedingung war der Fokus des Lernens auf die konkrete Lokation des Fehlers konzentriert. Daher wurde das vom Lernprogramm dargebotene Feedback, angelehnt an eine Kombination aus *Instruction based* und *Extra-instructional elaboration* (nach der Kategorisierung von Kulhavy & Stock, 1989) so aufgebaut, dass die Feedbackseiten die Instruktion ersetzen. Zusätzlich zu der Rückmeldung wo der Fehler gelegen hat und der Begründung, an welcher Stelle der konkrete Fehler lokalisiert war, wurde den Lernenden im Anschluss an das Feedback die richtige Lösung präsentiert.

Dadurch wurden den Lernenden ganz konkret anhand der gemachten Fehler zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt. Da in dieser Versuchsbedingung die Lokalisation des Fehlers im Mittelpunkt stand, wurde der Fehler zunächst diagnostiziert. Dann wurde konkret beschrieben, worin der Fehler bestanden hat. Im Anschluss daran wurde die Aufgabe erläutert und die hinter der jeweiligen Lösung stehende Variablenkontrollstrategie dargestellt und begründet.

Nachdem den Lernenden erklärt worden war, worin konkret der Fehler bestanden hatte und wie man ihn in Zukunft vermeiden kann, wurde die richtige Lösung in Form der richtigen MC-Auswahl und dem dazu gehörigen Bild präsentiert.

Im Rahmen der „Wo“-Feedback-Variante (Lokalisation des Fehlers) lag der Fokus auf der Diagnose des Fehlers („Wo war der Fehler?“). Hierbei wurde den Lernenden zunächst ganz konkret rückgemeldet, wo sich der Fehler befindet, danach wurde der Fehler korrigiert und begründet, warum die gewählte Antwortoption falsch war.

- Lokalisation des Fehlers: spezifisch
 - **Diagnose** des Fehlers
 - **Korrektur** des Fehlers und Erläuterung wo der Fehler lag.
 - **Begründung** was falsch war auf einer konkreten Ebene.

Im Anschluss daran: Präsentation der richtigen Lösung.

6.2.2 Kognitive Aktivierung („Warum“-Feedback-Variante)

In der vorliegenden Studie haben wir die Versuchsbedingung zur kognitiven Aktivierung („Warum-Bedingung“) wie das von Hattie und Timperley (2007) beschriebene *Feedback about the processing of the task (FP)* konstruiert. Im Rahmen des Lernprogramms wird daher Feedback über den Prozess gegeben, der nötig ist um eine Aufgabe zu lösen. Zunächst werden die Lernenden durch eine „Warum?“-Frage angeregt, über die von Ihnen gewählte Antwortoption noch einmal zu reflektieren, um die Fehlerdiagnose selbst stellen zu können (Anregung der Selbstregulationsfähigkeit). Im Anschluss daran wird im Rahmen des Feedbacks auf einer Meta-Ebene erläutert, warum die Antwort nicht ganz richtig war. Dabei war der Informationsverarbeitungs- oder Lernprozess im Fokus der Rückmeldung. Die Lernenden sollten darauf aufmerksam gemacht werden, was zur Lösung der Aufgabe noch zusätzlich beachtet werden sollte. Dabei bekamen die Lernenden keine konkrete Begründung für den eigenen Fehler geliefert, sondern sollten dies angeregt über eine am Prompting orientierte aktivierende Frage selbst leisten.

Unser Ziel war es dabei, im Rahmen des computerbasierten Lernprogramms eine externe Feedback-Quelle zur Verfügung zu stellen, die die kognitiven Prozesse der Lernenden anregt, damit diese fähig werden, sich selbst Feedback zu geben und so den Lernprozess selbst zu regulieren.

In der Feedbackvariante zur kognitiven Aktivierung wird daher zusätzlich zum Feedback auf das Lernprodukt, also die gegebene Antwort, auch ein Prompt, der sich auf den Lernprozess bezieht. Das lernprozessbezogene Feedback kann zusätzlich Informationen liefern, welche dem Lerner beispielsweise dabei helfen, effektive Methoden und Handlungsalternativen herauszufinden und eigene Lösungen zu überdenken (Butler & Winne, 1995; Mory, 2004).

In der vorliegenden Studie ist dies durch eine kognitiv aktivierende Frage umgesetzt, die im Anschluss an das gegebene Feedback sowohl nach einer richtigen als auch nach einer falschen Antwort auf die Aufgabe von den Lernenden als freier Text eingegeben werden sollte. Diese Frage zielte immer wieder auf die korrekte Anwendung der Variablenkontrollstrategie und wurde somit als instruktionale Methode genutzt, welche die Lernenden während des Lernprozesses zu kognitiven, metakognitiven oder

motivationalen Prozessen auffordert beziehungsweise anregt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass Lerner über das nötige (strategische) Wissen verfügen, es aber nicht anwenden. Somit ist es als Maßnahme angebracht, wenn ein sogenanntes Produktionsdefizit (vgl. Kapitel 2.4.5: Ursachen für Schwierigkeiten bei der Strategienutzung) vorliegt.

Durch diese Frage sollten die Lernenden dazu angeregt werden, das eigene Verhalten zu überdenken und entsprechend zu verändern. Dabei haben wir ganz bewusst auf zusätzliche Instruktionen oder Tipps verzichtet.

Im Rahmen der „Warum“-Feedback-Variante (Kognitive Aktivierung) wurde den Lernenden folglich nicht konkret zurück gemeldet, an welcher Stelle der Fehler gemacht wurde, sondern lediglich genannt, auf Grund welches fehlerhaften zugrundeliegenden Konstrukts sie den Fehler vermutlich gemacht haben. Durch diese Hinweise wurden die Lernenden dazu angeregt, selbst über den Ursprung des Fehlers nachzudenken und so eigenständig herauszufinden, warum die Antwort falsch war.

Dabei sollten die Lernenden die Diagnose des Fehlers angeregt durch eine „Warum“-Frage zunächst selbst leisten. Im Anschluss daran bekamen sie erklärt, warum die von ihnen gewählte MC-Antwort falsch war und schließlich bekamen die Lernenden noch eine aktivierenden Frage, die sie dazu anregen sollte, über die Ursache des Fehlers selbst nachzudenken und so optimal kognitiv aktiviert zu sein um die Präsentation der richtigen Lösung, auf nachhaltige Art und Weise verarbeiten zu können.

- Kognitive Aktivierung: allgemein
 - **Diagnose** des Fehlers leisten die Schüler angeregt durch eine „Warum“-Frage selbst.
 - **Erläuterung**, warum die gewählte Antwort falsch war – ohne Korrektur.
 - **Aktivierende Frage**, die die Schüler dazu anregen sollte, selbst über die Ursache des Fehlers nachzudenken.

6.2.3 Kombinierte Bedingung

In der **kombinierten Bedingung** beinhaltet das Feedback sowohl Informationen über die Lokalisation des Fehlers als auch die kognitive Aktivierung.

Lokalisation des Fehlers und kognitive Aktivierung:

1. **Diagnose** des Fehlers: Zunächst werden die Schüler dazu aufgefordert, angeregt durch eine „Warum“-Frage den Fehler selbst zu finden. Darunter befindet sich – abgestimmt auf den spezifischen Fehler der Lernenden – die konkrete Erläuterung des Fehlers (z.B. es wurden gleichzeitig zwei Faktoren variiert oder es wurde vergessen, eine Kontrollgruppe zu berücksichtigen...)
 - **Erläuterung**, warum die gewählte Antwort falsch war – zunächst ohne Korrektur und im Anschluss daran die **konkrete Korrektur** des spezifischen Fehlers und eine anschauliche Erläuterung wo der Fehler lag.
 - **Begründung** was falsch war auf einer konkreten Ebene und im Anschluss daran eine **aktivierende Frage**, die die Schüler dazu anregen sollte, selbst über die Ursache des Fehlers nachzudenken.

6.2.4 Kontrollbedingung

Die **Kontrollbedingung** umfasste lediglich die Information darüber, ob die gewählte Antwort richtig oder falsch war.

Im Anschluss an das jeweilige Feedback für eine falsche Antwortalternative bekamen alle Lernenden – also auch die Lernenden der Kontrollgruppe – die richtige Antwort präsentiert.

6.2.5 Präsentation der richtigen Lösung

Die Lösungsbeispiele dienen in der vorliegenden Studie als Ergänzung der versuchsbedingungsspezifischen Rückmeldung. Dazu wurden vier Versionen des feedbackbasierten Lernmoduls entwickelt, die sich in Inhalt und Ablauf nicht unterscheiden, sondern nur hinsichtlich des vor dem Lösungsbeispiel gegebenen Feedbacks.

Wie bereits in Kapitel 5.4.1 dargestellt, lässt sich die Lern- und Transferleistung bei der Bearbeitung von Aufgaben mit Lösungsbeispielen deutlich verbessern, wenn die *Anzahl der Lösungsbeispiele pro gleicher Problemstruktur* bei mindestens zwei liegt. Wie Quilici und Mayer (1996) in ihrer systematischen empirischen Untersuchung der Beispielunterschiede zeigen konnten, lassen sich mit strukturbetonten Beispielsequenzen positive Lern- und Transfereffekte nachweisen. Dazu werden mehrere Beispiele des gleichen Problemtyps mit unterschiedlichen Oberflächeninformationen kombiniert (vgl. Maier-Richter, 2005, S. 29). Daher wird in der vorliegenden Studie stets die gleiche Struktur des Lösungsbeispiels gewählt: Es ist jedes Mal die Abbildung aus der zuvor bearbeiteten Biologie-Aufgabe in Kombination mit der richtigen MC-Antwort.

In der vorliegenden Studie findet die Präsentation der Lösungsbeispiele direkt im Anschluss an das Feedback statt. Nachdem die Probanden abhängig von der Versuchsgruppe unterschiedliche Feedbackvarianten erhalten haben, bekamen alle Gruppen die richtige Lösung präsentiert. Abbildung 9 zeigt die überleitende Bildschirmseite, die zwischen dem jeweiligen, der Versuchsgruppe entsprechenden Feedback und der Präsentation der richtigen Lösung eingeblendet wurde.

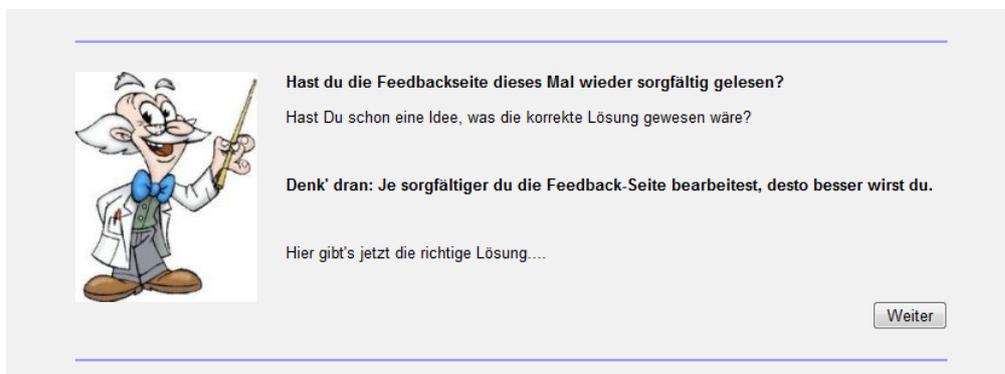
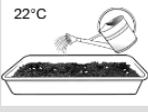


Abbildung 9: Beispiel für eine Motivationsseite vor der Seite mit der richtigen Antwort.

Lösung:

Topf 1:
22°C



Erde,
Licht,
Wasser,
22°C

Topf 2:
22°C



Erde,
Dunkel,
Wasser,
22°C

Topf 3:
22°C



Erde,
Licht,
kein Wasser,
22°C

Mit dieser Wahl kann man überprüfen, ob Bohnensamen *Wasser* und *Licht* zum Keimen benötigen.

Abbildung 10: Beispiel für ein Lösungsbeispiel

Abbildung 10 zeigt die Darstellung eines Lösungsbeispiels. Dabei wurde das Lösungsbeispiel so aufgebaut, dass es immer die Auswahl der richtigen MC-Antwort in Kombination mit der dazu gehörigen Illustration zeigte, die von den Lernenden elaboriert und verinnerlicht werden sollte.

6.2.6 Auswertungsplanung

Zur Datenauswertung werden zwei einseitige Hypothesen getestet: Die erste abhängige Variable ist der inhaltliche Lernzuwachs, der auf das *Wo*-Treatment reagieren sollte. Die zweite abhängige Variable ist der strategische Lernzuwachs, der auf das *Warum*-Treatment reagieren sollte. Zusätzlich wird der Interaktionseffekt zwischen den beiden unabhängigen Variablen überprüft. Die Auswertung wird anhand einer Regressionsanalyse durchgeführt, damit Beta über das Vorzeichen einseitig interpretiert werden kann.

Die Regressionsanalyse wird schrittweise durchgeführt: Im ersten Schritt wird der Post-Wert der abhängigen Variable nur durch ihren Prä-Wert erklärt, an der Konstante kann man den positiven Lernzuwachs ablesen.

Im zweiten Schritt werden beide Haupteffekte und deren Interaktion in das Regressionsmodell eingeführt, damit im dritten Schritt der zusätzliche Beitrag der Kovariaten geprüft werden kann. Im vierten Schritt wird überprüft, ob bestimmte Kovariate mit den UVn interagiert, denn erst dann sind diese ein Moderator des Wissenszuwachses.

6.3 Material und Instrumente

6.3.1 Strategiewissenstest zum Experimentieren (EEST-2)

Um der Frage eines Produktionsdefizits nachzugehen, ist es entscheidend dabei Strategiewissen und Strategienutzung getrennt voneinander zu erfassen. Daher werden im Folgenden Maße für gezeigte prozessbezogene methodische Kompetenzen, also die Strategienutzung, und für das Wissen über Experimentierstrategien untersucht.

6.3.2 Entwicklung des Strategiewissenstests

Im Folgenden wird der theoretische Hintergrund des im Lernprogramm verwendeten Strategiewissenstests beschrieben, der das Strategiewissen im Bereich Experimentieren erfassen soll. Der Nutzen eines solchen Tests für unsere Studie liegt in seinem diagnostischen Wert.

Dieser Test zum metakognitiven Strategiewissen im Bereich Experimentieren (Marschner, 2011) ist eine Weiterentwicklung des Essener Experimentierstrategie-Wissenstest (EEST) von Thillmann (2008), der wiederum an bisherige Verfahren zur Erfassung von Lernstrategien, wie den „Würzburger Lesestrategie-Wissenstest für die Klassen 7-12“ (WLST) von Schlagmüller und Schneider (2007) angelehnt ist. Der Test umfasst Aufgaben zum Aufstellen von Hypothesen, Experimentieren mit isolierender Variablenkontrolle und zum Festhalten von Schlussfolgerungen.

In den Aufgaben des EEST-2 folgen einer kurzen Beschreibung einer experimentellen Fragestellung drei Paare von Handlungsalternativen, von denen die Schüler jeweils die bessere wählen sollen. Bedingt durch diesen Aufbau prüft der Test weniger das deklarative Wissen über Experimentierstrategien, als vielmehr das konditionale Wissen und das relationale Wissen (siehe Marschner, 2011, S. 22). Die in den Aufgaben beschriebenen Situationen setzen kein spezifisches Vorwissen voraus. Sie beinhalten Inhalte, die auf Basis des Schulwissens und der Erfahrungen aus dem Alltag der Lernenden als bekannt vorausgesetzt werden können. Bei der Auswahl der Aufgabeninhalte hat Marschner (2011) zudem darauf geachtet, dass keine fachinhaltlich falschen Alternativen als strategisch gute Alternativen formuliert wurden. Die Durchführung des Tests dauert ca. 5-10 Minuten.

Die Studie von Marschner (2011) liefert Hinweise darauf, dass mit dem EEST-2 das Wissen über Experimentierstrategien valide erfasst werden kann. So fand sie einen Unterschied zwischen naturwissenschaftlich stärker gebildeten Schülern und Schülern aus normalen Klassen, als auch ein passendes Korrelationsmuster mit den verschiedenen Schulnoten. Dies alles spricht für die Konstruktvalidität des Tests. Jedoch schränkt Marschner (2011) ein, dass sich die Strategien im Test nicht trennen lassen: „Der EEST-2 ist inhaltlich auf einen bestimmten Bereich beschränkt, nämlich den Experimentierzyklus in den drei Schritten Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung, und somit nicht gleichzusetzen mit einem Instrument, das Experimentierkompetenz in seiner Ganzheit erfassen will.“

6.3.3 EEST-2: Paper-and Pencil-Version und Lernprogramm

Marschner (2011) hat im Rahmen ihrer Weiterentwicklung des Fragebogens EEST-2 ein Paper-and-Pencil-Format gewählt (siehe Abbildung 11). Diese Variante haben wir für die vorliegende Studie in unser computerbasiertes Lernprogramm integriert.

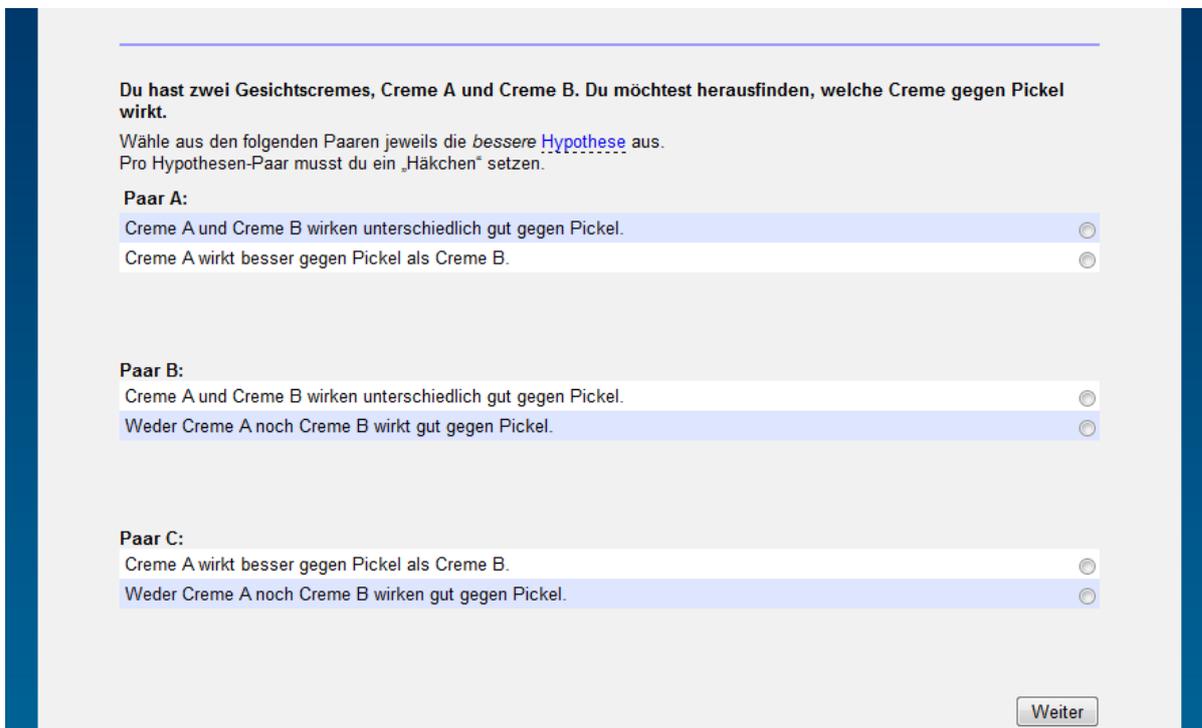
Kreuze immer das Kästchen hinter der, deiner Meinung nach, besseren Antwort an.

1. Du hast zwei Gesichtscremes, Creme A und Creme B. Nur eine der beiden Cremes wirkt gegen Pickel. Du möchtest herausfinden, welche Creme gegen Pickel wirkt. <i>Dir fallen dazu folgende Ideen ein, die du experimentell überprüfen möchtest. Bewerte die Ideen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt.</i>	
A.	Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel. <input type="checkbox"/> Creme A wirkt besser gegen Pickel als Creme B. <input type="checkbox"/>
B.	Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel. <input type="checkbox"/> Weder Creme A noch Creme B wirkt gut gegen Pickel. <input type="checkbox"/>
C.	Creme A wirkt besser gegen Pickel als Creme B. <input type="checkbox"/> Weder Creme A noch Creme B wirkt gut gegen Pickel. <input type="checkbox"/>

Abbildung 11: Beispiel Item des EEST-2 im Forced-Choice-Format (Marschner, 2011), Paper-and-Pencil Version

Auf dem Computerbildschirm wurden jeweils drei Paarvergleiche pro Seite angezeigt, wobei man jeweils nur ein Kästchen pro Paarvergleich auswählen konnte (siehe Abbildung 12). Wurden die Paarvergleiche nicht vollständig bearbeitet, zeigte das Programm eine Fehlermeldung an. Die Lernenden konnten das Programm nur dann weiter bearbeiten, wenn für jeden Paarvergleich eine Auswahl getroffen worden war.

Die Instruktion des EEST-2 haben wir für die vorliegende computerbasierte Studie kürzer gestaltet und an das Bildschirmformat angepasst.



The screenshot shows a user interface for a learning program. At the top, there is a title bar. Below it, the text reads: "Du hast zwei Gesichtscremes, Creme A und Creme B. Du möchtest herausfinden, welche Creme gegen Pickel wirkt." followed by instructions: "Wähle aus den folgenden Paaren jeweils die bessere Hypothese aus. Pro Hypothesen-Paar musst du ein „Häkchen“ setzen." There are three sections, each labeled "Paar A:", "Paar B:", and "Paar C:". Each section contains two hypotheses with radio buttons. In the "Paar A:" section, the first hypothesis "Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel." is selected. In the "Paar B:" section, the second hypothesis "Weder Creme A noch Creme B wirkt gut gegen Pickel." is selected. In the "Paar C:" section, the second hypothesis "Weder Creme A noch Creme B wirken gut gegen Pickel." is selected. At the bottom right, there is a button labeled "Weiter".

Abbildung 12: Beispiel für die o.g. Forced-Choice-Items in der computerbasierten Version des Lernprogramms

6.3.4 Auswertung des EEST-2

Die Auswertung des verwendeten Forced-Choice-Formats erfolgte, indem pro Item-Paar, d.h. pro vorgegebenem Paarvergleich, ein Punkt gegeben wurde, wenn die bessere Handlungsalternative angekreuzt wurde und kein Punkt, wenn die schlechtere Alternative gewählt wurde. Da es sich bei der Beantwortung aller drei Items zu einer Aufgabe um einen vollständigen Paarvergleich handelt, können zudem Inkonsistenzen im Antwortmuster erkannt werden.

Beurteilt man beispielsweise Antwort A als besser als Antwort B und Antwort B besser als Antwort C, müsste bei einem konsistenten Antwortverhalten im dritten Paarvergleich Antwort A besser beurteilt werden als Antwort C. Geschieht dieses nicht, handelt es sich um ein inkonsistentes Antwortmuster. Diese Inkonsistenzen hat Marschner (2011) als Hinweis dafür interpretiert, dass geraten wurde. Diese zusätzliche Information wurde bei der Auswertung berücksichtigt, indem die inkonsistenten Antworten als „geraten“

und richtige Antworten somit nicht als richtig gezählt wurden. Der Gesamtscore im Strategiewissen ergibt sich somit aus der Anzahl richtig und konsistent beantworteter Items, geteilt durch die Anzahl aller Items.

6.3.5 Beschreibung des internetbasierten Lernprogramms

Für diese Arbeit wurde ein internetbasiertes Lernprogramm auf Basis von erprobten Biologie-Aufgaben der Arbeitsgruppe von Marcus Hammann programmiert.

Die verwendeten Aufgaben waren bereits in der Praxis erprobt und hatten in der Paper-and-Pencil Version eine mittlere Lösungswahrscheinlichkeit. Ziel des Programms war es, dass die Lernenden die Aufgaben am Computer bearbeiten und durch computergestütztes adaptives Feedback die Variablenkontrollstrategie erlernen.

Neben den Biologie-Aufgaben beinhaltete das Lernprogramm auch psychologische Fragebögen zu Vorwissen, Selbstwirksamkeitserwartung, den Umgang mit Fehlern und Persönlichkeit (Big Five). Die Auswahl der in dem Programm verwendeten Biologie-Aufgaben richtete sich nach dem theoretischen *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS)-Modell von Klahr und Dunbar (1988). Das SDDS-Modell beschreibt strategisch gutes Experimentieren als eine Interaktion zwischen der Suche im Hypothesenraum, dem Testen von Hypothesen und der Analyse von Evidenzen (siehe Kapitel 2.3).

Für das Lernprogramm wurden Biologie-Aufgaben aus diesen drei Bereichen ausgewählt. Dadurch konnten die Lernenden zu jedem Kompetenzbereich des Experimentierens Aufgaben bearbeiten und Experimentieren als Methode der Erkenntnisgewinnung erleben. Der Schwerpunkt der verwendeten Aufgaben lag dabei im Experimentierraum, speziell beim Erwerb der Variablenkontrollstrategie.

Ziel des konzipierten Trainings war die Förderung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung, speziell der „Variablenkontrollstrategie“ im Bereich Experimentieren. Experimentieren ist eine wichtige Kernkompetenz. Sie ist in den länderübergreifenden Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss v. 16.12.2004) verankert und als Teilbereich des Kompetenzbereichs „Erkenntnisgewinnung“ Bestandteil des Biologie-Curriculums der Sekundarstufe I in Hessen. In den Lehrplänen der 7. Klassen für das Land Hessen (2008) ist das Experimentieren mit Modellen oder realen Objekten vorgesehen. Dies konnte mit Hilfe des interaktiven Lern-

programms aufgegriffen werden – ohne jedoch aufwendig Experimente vorbereiten zu müssen. Somit sind die im Lernprogramm verwendeten Inhalte thematisch an das Curriculum der 7. Klasse angelehnt (z.B. Photosynthese, Samenkeimung, Hefegärung...).

Ein weiterer Vorteil des Programms war es, dass jeder einzelne Schüler selbst mit dem Programm interagieren konnte und so auch ruhige Schüler gefordert wurden, die sich im Rahmen des normalen Unterrichts wenig beteiligen.

6.3.6 Ablauf des Lernprogramms

Die Studie wurde von der Autorin gemeinsam mit zwei Hilfskräften durchgeführt und war von einer konkreten Einbettung in den Unterricht unabhängig. Die schulpraktische Relevanz und die einfache Handhabung des Lernprogramms ermöglichten eine einfache Anwendung im Unterricht.

Das Lernprogramm bestand aus zwei Teilen, die an zwei Tagen im Abstand von einer Woche bearbeitet wurden. Abbildung 13 illustriert noch einmal den Ablauf des Lernprogramms mit den beiden Messzeitpunkten: Der Ablauf des computerbasierten Lernprogramms ist über alle Gruppen hinweg der gleiche. Die Versuchsgruppen unterscheiden sich lediglich in der Art und Weise wie und welche Art Feedback als Reaktion auf die gelösten Biologie-Aufgaben gegeben wird.

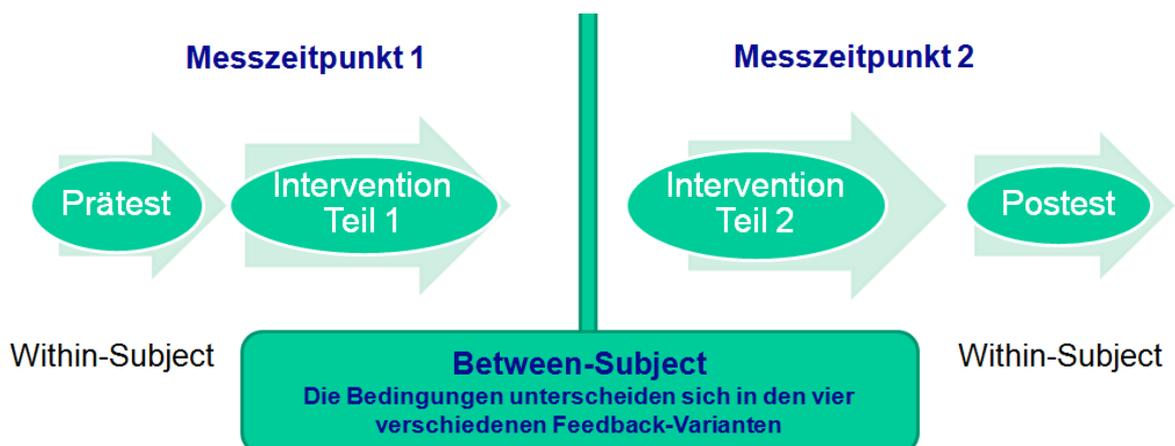


Abbildung 13: Ablauf des Lernprogramms

Im Einzelnen war der Ablauf des Lernprogramms wie folgt:

MZP1:

Das Programm startete damit, dass die Lernenden demographische Daten wie Alter, Geschlecht und Biologienote eingeben mussten. Im Anschluss daran hatten sie bei MZP1 zunächst Fragebögen über den Biologie-Unterricht zu bearbeiten. Dann folgten der Prä-Test für die strategischen Fragen zum Experimentieren (Paarvergleiche) und der Prä-Test für die Biologie-Aufgaben (sechs Aufgaben ohne Feedback), welche im Rahmen unseres Prä-Post-Test-Designs testen sollten, wie gut die Lernenden zu Beginn des Trainings die Aufgaben bearbeiten konnten. Nachdem dieser Teil bearbeitet war, begann das Training mit dem Feedback als Reaktion auf die von den Lernenden gewählte Antwortalternative. Zwischen den Aufgaben wurden Fragebögen bearbeitet (zur Selbstregulation, zur positiven Selbstmotivation, zur Selbstwirksamkeitserwartung und zu verwendeten Lernstrategien). Nach der Bearbeitung dieser Aufgaben, war der MZP1 abgeschlossen.

MZP2:

Eine Woche später folgte dann der zweite Messzeitpunkt. Hier starteten die Lernenden mit der Paper-and-Pencil-Version des Subtests „Figurale Analogien“ (N2) des KFT. Danach setzten sich die Lernenden die Bearbeitung des Lernprogramms am Computer fort. Dabei begannen sie dieses Mal mit den elf Biologieaufgaben der Trainingsphase (mit Feedback und Lösung). Zwischen den Aufgaben, wurden verschiedene Fragebögen bearbeitet (u.a. zum Umgang mit Fehlern, zur Selbstwirksamkeitserwartung, zur Selbstreflexion und zum Monitoring). Im Anschluss daran folgten zunächst der Post-Test zu den Biologie-Aufgaben (mit wiederum sechs Aufgaben ohne Feedback) und im Anschluss daran der EEST-2 mit den strategischen Paarvergleichen. Bei den Post-Test-Aufgaben am Ende des Programms waren lediglich die Namen der experimentierenden Personen und die Reihenfolge der Aufgaben verändert worden.

6.3.7 Bearbeitung der Biologie-Aufgaben und Feedback

Die Bearbeitung der Biologie-Aufgaben erfolgte über eine Auswahl von Multiple-Choice-Items (MC-Items). Dabei standen pro Biologie-Aufgabe jeweils vier Items zur Auswahl: drei falsche und eine richtige Antwort. Die Antwort-Items waren auf Basis

von typischen Schülerfehlern konstruiert (Hammann, siehe Kapitel 2.4) worden. Die Struktur des Programms war für die Lernenden aller Versuchsgruppen gleich. Die Versuchsbedingungen unterschieden sich lediglich darin, dass es für jede der vier Versuchsbedingungen unterschiedliche Feedback-Versionen gab. Im Programm standen somit pro Aufgabe 16 verschiedene Feedback-Versionen pro Biologie-Aufgabe des Trainings als Antwortmöglichkeiten zur Verfügung, von denen jedoch pro Versuchsbedingung nur vier Varianten angezeigt wurden. Im Anschluss an jede ausgewählte Antwortalternative bekamen die Lernenden zunächst Feedback im Rahmen der zu Beginn zufällig zugeordneten Versuchsbedingung:

6.3.8 Aufgabenbeispiel

Um einen optimalen Trainingseffekt zu erzielen, hatten die Biologie-Aufgaben alle eine ähnliche Struktur. Nachdem die Experimentier-Situation kurz skizziert wurde, folgte eine bildliche Veranschaulichung der Versuchsbedingungen, darunter die Fragestellung und eine Auswahl von drei falschen und einer richtigen Antwortalternative im MC-Format. Abbildung 14 zeigt ein Aufgabenbeispiel, wie es am Bildschirm präsentiert aussah.

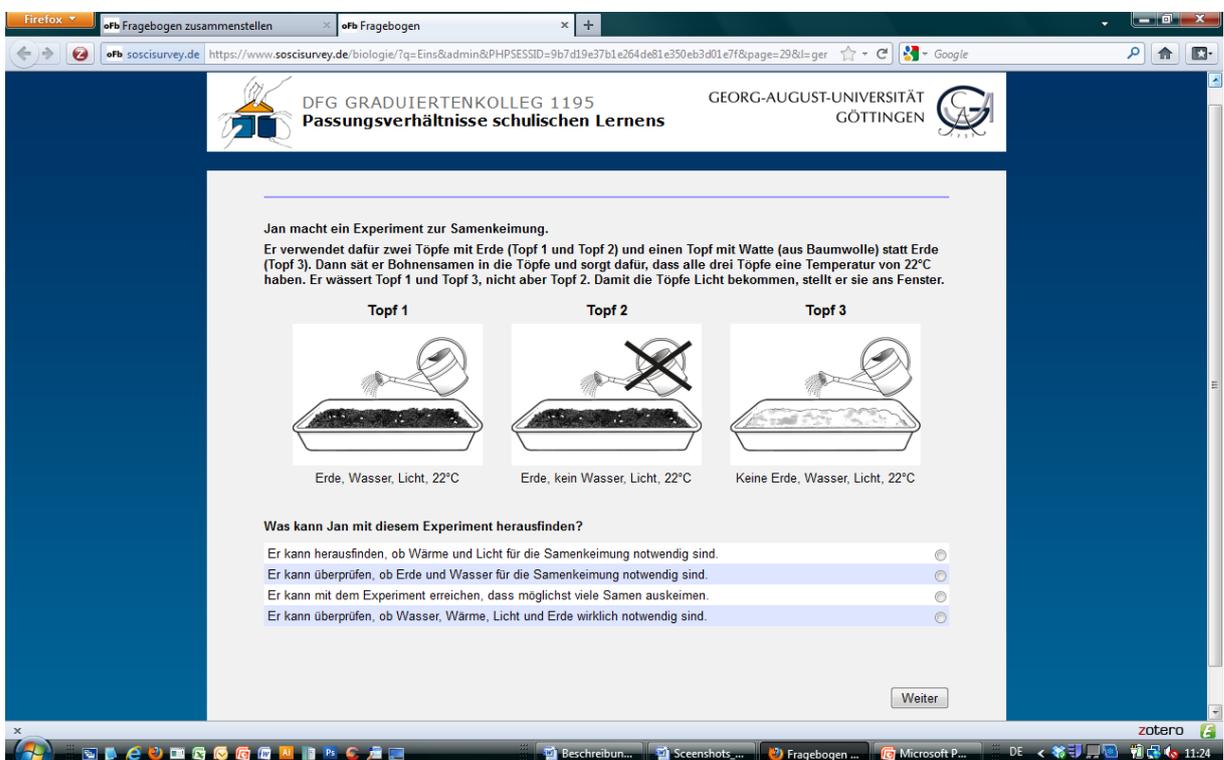


Abbildung 14: Die erste Biologie-Aufgabe des Trainings (MZP 1): mit Feedback

6.3.8.1 Beispiel für die Auswahl einer falschen Antwortoption

Durch das Auswählen eines Antwort-Items bestimmten die Lernenden welches Feedback in Abhängigkeit von der Versuchsgruppe vom Programm dargeboten wurde (siehe Abbildung 15).

The screenshot shows a Firefox browser window with a survey page from 'soscisurvey.de'. The page header includes 'DFG GRADUIERTENKOLLEG 1195 Passungsverhältnisse schulischen Lernens' and 'GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN'. The main content is a question about a seed germination experiment. It describes three pots: Topf 1 (soil, water, light, 22°C), Topf 2 (soil, no water, light, 22°C), and Topf 3 (no soil, water, light, 22°C). Below the question are four multiple-choice options, with the first one selected. A 'Weiter' button is at the bottom right.

Jan macht ein Experiment zur Samenkeimung.
Er verwendet dafür zwei Töpfe mit Erde (Topf 1 und Topf 2) und einen Topf mit Watte (aus Baumwolle) statt Erde (Topf 3). Dann sät er Bohnensamen in die Töpfe und sorgt dafür, dass alle drei Töpfe eine Temperatur von 22°C haben. Er wässert Topf 1 und Topf 3, nicht aber Topf 2. Damit die Töpfe Licht bekommen, stellt er sie ans Fenster.

Topf 1 **Topf 2** **Topf 3**

Erde, Wasser, Licht, 22°C Erde, kein Wasser, Licht, 22°C Keine Erde, Wasser, Licht, 22°C

Was kann Jan mit diesem Experiment herausfinden?

- Er kann herausfinden, ob Wärme und Licht für die Samenkeimung notwendig sind.
- Er kann überprüfen, ob Erde und Wasser für die Samenkeimung notwendig sind.
- Er kann mit dem Experiment erreichen, dass möglichst viele Samen auskeimen.
- Er kann überprüfen, ob Wasser, Wärme, Licht und Erde wirklich notwendig sind.

Weiter

Abbildung 15: Beispiel 1: Auswahl des ersten MC-Items

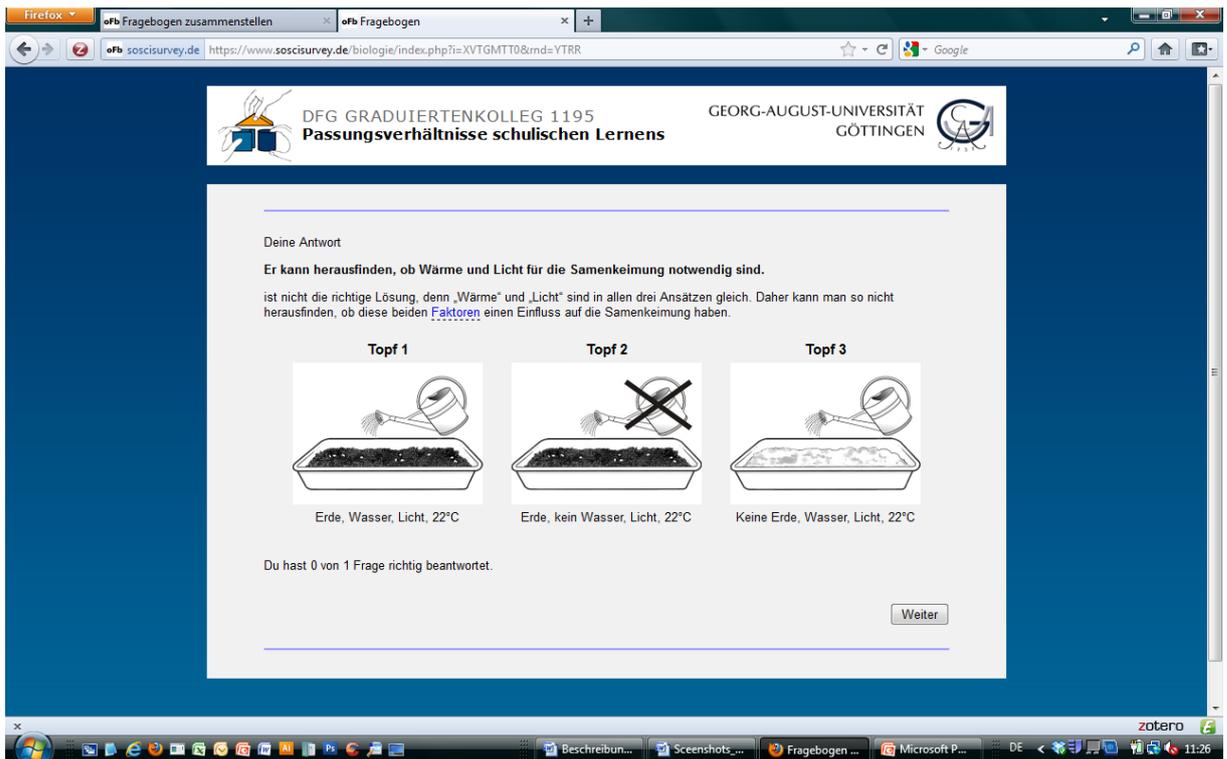


Abbildung 16: Feedback für die Versuchsbedingung „Lokalisation des Fehlers“

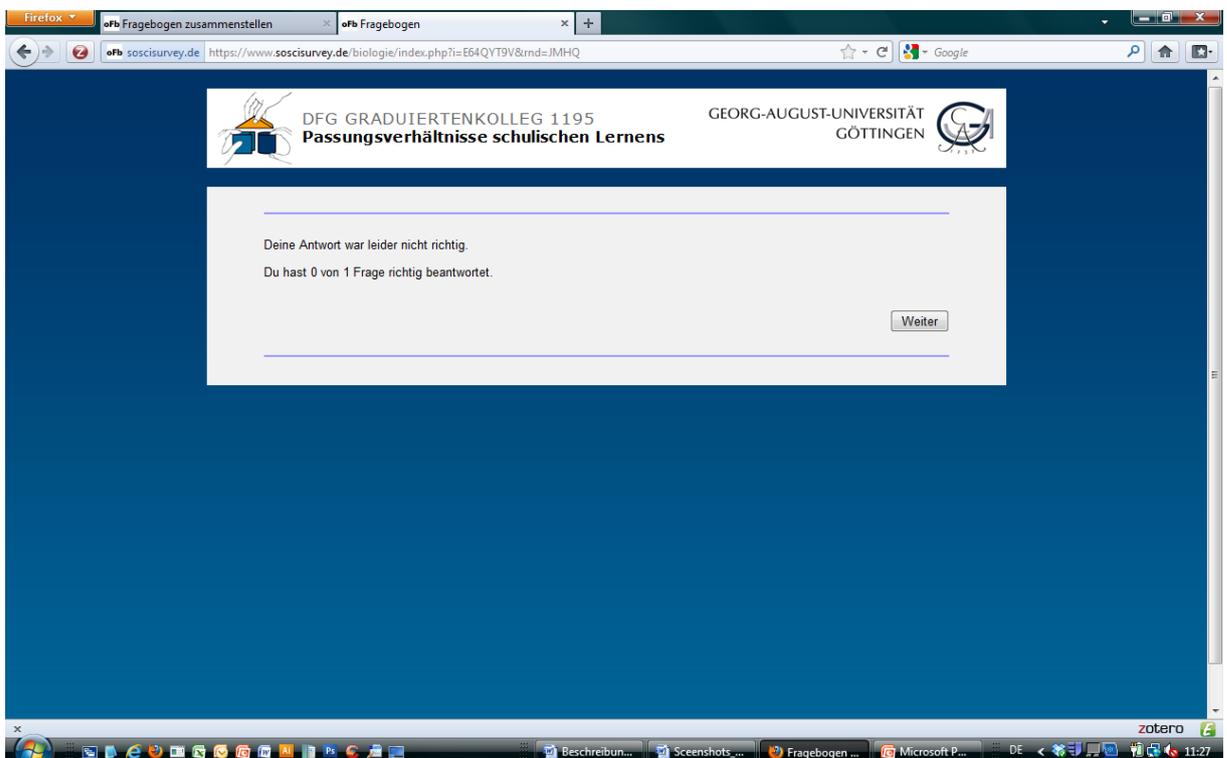


Abbildung 17: Feedback für die Kontrollgruppe

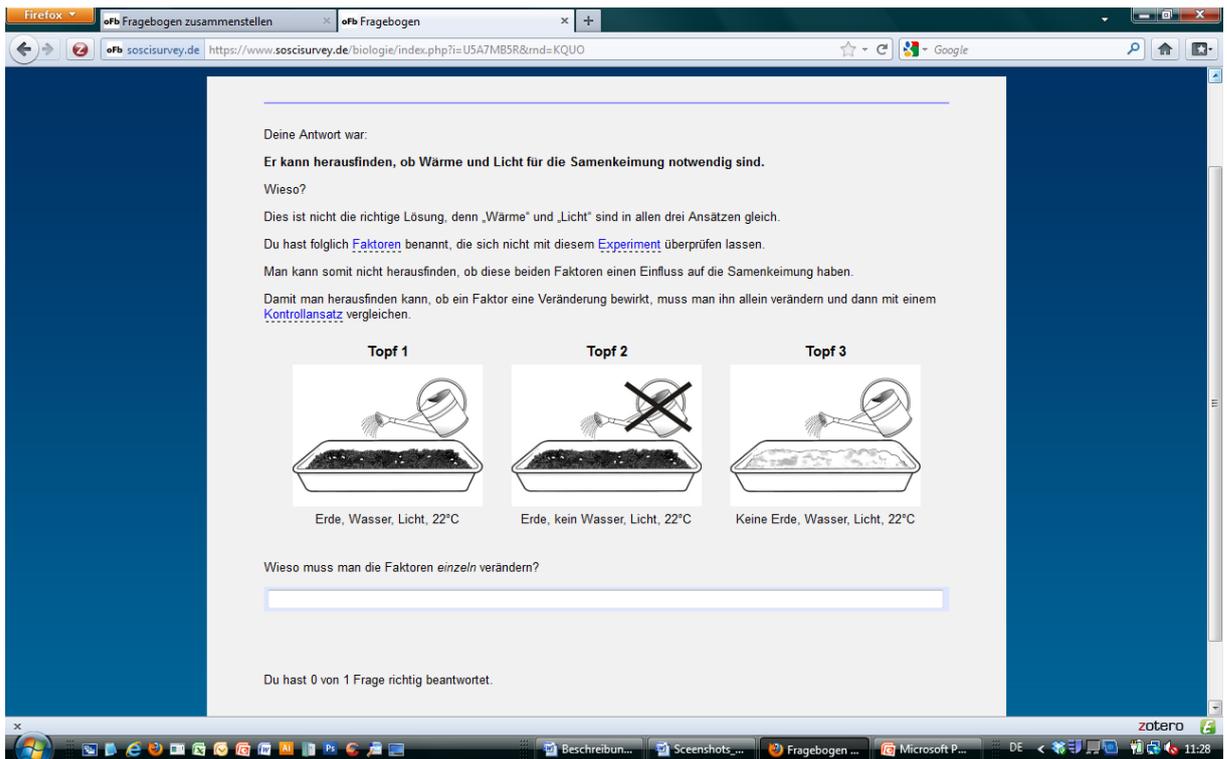


Abbildung 18: Feedback für kombinierte Versuchs-Bedingung (kognitive Aktivierung und Lokalisation des Fehlers)

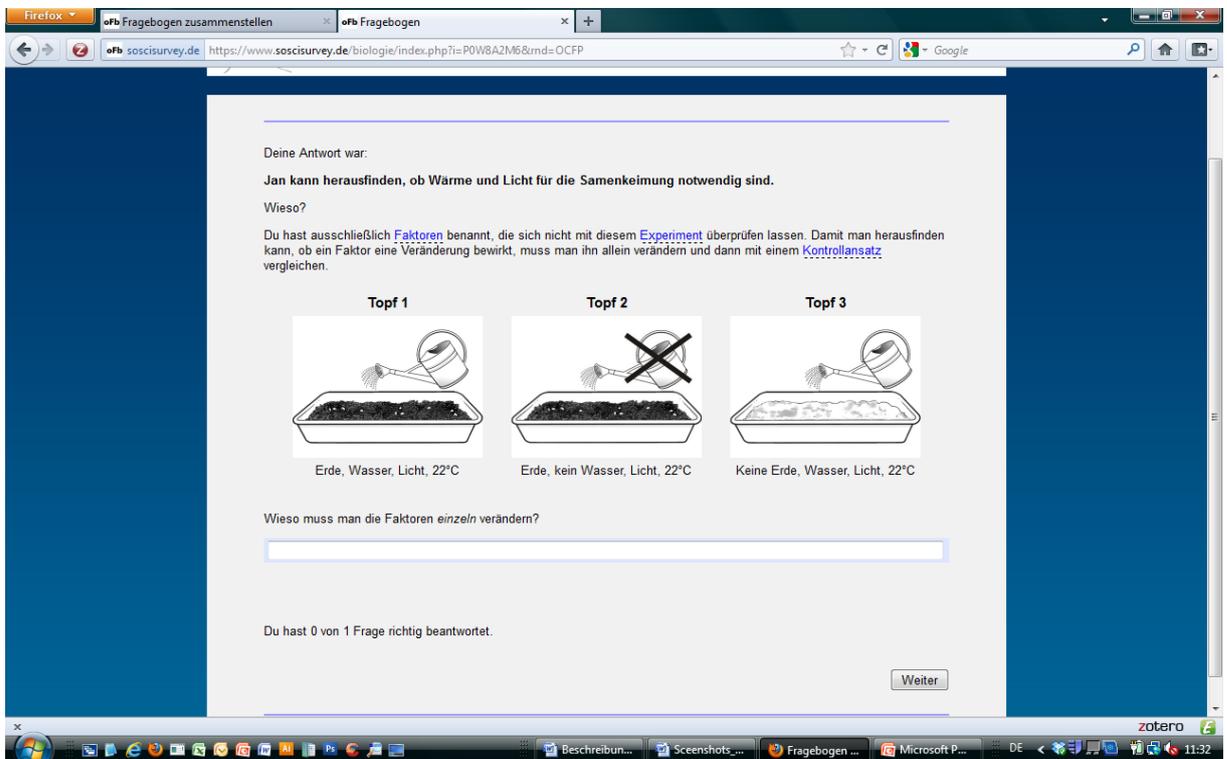


Abbildung 19: Feedbackseite für die „Warum“-Bedingung (kognitive Aktivierung)

Alle für die Altersgruppe potentiell unbekanntenen Wörter im Lernprogramm waren blau und mit einer unterstrichelten Linie markiert. Diese konnten mit dem Cursor „berührt“ werden, um sich eine leicht verständliche Definition für das Wort anzeigen zu lassen.

Die Lernenden konnten sich diese Wörter so oft über die blauen Kästchen erläutern lassen, wie sie wollten und durften zudem Notizen über diese Erklärungen in ihren Unterlagen anfertigen (siehe Abbildung 20).

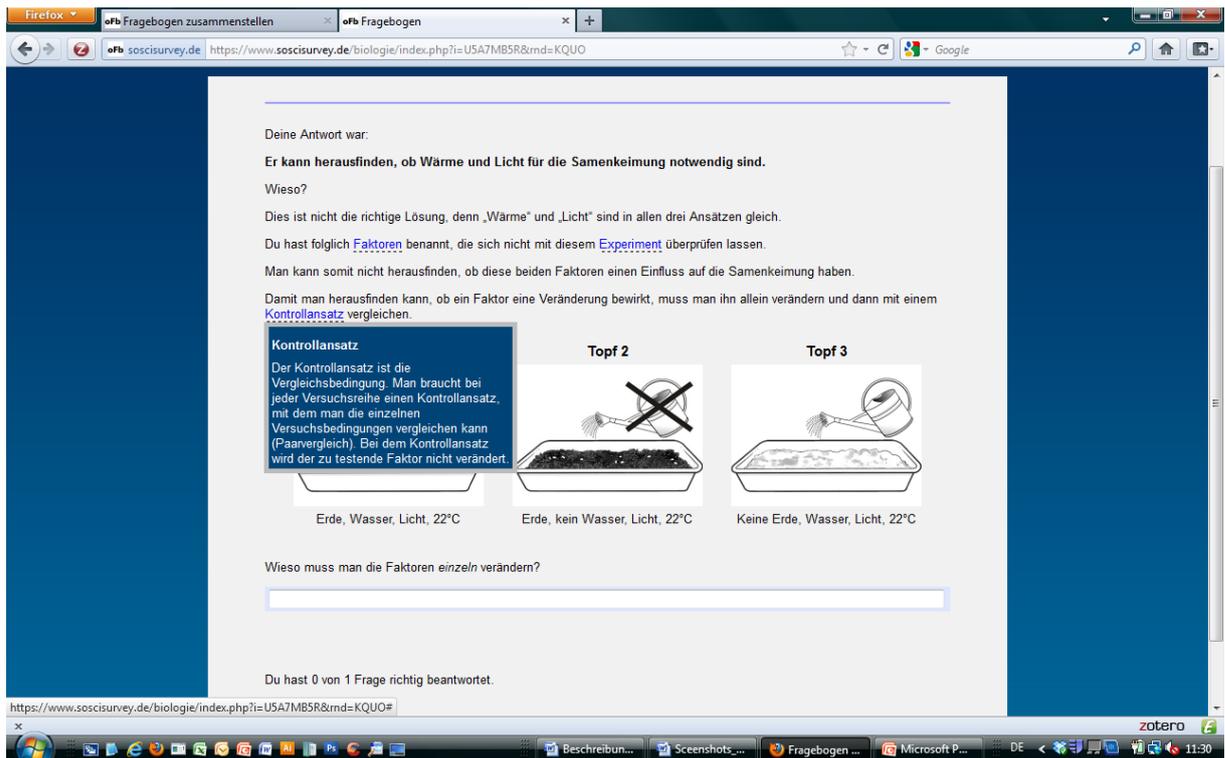


Abbildung 20: Beispiel für die Darstellung der Erklärungen der blau unterstrichenen Wörter. Für jedes blaue Wort im Lernprogramm konnten sich die Lernenden eine Erklärung anzeigen lassen.

Zwischen den Feedback-Seiten waren in unregelmäßigen Abständen Motivationsseiten gestreut. Diese waren dafür gedacht, die Aufmerksamkeit der Lernenden zu fokussieren und auf die Antwortseite vorzubereiten.

Ziel war, dass die Lernenden mit Interesse die Seite mit der richtigen Lösung lesen und dadurch die kommenden Aufgaben besser lösen können.

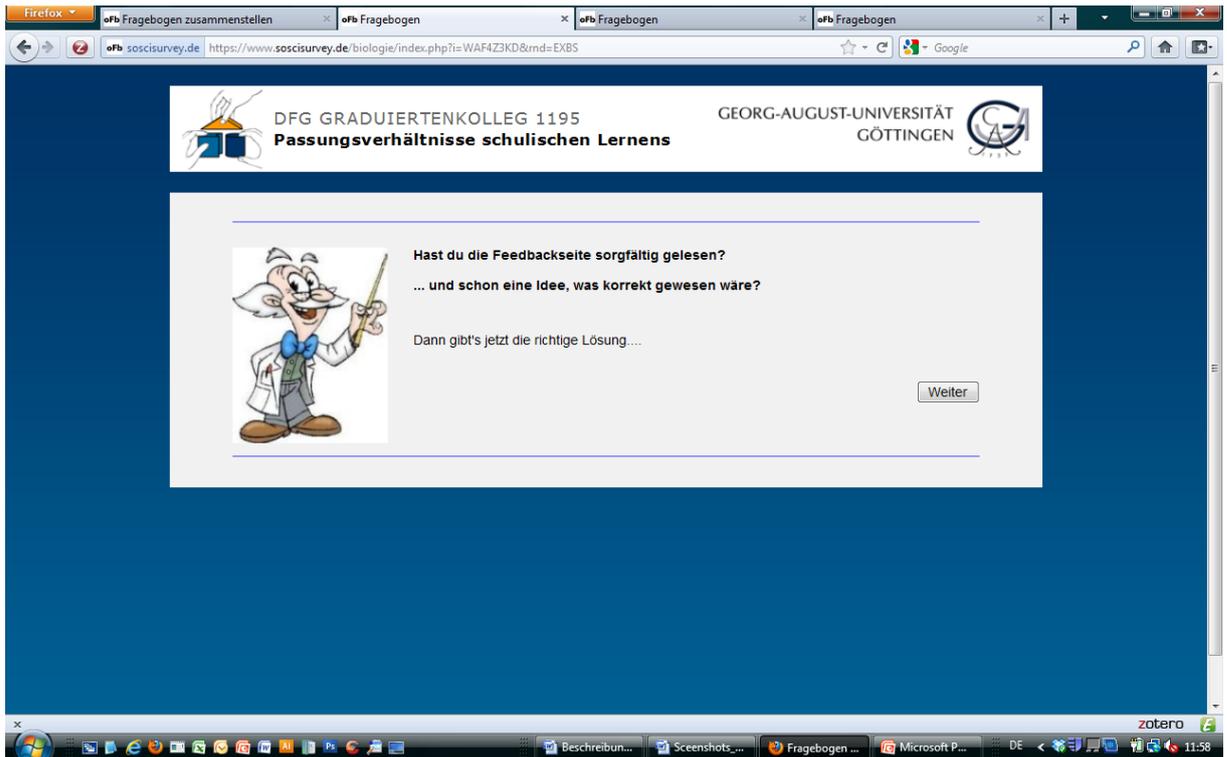


Abbildung 21: Motivationsseite (für alle vier Bedingungen gleich)

Die Lösungsseite (als Beispiel: Abbildung 22) beinhaltete das Bild aus der zuvor gestellten Biologie-Aufgabe mit der richtigen Antwort-Alternative. Diese Seite war ebenfalls für alle vier Bedingungen gleich. Auch Lernende der Kontrollbedingung bekamen nach dem „richtig/falsch“-Feedback die richtige Lösung angezeigt.



Abbildung 22: Lösungsseite für die erste Biologie-Aufgabe des Trainings

6.3.8.2 Beispiel für die Auswahl einer richtigen Antwortoption

Wurde eine Biologie-Aufgabe richtig beantwortet (für ein Beispiel, siehe Abbildung: 23), bekamen die Lernenden ebenfalls eine Lerngelegenheit um sich mit der Variablenkontrollstrategie weiter auseinandersetzen zu können und das bereits aufgebaute Wissen zu vertiefen.

Die Struktur und der Umfang dieser Seiten sind mit den Feedback-Seiten für die falsch beantworteten Fragen vergleichbar. Dies diente auch dazu, damit die Lernenden vergleichbar viel zu lesen hatten – unabhängig davon, ob sie die Aufgaben richtig oder falsch beantwortet hatten. Dadurch konnten wir in der Auswertung die Bearbeitungszeiten besser vergleichen und auch diejenigen, die „aus Versehen“ die richtige Antwort angeklickt hatten, konnten so die Gründe dafür erfahren, warum es richtig war.

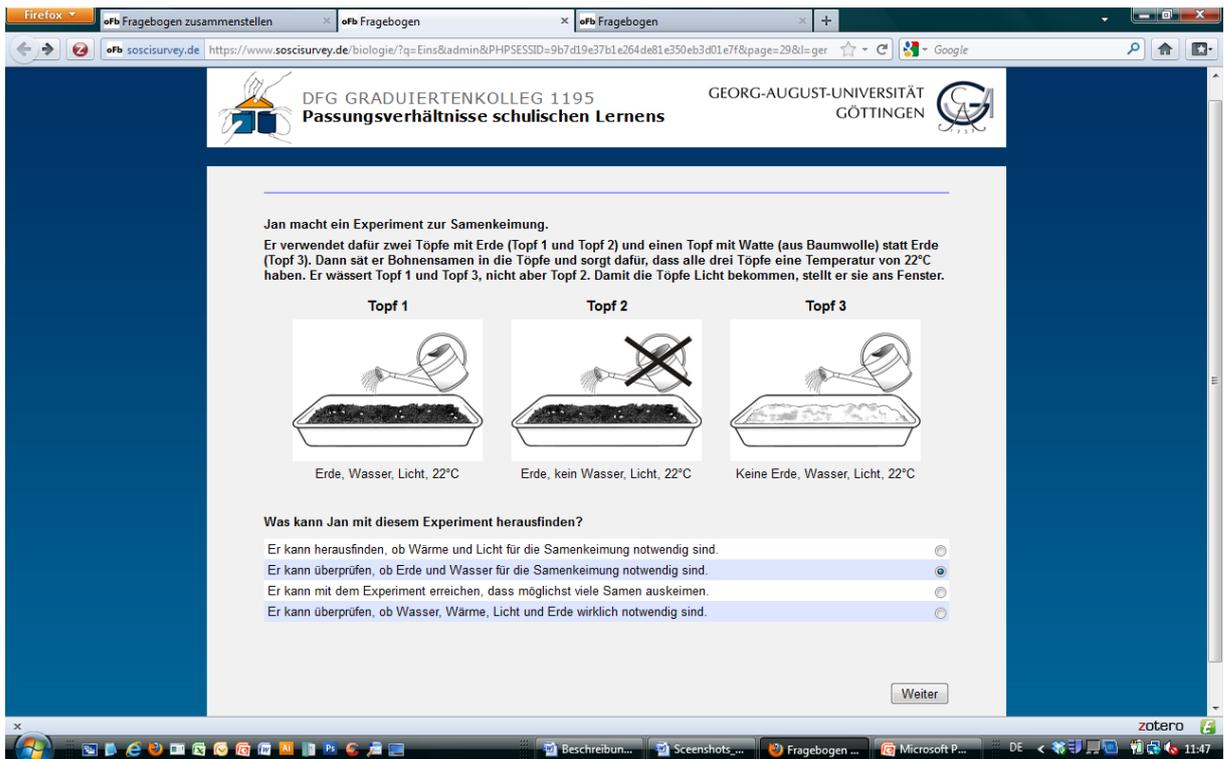


Abbildung 23: Auswahl des richtigen Items bei der ersten Biologie-Aufgabe des Trainingsteils

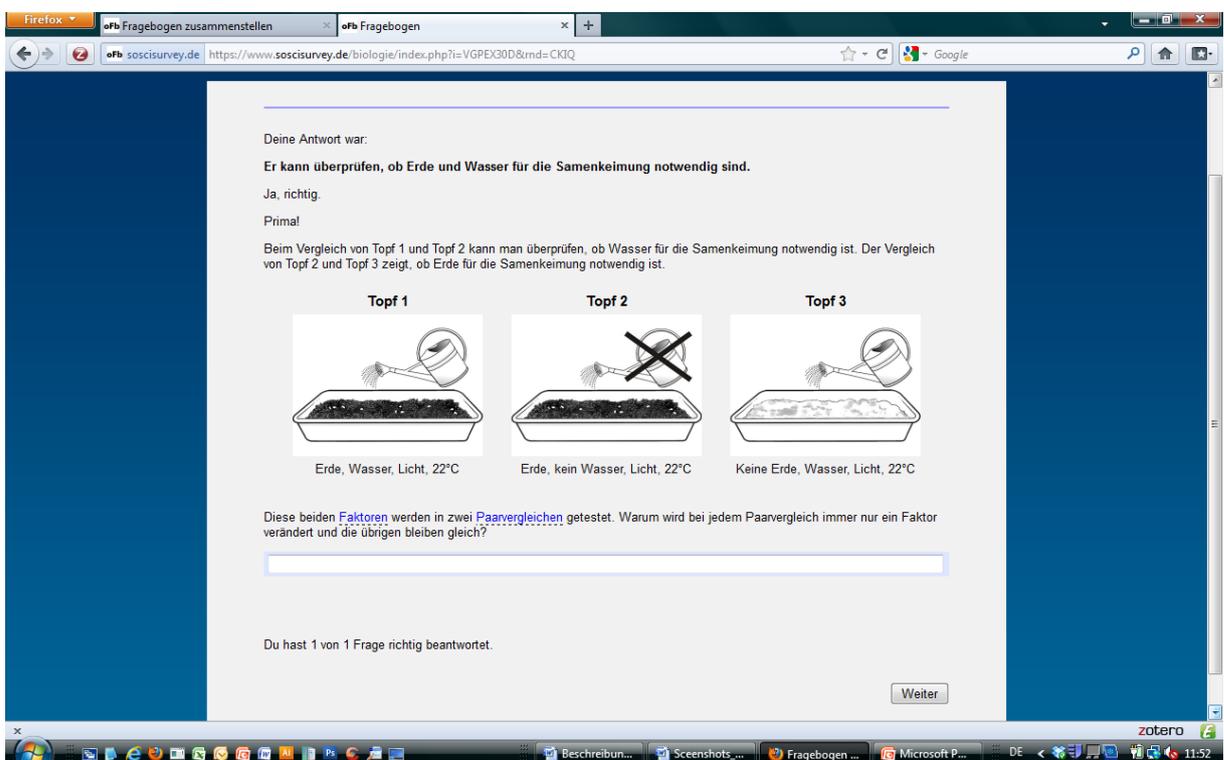


Abbildung 24: Beispiel für richtige Antwort in der Kombinations-Bedingung (Lokalisation des Fehlers und kognitive Aktivierung)

Bei einer richtigen Antwort wurde auf der Feedback-Seite – analog zur Struktur der Feedbackseiten nach falschen Antworten – erläutert, warum die Antwort richtig war. Eine Lösungsseite gab es im Anschluss daran nicht mehr, weil die Aufgabe bereits richtig beantwortet worden war. Im Anhang ist ein richtiges Lösungsbeispiel für alle vier Feedback-Bedingungen dargestellt.

6.4 Technische Voraussetzungen

Zur Erstellung des Lernprogramms haben wir die Internetplattform www.soscisurvey.de genutzt. Dieses Angebot bietet eine gute Struktur, um mit wenigen Handgriffen eine Online-Befragung gestalten zu können.

Auch für unser Lernprogramm konnten wir viele der dort angebotenen Tools für die Fragebögen nutzen. Lediglich die optimierte Darstellung der Biologie-Aufgaben und das adaptive Feedback mussten extra programmiert werden. Um auf den Schulrechnern nichts lokal speichern müssen, entschieden wir uns für diese browserbasierte Variante. Dies setzte jedoch eine ununterbrochene Verbindung zum Internet während der Bearbeitung des Programms voraus. Ein zusätzlicher Vorteil des internetbasierten Lernprogramms war auch, dass der Lernverlauf online dokumentiert werden konnte. Dadurch konnten wir Logfile-Daten über die Zeit gewinnen, die die einzelnen Lernenden auf den Seiten verbracht haben.

Das Lernprogramm konnte mit allen gängigen Internet-Browsern angezeigt werden. Lediglich die Java Script Elemente zur Darstellung der Begriffserläuterungen waren für den Browser „Mozilla Firefox“ optimiert und konnten mit anderen Browsern leider nicht immer korrekt dargestellt werden.

6.4.1 Bedienung des Lernprogramms

Das Lernprogramm war so gestaltet, dass jede Interaktion mit dem Programm über die Computermaus gesteuert werden konnte. Text wurde über die Tastatur eingegeben. Dadurch war die Navigation im Programm für die Schüler so einfach wie das Surfen im Internet, und somit problemlos machbar.

Die Skalen der Fragebögen und die MC-Items bei den Biologie-Aufgaben mussten angeklickt werden. Um zur nächsten Seite zu gelangen, musste auf den jeweiligen „Weiter“-Button geklickt werden.

In der „Warum“-Feedback-Bedingung und in der kombinierten Bedingung (kognitive Aktivierung und Lokalisation des Fehlers) mussten die Lernenden jeweils auf der Feedbackseite eine aktivierende Frage zum Experimentieren frei beantworten und dafür Text in ein Textfeld eingeben.

Das Einzige, worauf vor Beginn der Intervention extra hingewiesen werden musste, waren die blau unterstrichenen Wörter im Programm. Diese Wörter konnten mit dem Cursor „berührt“ werden. Daraufhin bekamen die Lernenden dann eine Erklärung angezeigt. Die Worterklärung erschien dabei im gleichen Bildschirm und verschwand wieder, wenn man mit dem Cursor das Wort „verlassen“ hat. Die Lernenden konnten sich die Erklärungen für die Begriffe so oft anzeigen lassen, wie sie wollten. In allen Versuchsbedingungen erschienen die gleichen Erklärungen für die Begriffe.

In der Instruktion wurde betont, dass der „Zurück“-Pfeil oben in der Navigationsleiste des Browsers nicht verwendet werden darf, weil die Antworten sonst nicht korrekt gespeichert werden können. Versuche, die Seite neu zu laden oder die vorhergehende Seite über den Zurück-Pfeil anzuwählen, wurden folgendermaßen vom Programm blockiert.

Zunächst zeigte das Programm eine Warnung an, dass die Seite nicht verlassen werden dürfe (Abbildung: 25):

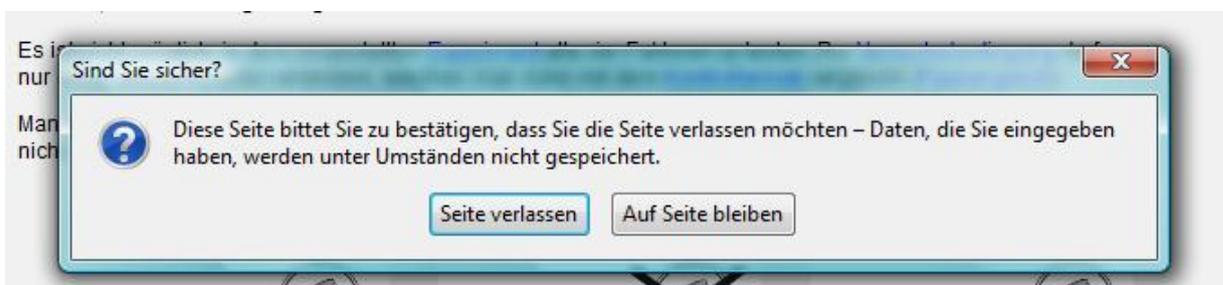


Abbildung 25: Warnung des Programms, die Seite nicht zu verlassen.

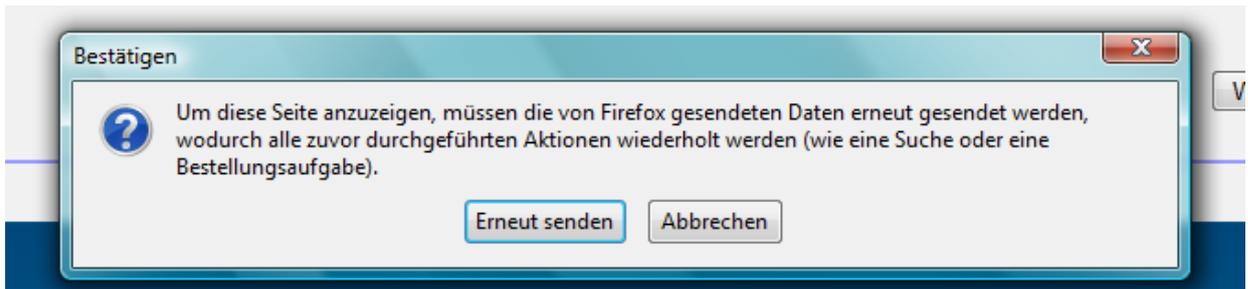


Abbildung 26: Warnung des Programms, die Seite nicht zu verlassen.

Und erneut:

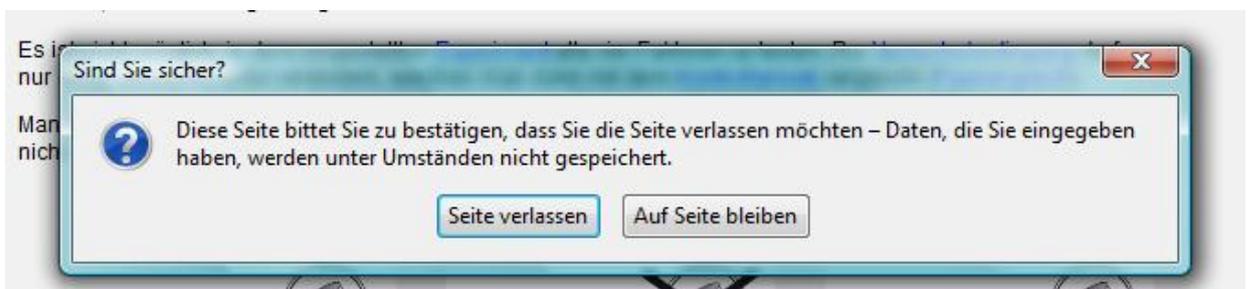


Abbildung 27: Warnung des Programms, die Seite nicht zu verlassen.

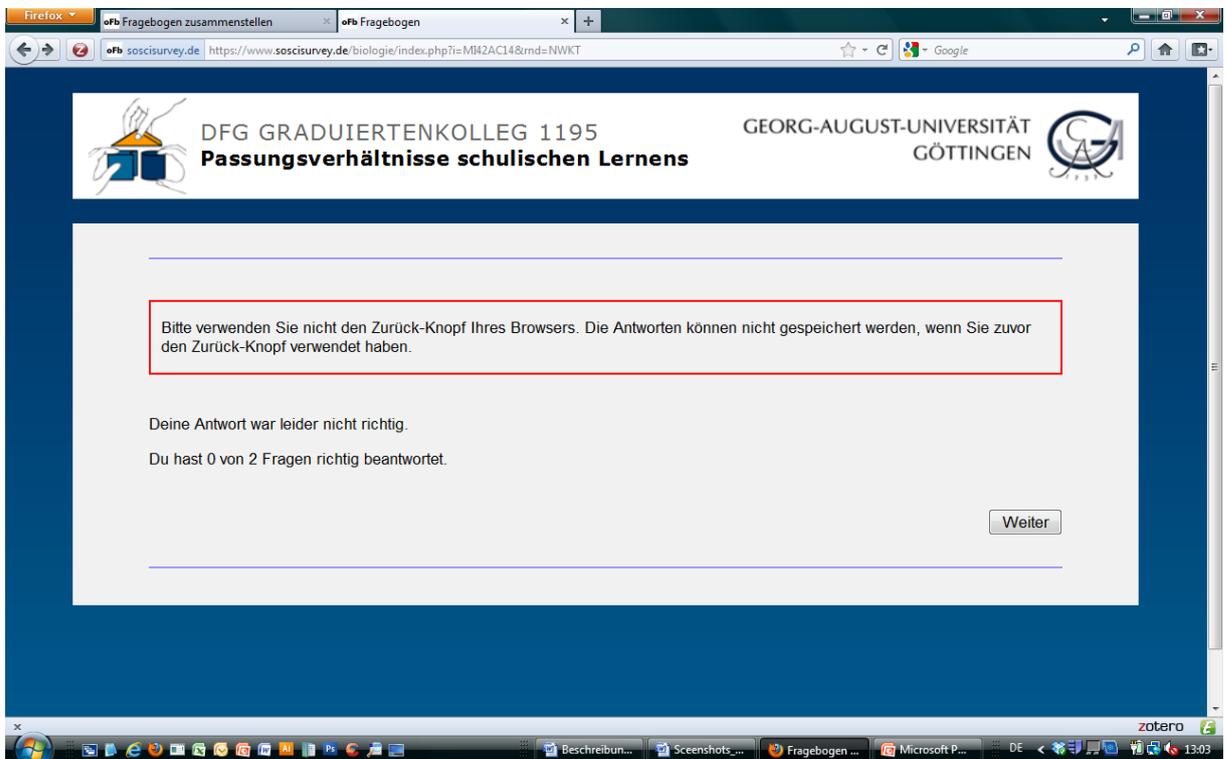


Abbildung 28: Statt die Seite neu zu laden, warnt das Programm erneut davor, den Zurück-Knopf des Browsers zu betätigen.

Diese Warnungen wiederholten sich in einer Endlos-Schleife (Abbildung 25 bis 28), so dass nur innerhalb des Programms navigiert werden konnte. Den Lernenden wurde dadurch die Bedienung des Programms erleichtert und erfolgreich verhindert, aus Versehen die Seite zu verlassen.

Wenn die vorhergehende Seite jedoch – verursacht beispielsweise durch technische Probleme – erneut geladen musste oder die Navigation des Programms über das Aufrufen der Browser-Chronik umgangen wurde, konnten die Daten nicht korrekt gespeichert werden.

6.4.2 Speicherung der Daten

Durch die internetbasierte Navigation innerhalb des Lernprogramms konnten die online erhobenen Lerndaten nur dann gespeichert werden, wenn eine ununterbrochene Verbindung zum Internet bestand. Diese Voraussetzung war in einigen Fällen leider nicht gewährleistet, weil die Internetzugänge in den Schulen oft über eine WLAN-Verbindung organisiert waren, welche oft nicht stabil genug für die Auslastung während der Studie waren. Wenn das Internet während der Studie abgebrochen ist oder über mehrere Minuten nicht verfügbar war, konnten die Daten nicht korrekt gespeichert werden.

6.4.3 Auswertung der Prozessdaten (Logfiles)

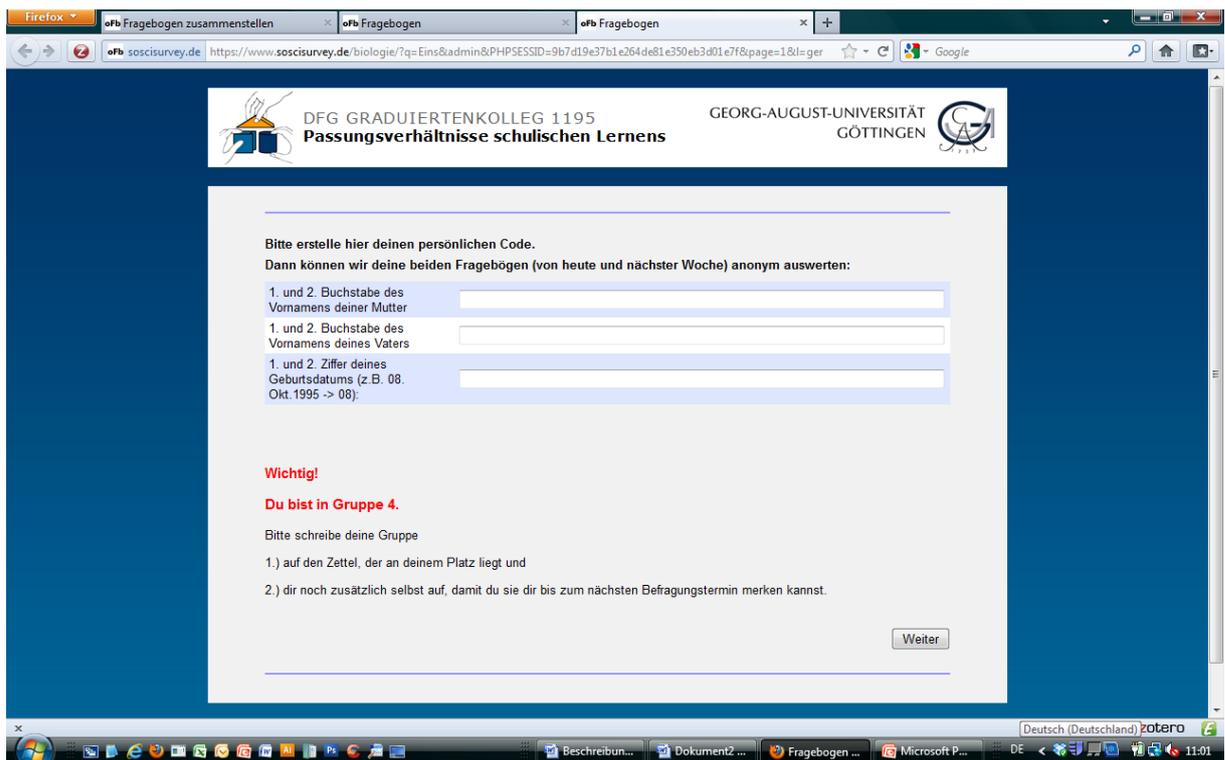
Die Prozessdaten werden durch die Interaktion der Lernenden mit dem Programm in Form von Logfiles registriert. Das Programm hat automatisch aufgezeichnet, wann und von wo aus das Programm gestartet wurde. Außerdem wurde noch aufgezeichnet bis zu welcher Seite die Lernenden das Programm bearbeiten konnten und wie lange sie auf jeder einzelnen Seite verweilt haben. Die Dauer, die auf jeder der 71 Seiten des Programms verbrachten Zeit wurde automatisch mit erhoben.

Für die Auswertung des Datenmaterials aus den Logfiles haben wir die Verweildauer auf Seiten betrachtet, die wir als relevant für den Lernprozess angesehen haben. Dazu gehört neben der Zeit, die mit dem Lesen der Biologie-Aufgaben verbracht wurde auch die Zeit zum Lesen der Feedback- und der richtigen Lösungsseiten.

In dieser Auswertung haben wir die „Motivationsseiten“ bewusst ausgespart, da diese auch für Lernpausen genutzt werden durften.

6.4.4 Zuordnung der Versuchsgruppen

Auf der ersten Seite des Programms (siehe Abbildung 29) wurden die Schüler gebeten, sich einen persönlichen Code zu erstellen. Dieser Code sollte gemeinsam mit der zufällig durch das Programm zugeordneten Versuchsbedingung aufgeschrieben werden und beim nächsten Mal (eine Woche später) in die vorgegebene Maske des Programms eingegeben werden.



DFG GRADUIERTENKOLLEG 1195
Passungsverhältnisse schulischen Lernens

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

Bitte erstelle hier deinen persönlichen Code.
Dann können wir deine beiden Fragebögen (von heute und nächster Woche) anonym auswerten:

1. und 2. Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

1. und 2. Buchstabe des Vornamens deines Vaters

1. und 2. Ziffer deines Geburtsdatums (z. B. 08. Okt. 1995 -> 08):

Wichtig!
Du bist in Gruppe 4.

Bitte schreibe deine Gruppe

- 1.) auf den Zettel, der an deinem Platz liegt und
- 2.) dir noch zusätzlich selbst auf, damit du sie dir bis zum nächsten Befragungstermin merken kannst.

Weiter

Abbildung 29: Erste Seite des Lernprogramm: Hier findet die randomisierte Zuordnung der Gruppen statt.

Die Zuordnung der Gruppen erfolgte randomisiert. Jeder Schüler, der sich einloggte, wurde beim ersten Messzeitpunkt automatisch einer Gruppe zugeordnet (im Beispiel wird dem Lernenden die Gruppe 4 zugewiesen). Falls das Programm durch technische Probleme abgebrochen wurde (z.B. Internetausfall), musste das Programm wieder neu gestartet werden. Beim erneuten Einloggen ins System bekamen die Lernenden wieder automatisch und randomisiert eine neue Gruppe zugeordnet.

Zu Beginn des zweiten Messzeitpunkts fragte das Programm nach der Feedbackgruppe (siehe Abbildung 30) und die Lernenden mussten diese in die dafür vorgesehene Maske im Programm eintragen.

The screenshot shows a Firefox browser window with two tabs: 'oFb Fragebogen zusammenstellen' and 'oFb Fragebogen'. The address bar shows the URL: <https://www.soscisurvey.de/biologie/?q=Zwei&admin&PHPSESSID=a61721277c3ab0976867a7c24891b63e&page=1&l=ger>. The page header includes the logos for 'DFG GRADUIERTENKOLLEG 1195' and 'GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN'. The main content area contains the following text and form elements:

Bitte erstelle hier deinen persönlichen Code.
Dann können wir deine beiden Fragebögen (von heute und letzter Woche) anonym auswerten:

1. und 2. Buchstabe des Vornamens deiner Mutter
1. und 2. Buchstabe des Vornamens deines Vaters
1. und 2. Ziffer deines Geburtsdatums (z.B. 08. Okt. 1995 -> 08):

In welcher Gruppe warst du bei der letzten Befragung?

1
2
3
4

Abbildung 30: Erste Seite des zweiten Messzeitpunkts im Programm.

Dies war eine häufige Fehlerquelle. Hierfür sind verschiedene Gründe denkbar. Zunächst gab es einige Lernende, die die Gruppe falsch abgeschrieben hatten. Dann gab es auch Fälle die beim ersten Messzeitpunkt sich erneut in das Programm eingeloggt hatten (z.B. indem sie aus Versehen das Fenster des Browsers geschlossen hatten) und dadurch eine andere Versuchsbedingung zugeordnet bekommen, dies jedoch nicht notiert hatten.

7. Entwicklung des Lernprogramms und Vorstudien

7.1 Technische Vorpilotierung des Lernprogramms

Um der oft schlechten Datenqualität von Onlinebefragungen vorzubeugen, wurde das Programm in zwei Pilotstudien getestet und verbessert.

In der ersten Stufe wurde die Kompatibilität des Programms mit verschiedenen Browsern und Internetverbindungen erprobt, indem zunächst acht Probanden (im Alter zwischen 24 und 63 Jahren) von ihrem hauseigenen PC auf das Programm zugriffen, es bearbeiteten und ihre Beobachtungen zeitgleich der Versuchsleiterin telefonisch übermittelten. Als Ergebnis dieser ersten Stufe wurde die Darstellung der Lerninhalte für 15 Zoll Monitore optimiert, um das Herunter-Scrollen innerhalb der Aufgaben und der Feedback-Seiten auf das Nötigste zu reduzieren und die Lesbarkeit der Biologie-Aufgaben zu verbessern. Zudem wurde die programmiertechnisch bedingte gelegentlich fehlerhafte Zuordnung des Feedbacks zu den verschiedenen Biologie-Aufgaben korrigiert. Das so verbesserte Programm wurde dann in derselben Weise an zwölf weiteren Probanden (zwischen 25 und 57 Jahren) getestet. Als Ergebnis dieser zweiten Phase wurden einige der Formulierungen in den Feedbackbedingungen verändert und zudem die Frage „Warum macht XY dieses Experiment?“ in Hammanns Biologie-Aufgaben durch die eindeutigere und besser verständliche Formulierung „Was kann man mit diesem Versuchsaufbau testen?“ ersetzt.

Die Möglichkeit, einmal gemachte Fehler zu korrigieren, indem die Probanden nach dem Lesen der Feedback-Seite erneut die Biologie-Aufgaben präsentiert bekamen und diese erneut bearbeiten mussten, wurde von den Testern als irritierend wahrgenommen. Deshalb wurde diese Möglichkeit heraus genommen und durch die Präsentation der richtigen Antwort direkt nach der Feedbackseite ersetzt. Während sich die Feedbackvarianten je nach Versuchsgruppe unterschieden, war die Art der Darstellung für die richtige Lösung in allen Gruppen identisch.

In dieser Phase des Projekts wurden Begriffsdefinitionen für schwierige Begriffe noch nicht angezeigt.

7.2 Vorstudien

Im Anschluss an den reinen Funktionstest des Programms und die Korrektur von offensichtlichen Fehlern in der Darstellung der Lerninhalte wurden im zweiten Schritt im sog. „Pre-Test-Modus“ des Programms Kommentare zu jeder einzelnen Seite des Lernprogramms gesammelt, um daraus Rückschlüsse zur Verbesserung der Lernprogramms ziehen zu können.

Ziel der Vorstudie war es, die Funktionalität des Programms, insbesondere den reibungslosen Ablauf und die korrekte Darstellung der Biologie-Aufgaben, zu prüfen.

7.2.1 Aufbau der Testversion des Programms

Zu diesem Zeitpunkt (November 2010) begann das Programm mit der Abfrage einiger demographischer Daten. Darauf folgte eine offene Versuchsplanung. Hier bestand die Aufgabe darin, eine vorgegebene Fragestellung in drei Schritten experimentell zu beantworten (Hypothese aufstellen, Versuchsplanung, Analyse von Evidenzen). Diese Testversion war für einen Messzeitpunkt konstruiert und beinhaltete die gesamten verwendeten 20 Biologie-Aufgaben.

Darauf folgten die ausgewählten sechs Biologie-Diagnose-Aufgaben (Prä-Test) ohne Feedback, dann die 20 Biologie-Aufgaben mit Feedback. Im Anschluss an diese Biologie-Aufgaben der Intervention wurde den Testpersonen erneut der Block mit den sechs Biologie-Aufgaben vom Anfang als Post-Test präsentiert; dieses Mal als Test-Items, um zu überprüfen, ob ein Lernzuwachs zu erkennen ist. Ganz zum Schluss der Testversion des Lernprogramms sollten die Probanden ein Experiment frei planen. Hierbei sollte sich zeigen, ob das Wissen, welches die Lernenden im Programm erworben hatten, auch auf Situationen übertragbar ist, die nicht dem Schema der Biologie-Aufgaben des Trainings entsprachen.

In dieser Version hatten wir in Absprache mit erfahrenen Biologie-Lehrkräften zusätzliche Erläuterungen für Begriffe (z.B. Experiment, Versuchsbedingung, Hypothese etc.) hinzugefügt, die den Schülern der 7. Klasse nicht geläufig sind.

7.2.2 Erste Stufe der Vorstudie

Die erste Stufe der Vorstudie fand online am heimischen Computer statt. Dabei begutachteten rund 100 Personen eine erste Version des Lernprogramms“ und kommentierten die Umsetzung der Aufgaben und die graphische Darstellung im Programm. Dazu konnte man auf jeder einzelnen Seite des Lernprogramms Kommentare schreiben. Fünf Personen wurden zudem telefonisch interviewt, während sie das Programm bearbeiteten. Dabei sollten sie laut denken und so Einblicke in die Umsetzung der Lernaufgaben im Programm ermöglichen.

Das Alter der beteiligten Programmtester lag zwischen 17 und 64 Jahren, wobei der Durchschnitt bei 42,34 Jahren ($SD = 5.69$) lag. Es waren zu 48,8 % männliche Testpersonen und zu 51,2 % weibliche Testpersonen.

Diese erste Testung des Lernprogramms führte zur Korrektur von Programmierfehlern und machte das Programm insgesamt benutzerfreundlicher.

7.2.3 Zweite Stufe: Vorstudie an Studierenden

Der zweite Teil der Vorstudie fand im Rahmen von zwei Biologie-Didaktik-Veranstaltungen und einem Psychologie-Seminar an der Georg-August-Universität Göttingen statt.

7.2.3.1 Stichprobe

Es nahmen 201 Studierende im Rahmen von verschiedenen Lehrveranstaltungen ($N=185$) und auch von zu Hause aus ($N=16$) an der Pilotierung teil.

Die Probanden wurden über zwei Vorlesungen der Biologie-Didaktik und eine Veranstaltung der Psychologie rekrutiert und studierten zu 72% auf Lehramt mit unterschiedlichen Fächerkombinationen, zu 22% Biologie (Bachelor/Master) oder zu 6% Psychologie.

Die Studierenden waren im Durchschnitt 23 Jahre alt ($SD=1.98$) und zu 68% weiblich.

7.2.3.2 Durchführung

Die Prä-Test-Version des Lernprogramms umfasste alle Testitems und Biologie-Aufgaben, die in der Hauptstudie auf zwei Messzeitpunkte aufgeteilt werden sollten.

Die Plattform, über die wir unser Lernprogramm erstellt hatten (www.soscisurvey.de), bietet einen „Pre-Test-Modus“ an. In diesem Modus kann man während der Bearbeitung der Aufgaben im Internet zu jeder einzelnen Seite des Programms Kommentare abgeben. Jeder Bestandteil der Seite wird zudem mit einer spezifischen Kennung angezeigt, so dass konkrete Rückmeldungen auch zu einzelnen Bausteinen von Seiten und deren Inhalten möglich sind. Auf diese Weise konnten die Studierenden ihre Kommentare und Anmerkungen direkt unter jede Seite des Lernprogramms schreiben.

Zusätzlich zur Bearbeitung des Lernprogramms am Computer wurden Arbeitsblätter zur Bewertung des Programms verteilt. Diese zielten darauf ab, dass die Studierenden die Aufgaben bewerten und schreiben, was sie dabei gelernt haben.

Für die Vortestung unseres Programms standen drei Computerräume mit Internetzugang der Universität Göttingen gleichzeitig zur Verfügung. Die Räume waren mit jeweils zehn bis 16 Rechnern ausgestattet. Dadurch konnten wir jeweils die Hälfte der Teilnehmer einer Vorlesung (ca. N=40) gleichzeitig das Programm testen lassen. Dadurch ergaben sich insgesamt vier Messzeitpunkte, bei denen parallel in drei Räumen angeleitet durch drei Versuchsleiter/innen das Programm getestet werden konnte. Zusätzlich testeten N=16 Probanden aus einer Psychologie-Veranstaltung das Lernprogramm von zu Hause aus.

Für die Bearbeitung des Lernprogramms und den Raumwechsel (vom Vorlesungsraum in die Computerräume) stand eine Doppelstunde zu Verfügung. In den Computerräumen fanden die Studierenden die Computer bereits vorbereitet vor, so dass sie direkt mit dem Lernprogramm beginnen konnten.

7.2.3.3 Ergebnis

Das Ergebnis der Vorstudie zeigte, dass es noch an vielen Stellen des Lernprogramms Verbesserungspotential gab. Im Folgenden werden die Verbesserungen des Programms separat für die einzelnen Bereiche dargestellt.

In unserer Vorstudie wurde der EEST-2 ebenso wie bei Marschner (2011) computerbasiert präsentiert. Der Test bestand aus sechs Aufgaben mit jeweils drei Item-Paaren (Paarvergleiche). Jeweils zwei Aufgaben bezogen sich auf das Aufstellen von Hypothesen, auf das Durchführen systematischer Experimente mit IVK-Strategie und auf das Ziehen von Schlussfolgerungen.

In unserer Vorstudie mit 100 Studierenden haben wir die Präsentation der Testitems so gestaltet wie in der Studie von Marschner (2011). Dabei wurde jeweils nur ein Item-Paar mit dem zugehörigen Aufgabenstamm auf dem Bildschirm dargeboten. Per Mausklick konnte dabei nur eine der beiden Antwortalternativen angekreuzt werden und erst nach dem Anklicken einer Antwort gab es die Möglichkeit, auf „weiter“ zu klicken; dann erst folgte das nächste Item-Paar. Ein Zurückgehen zu vorherigen Items war dabei nicht möglich.

7.2.3.4 Instruktion des EEST-2

In unserer Vorstudie haben wir eine Kombination aus der ursprünglichen Instruktion des EEST-2 von Marschner (2011) und unserer verkürzten Version der Instruktion getestet. Auf Basis der Rückmeldungen zur Instruktion aus der Vorstudie haben wir uns letztendlich für unsere verkürzte Instruktion entschieden.

7.2.3.5 Darstellung des EEST-2 auf den Bildschirmseiten

Im Rahmen der Vorstudie hatten wir die drei Paarvergleiche pro Situationsskizze des EEST-2 auf drei Bildschirmseiten aufgeteilt (Abbildung 31 bis 33). Somit wurde in dieser Test-Version des Lernprogramms jeweils nur ein Paarvergleich pro Bildschirmseite angezeigt.

Du hast zwei Gesichtscremes, Creme A und Creme B. Du möchtest herausfinden, welche Creme gegen Pickel wirkt.

Wähle aus den folgenden Paaren jeweils die bessere Hypothese aus.
Pro Hypothesen-Paar musst du ein „Häkchen“ setzen.

Paar A:

Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel.

Creme A wirkt besser gegen Pickel als Creme B.

Abbildung 31: Vorstudie: EEST-2 Bildschirmvariante mit nur einem Paarvergleich (Paarvergleich 1) zunächst mit verkürzter Instruktion.

Du hast zwei Gesichtscremes, Creme A und Creme B. Nur eine der beiden Cremes wirkt gegen Pickel. Du möchtest herausfinden, welche Creme gegen Pickel wirkt.

Dir fallen dazu folgende Ideen ein, die du experimentell überprüfen möchtest. Bewerte die Ideen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:

Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel.

Weder Creme A noch Creme B wirkt gut gegen Pickel.

Abbildung 32: Vorstudie: EEST-2 Bildschirmvariante mit nur einem Paarvergleich (Paarvergleich 2) jetzt mit der Originalinstruktion

Du hast zwei Gesichtscremes, Creme A und Creme B. Nur eine der beiden Cremes wirkt gegen Pickel. Du möchtest herausfinden, welche Creme gegen Pickel wirkt.

Dir fallen dazu folgende Ideen ein, die du experimentell überprüfen möchtest. Bewerte die Ideen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:

Creme A wirkt besser gegen Pickel als Creme B.

Weder Creme A noch Creme B wirken gut gegen Pickel.

Abbildung 33: Vorstudie: EEST-2 Bildschirmvariante mit nur einem Paarvergleich (Paarvergleich 3) wieder mit der Originalinstruktion.

Diese Art der Darstellung führte bei 72% der Probanden zu Verwirrung. Bei den Paarvergleichen gab es jeweils drei Aussagen, welche in zweier Paarungen jeweils miteinander verglichen werden mussten. Durch die Wiederholung der Sätze, die zu vergleichen waren, hatten die Studierenden den Eindruck, dass sie sich in einer Wiederholungsschleife des Programms befinden würden.

Daher entschieden wir uns dafür, die Darbietung des Tests wieder vergleichbar mit der Paper- und Pencil-Version (Marschner, 2011) aufzuteilen und pro Bildschirmseite drei Paarvergleiche gleichzeitig zu präsentieren (Abbildung 34).

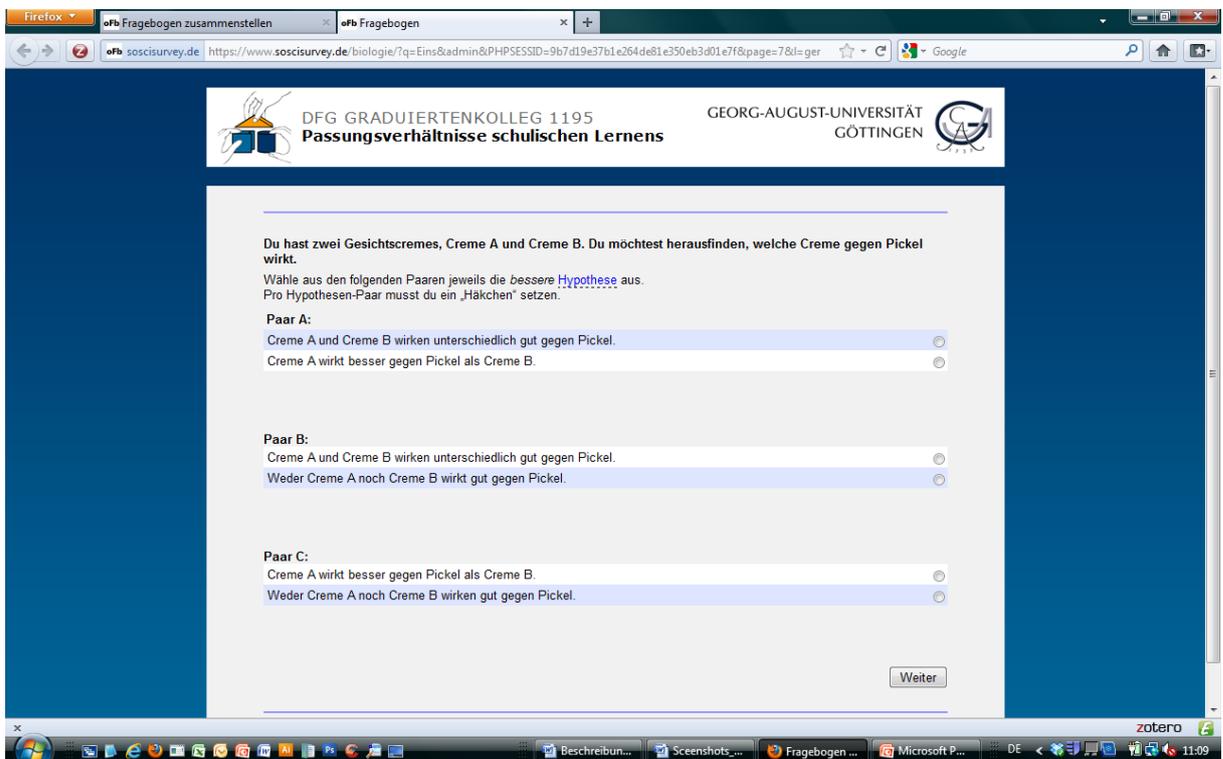


Abbildung 34: Präsentation der Paarvergleiche in der Hauptstudie

7.2.3.6 Komplette Bearbeitung der Aufgaben

Zu Beginn hatten wir darauf verzichtet, auf jeder Seite die vollständige Bearbeitung der Aufgaben technisch zu erzwingen. Dies führte in der Vorstudie zum einen dazu, dass viele Missings im Datensatz auftauchten und zum anderen auch dazu, dass die Testpersonen sich zunächst die Aufgaben anschauen und dann auf die vorhergehenden Seiten zurückspringen wollten.

Dieser Umgang mit dem Programm führte dazu, dass die Daten nicht korrekt gespeichert werden konnten. Daher fügten wir im Anschluss an unsere Vorstudie Warnhinweise ein, die die Probanden davon abhalten sollten, innerhalb des Programms über den Browser zwischen den Seiten zu wechseln.

7.2.3.7 Aufgaben mit offenen Antwortformaten

In der Testversion des Programms war zu Beginn und am Ende ein Experiment frei zu planen (Hypothese aufstellen, Versuch durchführen, Evidenzen analysieren). Diese Experimentieraufgaben mit dem offenen Antwortformat kosteten die Probanden in der Vorstudie viel Zeit, die im Anschluss daran bei der Bearbeitung der Biologie-Aufgaben im MC-Format fehlte. Zudem wurden die Aufgaben nicht von allen Test-Personen sorgfältig und ernsthaft bearbeitet.

Da es uns schwer fiel, Kriterien zu entwickeln, die den Lernzuwachs in diesem Bereich abbilden konnten, entschieden wir uns dazu, die offenen Versuchsplanungen nicht als Teil des Lernprogramms zu verwenden. Stattdessen setzten wir sie als Zeitpuffer am Ende des Programms ein.

7.2.3.8 Einfügen von Motivationsseiten und Smileys

Die Probanden der Vorstudie nahmen die Abfolge der Biologie-Aufgaben als eintönig und wenig motivierend wahr. Zudem bekamen wir die Rückmeldung, dass viele von ihnen den Eindruck hatten, dass die präsentierten Biologie-Aufgaben des Lernprogramms für Schüler der 7. Klasse zu anspruchsvoll seien.

Da wir die Biologie-Aufgaben von Hammann ausgewählt hatten, die eine mittlere Lösungswahrscheinlichkeit für Schüler der 7. Klasse hatten, entschieden wir uns, die Aufgaben dennoch beizubehalten. Um die Motivation der Lernenden zu erhöhen fügten wir der Testversion Motivationsseiten (für ein Beispiel, siehe Abbildung: 35) und Graphiken hinzu, welche die Aufmerksamkeit der Lernenden bündeln und wieder zurück zum Thema des Lernprogramms führen sollten.



Abbildung 35: Motivationsseite mit Smiley (in allen Versuchsbedingungen gleich).

Im Programm gab es pro Messzeitpunkt drei Smiley-Seiten (Abbildung 35). Diese erschienen zu Beginn, in der Mitte und am Ende des Programms, unabhängig von der kumulierten Anzahl von richtig beantworteten Biologie-Aufgaben und in allen Versuchsbedingungen gleichermaßen.

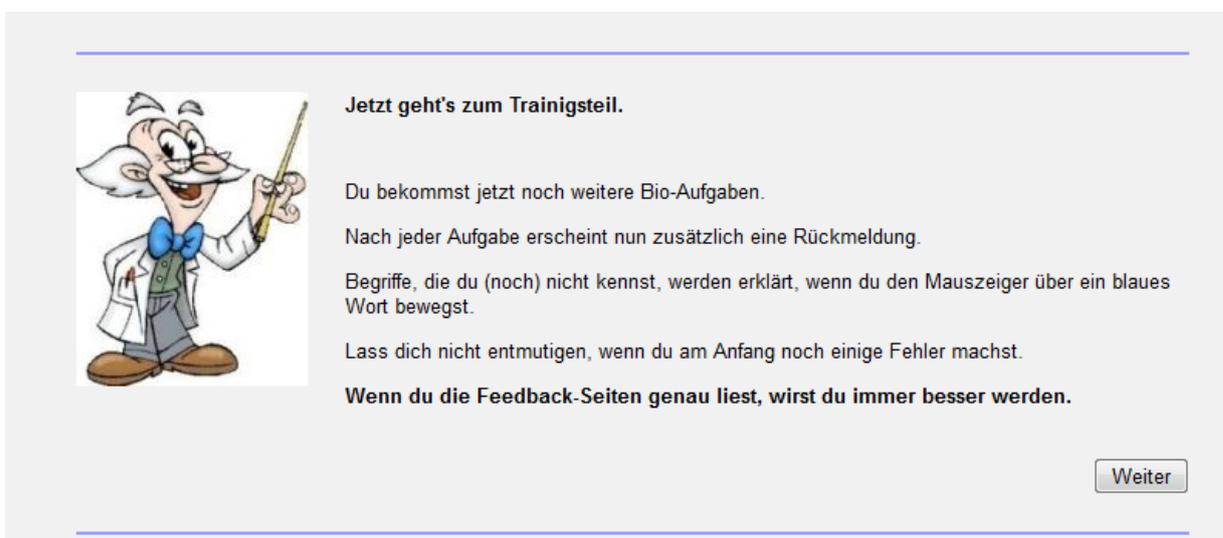


Abbildung 36: Informationsseite zum Ablauf des Programms aus der Testversion



Wichtig!

Bitte bearbeite die Aufgaben sorgfältig und konzentriert!

Du hast genug Zeit. Du kannst über alle Aufgaben in aller Ruhe nachdenken und dich dann für die richtige Antwort entscheiden.

Weiter

Abbildung 37: Motivationsseite



Mein Tipp zur Bearbeitung der Aufgaben...

Du bekommst gleich *drei* Bilder mit Versuchsanordnungen gezeigt.
Dabei gehst du am besten "Schritt-für-Schritt" vor:

Vergleiche jeweils zwei Bilder.

Zum Beispiel:

Vergleich von Bild 1 und 2: Was ist gleich? Was ist unterschiedlich?
Vergleich von Bild 1 und 3: Was ist gleich? Was ist unterschiedlich?

Weiter

Abbildung 38: Tipp zur Bearbeitung der Aufgaben (die einzige Seite mit einer strategischen Instruktion)

7.2.3.9 Erläuterungen zu Begriffen (Definitionen)

Die korrekte Anzeige von Bearbeitungshinweisen und Begriffsdefinitionen war in der Vortestung abhängig vom Browser und konnte in vielen Fällen nicht oder nicht korrekt angezeigt werden, wenn Java-Skript vom Browser nicht unterstützt wurde.

Da für dieses Problem in der verfügbaren Zeit keine Lösung gefunden werden konnte, achteten wir darauf, dass in der Hauptstudie nach Möglichkeit der Browser „Mozilla Firefox“ verwendet wurde, der diese Elemente unseres Lernprogramms problemlos unterstützte.

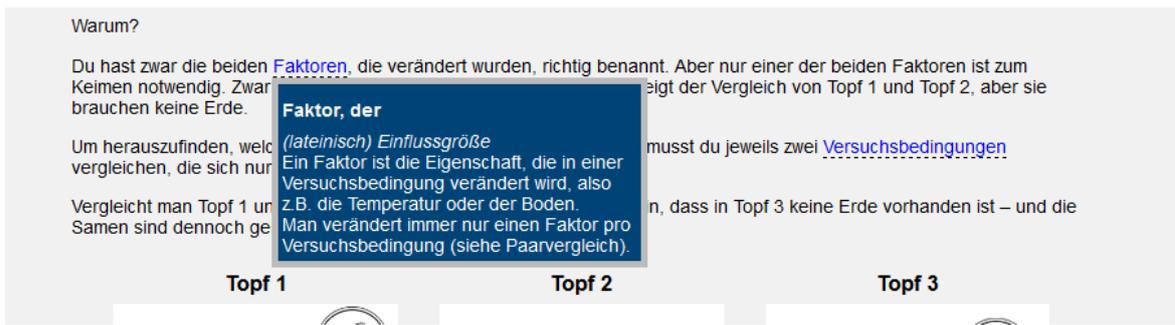


Abbildung 39: Beispiel für eine Begriffsdefinition

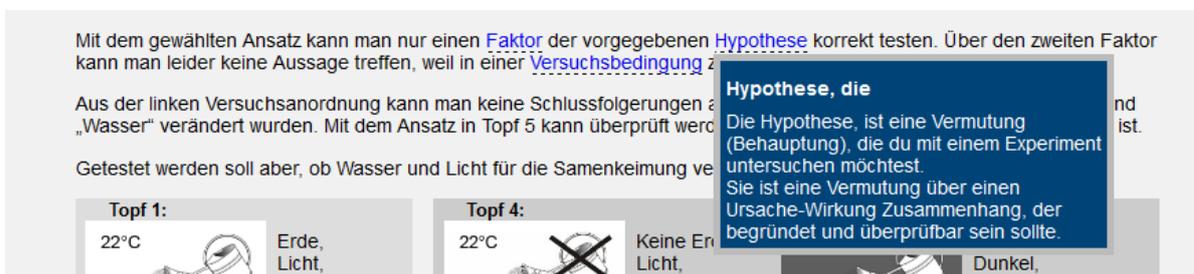


Abbildung 40: Beispiel für die Erläuterung des Begriffs „Hypothese“.

7.2.3.10 Aufbau der Feedbackseiten

Angeregt durch die Auswertungen der offenen Anmerkungen im Pretest-Modus des Programms (die Lernenden können hierbei jede einzelne Seite kommentieren) haben wir den Aufbau der Feedback-Seiten neu gestaltet.

Zunächst haben wir jeweils das ausgewählte MC-Item aus der Aufgabenstellung in die Feedbackseite übernommen. Somit begann jede Feedbackseite mit der Rückmeldung, für welche Antwort sich der Lernende entschieden hatte. So wurde der Cognitive Load reduziert und die Lernenden hatten beim Lesen der Feedbackseite vor Augen auf welche Antwort sich die Rückmeldung bezog.

Unterstützt wurde dies noch zusätzlich durch die Einbindung der Bilder aus der Biologie-Aufgabe. Bei der Verarbeitung des Aufgaben-Feedbacks hatten die Schüler somit direkt vor Augen, welche Alternativen zur Auswahl gestanden hatten und konnten so die Rückmeldung noch leichter auf das beziehen, was als Antwort gewählt worden war.

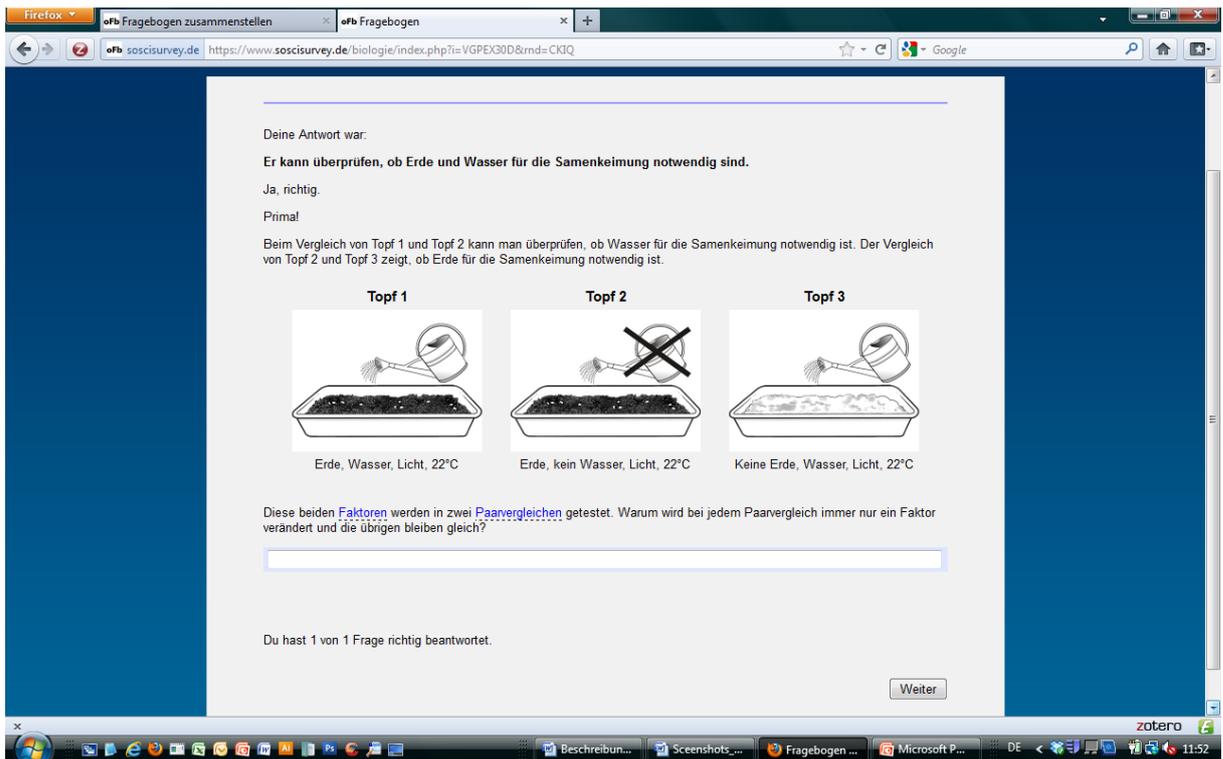


Abbildung 41: Am Ende jeder Feedbackseite wurde eingeblendet, wie viele Aufgaben bisher richtig beantwortet worden waren.

Viele (leistungsorientierte) Testpersonen der Vorstudie bemängelten, dass es im Verlauf der Intervention keine Hinweise darauf gab, wie gut man bisher abgeschnitten hat. Sie wünschten sich eine Information darüber, wie viele Aufgaben sie bislang richtig gelöst hatten. Daher entschieden wir uns dafür, nach jeder Lernaufgabe eine summative Rückmeldung über den erreichten Leistungsstand zu geben. Am Ende jeder Feedbackseite fügten wir im Anschluss an die Vorstudie hinzu, wie viele Aufgaben von wie vielen Aufgaben insgesamt bereits korrekt gelöst worden waren. Theoretisch bezogen wir uns hierbei auf das *Knowledge of performance* (Ammons, 1956).

7.2.3.11 Herausnahme der Korrekturoption nach einer falschen Antwort

Die Testversion des Lernprogramms erlaubte den Lernenden nach einer falschen Antwort die gewählte Antwort zu korrigieren. Im Anschluss an die Feedbackseite erschien ein „Zurück zur Bio-Aufgabe“-Button als einzige Möglichkeit im Programm „weiter“ zu klicken.

Diese Möglichkeit hat bei den Probanden zur Verwirrung beigetragen. Rund 73% der Testpersonen gaben uns im Rahmen der offenen Antwortmöglichkeiten im Prä-Test-Modus die Rückmeldung, dass (insbesondere durch die Möglichkeit zur Korrektur der eigenen Antwort) bei ihnen der Eindruck entstanden sei, ständig die gleiche Biologie-Aufgabe bearbeiten zu müssen. Zwischenzeitlich hatten wir daher die Hintergrundfarbe verändert, wenn eine Aufgabe das zweite Mal erschien, jedoch änderte dies nichts an der subjektiven Wahrnehmung der Testpersonen, dass die Biologie-Aufgaben immer die Gleichen seien. Rund 20% der Testpersonen, die sich dazu geäußert hatten, schrieben in die Kommentarzeile, dass sie beim zweiten Bearbeiten der Aufgabe einfach nur noch auf Weiter geklickt hatten. Weitere 35% der Testpersonen wünschten sich nach der erneuten Bearbeitung einer Biologie-Aufgabe wieder ein adaptives Feedback. Im Falle einer falschen Antwort erwarteten diese noch ein weiteres Mal eine Möglichkeit zur Korrektur der gewählten Antwort.

Diese Möglichkeit war jedoch innerhalb des Programms nicht vorgesehen. Stattdessen wurde im Anschluss an die zweite Bearbeitung der Aufgabe in dieser Test-Version des Lernprogramms, unabhängig von der gewählten Antwortalternative die richtige Lösung der Aufgabe präsentiert. Dazu hatten wir uns entschieden, da die Struktur der Plattform für Online-Fragebögen, die wir benutzten, nur eine begrenzte Komplexität für die Umsetzung von adaptiven Feedbackseiten innerhalb des Lernprogramms zuließ. Daher entschieden wir uns – auf Grund der strukturellen Ähnlichkeit der Zusammenstellung der Biologie-Aufgaben des Lernprogramms – letztendlich dafür, die Korrekturoption aus dem Programm wieder herauszunehmen. Es erschien uns sinnvoll, an dieser Stelle die Motivation der Lernenden durch die Dopplung der Aufgaben nicht unnötig zu strapazieren.

7.2.3.12 Fazit

Durch die Pilotstudien an den Studierendenstichproben konnte das Lernprogramm in seiner Funktionsweise getestet werden. Anhand der Auswertungen der Kommentare der Testpersonen ließ sich das Programm weiterentwickeln. Beide in diesem Kapitel beschriebenen Phasen der Vortestung des Programms sprechen in ihrer Gesamtheit dafür, dass die Teile des Lernprogramms nach der Korrektur der in der Vorstudie bemängelten Aspekte eine stimmige Zusammenstellung ergeben.

7.2.4 Dritte Stufe: Vorstudie an einer Schülerstichprobe

Nach der erfolgreichen Testung des Lernprogramms an Studierenden wurde das Programm Ende Dezember 2010 an zwei Schulklassen getestet. Das Alter der beteiligten Programmtester lag zwischen 11 und 13 Jahren, wobei der Durchschnitt bei 12,3 Jahren ($SD = .53$) lag. Es waren zu 38,5 % männliche Testpersonen und zu 61,5 % weibliche Testpersonen.

Diese Pre-Test-Version des Lernprogramms umfasste erstmalig die beiden für die Hauptstudie vorgesehenen Messzeitpunkte. Beim ersten Messzeitpunkt (MZP1) wurde der Prä-Test für die Biologie-Aufgaben, der strategische Test von Marschner (2011) und zusätzlich noch neun Biologie-Aufgaben bearbeitet. Bei MZP2 wurde zu Beginn der N2 Subtest „Figurale Analogien“ der KFT durchgeführt und danach das Lernprogramm weiterbearbeitet. Dabei wurden elf weitere Biologie-Aufgaben bearbeitet und im Anschluss daran der Post-Test für die Biologie-Aufgaben und die strategischen Items abgefragt. Am Ende jeder Bildschirmseite des Lernprogramms im Prä-Test-Modus konnten die Lernenden (sowohl beim ersten als auch beim zweiten MZP) direkt in das Programm ihre Kommentare und Anmerkungen schreiben.

7.2.4.1 Durchführung

Die Durchführung des Prä-Tests erfolgte im Rahmen des regulären Unterrichts an einem hessischen Gymnasium. Nach einer kurzen Instruktion durch die Versuchsleiterin, in welcher insbesondere noch einmal darauf hingewiesen wurde, wie wichtig die sorgfältige Bearbeitung der einzelnen Aufgaben ist und dass die Lernenden sich unbekannte Wörter durch das „Berühren“ des Wortes mit der Maus erklären lassen konnten, gingen die Schüler in einen der beiden Computerräume, in denen das Programm bereits auf den einzelnen Rechnern am Bildschirm angezeigt wurde, und starteten das Lernprogramm. In einem Computerraum befand sich die Versuchsleiterin als Aufsichtsperson, im anderen Raum war der Lehrer als Aufsichtsperson anwesend. Nach der Hälfte der Bearbeitungszeit wechselten die Aufsichtspersonen von einem Raum in den anderen Raum. Rückfragen zum Umgang mit dem Programm wurden per Handzeichen angezeigt und von dem Versuchsleiter oder dem vorher instruierten Lehrer beantwortet.

Die Schüler unserer Prä-Test-Gruppe waren hoch motiviert und beantworteten das Programm bei MZP1 zügig und diszipliniert.

Eine Woche später beim MZP2 fiel nach Abschluss des KFT das W-LAN der Schule bei der zweiten Gruppe komplett aus, so dass wir zunächst nur Daten von einer Klasse auswerten konnten.

7.2.4.2 Ergebnis

Das Bearbeiten des Lernprogramms führte zu einem signifikanten Lernzuwachs im Bereich der Biologie-Aufgaben. Die Schüler konnten nach der Trainingsphase signifikant mehr Biologie-Aufgaben richtig bearbeiten als vorher.

Der Mittelwert im Prä-Test der Biologie-Aufgaben (vor der Bearbeitung der Trainingsaufgaben mit dem differenzierten Feedback) lag bei $\bar{x} = 3.46$ (SD = 1.433) und nach der Bearbeitung bei $\bar{x} = 4.07$ (SD = 1.738). Die Probanden lösten im Post-Test durchschnittlich .61 Aufgaben mehr (SD = 1.447) als im Prä-Test. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ($t(42) = 2.698$; $p < .01$).

Die Bearbeitung der strategischen Items führte hingegen zu keinem nennenswerten Zuwachs an richtig gelösten Items. Der Mittelwert im Prä-Test (vor der Interventionsphase mit dem differenzierten Feedback) lag bei $\bar{x} = 11.41$ (SD = 1.975) und nach der Bearbeitung bei $\bar{x} = 11.70$ (SD = 2.414). Die Probanden lösten durchschnittlich .29 Aufgaben mehr im Post-Test als im Prä-Test. Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ($t(41) = -.465$; $p > .05$).

Auf Grund der geringen Fallzahlen pro Gruppe und dem großen zeitlichen Abstand zwischen T1 und T2 bei der zweiten Klasse haben wir auf eine Auswertung der Ergebnisse in Bezug auf die einzelnen Versuchsgruppen verzichtet.

8. Hauptstudie

Nachdem wir in den Vorstudien den Ablauf und die Funktionsweise des Programms getestet hatten, haben wir in einem zweiten Schritt gemäß unserer in Kapitel 6 aufge-

stellten Hypothesen die verschiedenen Versuchsbedingungen im Rahmen der Hauptstudie getestet.

In der Hauptstudie haben wir dem Lernprogramm zudem ein weiteres adaptives Element hinzugefügt: Die Lernenden konnten sich bei Bedarf Begriffe und Fremdwörter, die sie nicht kannten durch das jeweilige Anklicken des Begriffs mit der Maus erklären lassen. Der Vorteil dieser Unterstützung ist, dass nur die Begriffe im Lernprozess erklärt werden, die der Lerner wirklich braucht und zwar zu dem Zeitpunkt, an dem er sie braucht und abrufen. Dadurch wird die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nicht unnötig stark belastet (Sweller et al., 1998).

Das Design der Aufgaben und deren Schwierigkeitsgrad waren außerdem an den zu erwartenden Vorwissensstand der Lernenden (mittlere Lösungswahrscheinlichkeit für Lernenden der 7. Klasse) angepasst und die Thematik der Aufgaben (curricular valide Themen des 7. Schuljahrs in Biologie) speziell für die Klassenstufe ausgewählt.

8.1 Stichprobe

Nachdem von Seiten des hessischen Kultusministeriums Interesse an der Untersuchung bekundet und schließlich die Genehmigung der Datenerhebung erfolgt war, wurden Schulen in Hessen mit Hilfe der jeweiligen Fachlehrer für unsere Studie gewonnen. Nach der Genehmigung durch die Schulleitung wurden Einverständniserklärungen der Eltern aller Schüler der betreffenden siebten Klassen eingeholt und diese schriftlich über die Zielstellung und den Ablauf der geplanten Untersuchung informiert (siehe Anhang).

Die Teilnahme der Schüler an der Untersuchung war freiwillig und unentgeltlich. Die vertrauliche Behandlung der Daten wurde sowohl der Schulleitung als auch den Erziehungsberechtigten schriftlich zugesichert. Voraussetzung für die Teilnahme war die schriftliche Einwilligung der Eltern. Die meisten der angesprochenen Schüler (ca. 95%) willigten ein, an der Untersuchung teilzunehmen.

Durchgeführt wurde die Untersuchung in 28 Schulklassen an zwölf Schulen in Hessen mit insgesamt 496 Schülern, wovon 16 Klassen von Gesamtschulen rekrutiert worden

sind, zehn Klassen von Gymnasien und zwei von Realschulen. Zusätzlich haben wir das Programm an zwei Klassen eines Gymnasiums im Pre-Test-Modus getestet.

Beim Auswählen der Schulen wollten wir eine gewisse Heterogenität der Schüler in Bezug auf Intelligenz und Vorwissen sicherstellen um die differentiellen Aspekte unserer Hypothesen angemessen testen zu können. Daher haben wir versucht besonders viele Gesamtschulen für unsere Studie zu gewinnen.

Das Alter der untersuchten Schüler lag zwischen 11 und 14 Jahren, wobei der Durchschnitt bei 12,63 Jahren ($SD = .549$) lag. Es waren zu 38,8 % männliche Schüler und zu 61,2 % weibliche Schüler. Der leichte Überhang an weiblichen Schülern kam dadurch zustande, weil ein katholisches Mädchengymnasium mit vier Klassen Teil der Gesamtstichprobe war.

Für jeden Messzeitpunkt wurde durch das Programm ein Datensatz produziert, so dass am Ende für jeden Probanden zwei einzelne Datensätze vorlagen, die auf Basis des eingegebenen Codes zusammengefügt wurden. Bei MZP1 wurde das Lernprogramm 516-mal komplett bearbeitet, bei 838 Fragebogenaufrufen. Bei MZP2 wurde das Lernprogramm 448-mal komplett bearbeitet, bei 818 Fragebogenaufrufen. Insgesamt gab es demzufolge 964 komplette Datensätze aus abgeschlossenen Bearbeitungen und 1656 Aufrufe des Lernprogramms. Diese Statistik beinhaltet lediglich Datensätze, bei denen der Fragebogen über den Link aufgerufen wurde. Datensätze aus der Fragebogenentwicklung und dem Pre-Test wurden in dieser Statistik nicht mitgezählt.

Letztendlich waren von den über 1000 auf dem Server gespeicherten einzelnen Datensätzen am Ende lediglich 710 Datensätze von $N=355$ Personen verwertbar.

Die Versuchsgruppen wurden randomisiert zugeordnet. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass es keine systematischen Konfundierungen auf Grund der Gruppenzuordnung gab. Leider kam es jedoch während der Datenerhebung immer wieder zu technischen Problemen (Internetausfall, Stromausfall bei Notebooks etc.). Dies führte dazu, dass das Lernprogramm in einigen Fällen mehrfach begonnen und nicht abgeschlossen wurde. Hinzu kam, dass die Probanden beim zweiten Messzeitpunkt im Programm manuell angeben mussten, welcher Versuchsgruppe sie beim ersten Messzeitpunkt automatisch zugeordnet worden waren. Auf Basis dieser Information erfolgte beim zweiten

Messzeitpunkt die Zuordnung der Versuchsgruppe im Lernprogramm (vgl. Abbildung 42).

The screenshot shows a web form with the following elements:

- Header:** "Bitte erstelle hier deinen persönlichen Code. Dann können wir deine beiden Fragebögen (von heute und letzter Woche) anonym auswerten:"
- Form Fields:** Three input fields with labels: "1. und 2. Buchstabe des Vornamens deiner Mutter", "1. und 2. Buchstabe des Vornamens deines Vaters", and "1. und 2. Ziffer deines Geburtsdatums (z.B. 08. Okt.1995 -> 08):".
- Group Selection:** A section titled "In welcher Gruppe warst du bei der letzten Befragung?" with four radio button options labeled 1, 2, 3, and 4.
- Navigation:** A "Weiter" button at the bottom right.

Abbildung 42: Erste Seite des zweiten MZPs: Erstellung des Codes und Zuordnung zur Gruppe

Da eine personenbezogene Erhebung über Einzelcodes auf Grund des Datenschutzes und der zu gewährleistenden Anonymität leider nicht möglich war, mussten wir die Schüler zu Messzeitpunkt eins einen Code generieren lassen, der beim zweiten Messzeitpunkt erneut abgefragt wurde.

Die randomisierte Zuordnung der Versuchsgruppen in Kombination mit den technischen Schwierigkeiten und der manuellen Eingabe der Gruppen führte leider zu Fehlern bei der Zuordnung der Datensätze von MZP1 und MZP2. So gab es zum Zeitpunkt der Datenauswertung 166 Datensätze von 83 Probanden, denen zwar eindeutig auf Basis der Codes die Daten von beiden Messzeitpunkten zugeordnet werden konnten, welche jedoch nicht verwertet werden konnten, weil sie bei MZP 1 die Aufgaben einer anderen Versuchsgruppe bearbeitet hatten als beim zweiten Messzeitpunkt. Schwierigkeiten gab es zudem bei der Erstellung der Codes die sie bei MZP1 und MZP2 verwenden sollten, damit die Datenerhebung anonym erfolgen konnte, da die Codes (die aus den ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter, den ersten beiden Buchstaben des Vornamens des Vaters und den ersten beiden Ziffern des eigenen Geburtstags bestehen soll-

ten) in vielen Fällen nicht korrekt erstellt worden waren, so dass eine Zuordnung der Codes von MZP1 und MZP2 unmöglich war.

Der relativ hohe Drop-Out der vorliegenden Studie erklärt sich im Wesentlichen durch Gründe, wie sie in Untersuchungen im Schulsetting zu erwarten sind (organisatorische Gegebenheiten wie Abwesenheit der Schüler zu einem der beiden Testtage, einschließlich Drop-In zum zweiten Testzeitpunkt), sowie durch technische Probleme (Datenverlust durch Internet- und Serverprobleme). Die zufällige Zuweisung der Versuchspersonen zu den verschiedenen experimentellen Bedingungen verhinderte, dass Drop-Outs einen systematischen Einfluss auf potentielle Effekte hatten.

Von den 355 übrig gebliebenen Datensätzen überprüften wir anhand der während der Bearbeitung des Programms gespeicherten Zeiten, die die Lernenden auf den Interventionsseiten verbrachten, wie viele der Probanden zwei Standardabweichungen schneller die Seiten bearbeitet hatten als die anderen. Auf Basis dieses Kriteriums trennten wir uns von 20 Personen, die weniger Zeit auf den Interventionsseiten verbracht hatten, als zum Lesen der Texte nötig gewesen wäre.

Nach Aussage der Lehrkräfte hatten alle Klassen bereits das Thema Experimentieren im Unterricht bearbeitet, jedoch hatte keine der Klassen das Thema „Variablenkontrollstrategie“ explizit im Unterricht besprochen. Die meisten Klassen hatten zudem bislang noch nicht mit zweifaktoriellen Experimenten gearbeitet.

8.2 Auswertung des KFT Subtest N2 (Figurale Analogien)

In der vorliegenden Studie wurde der Subtest N2 (Figurale Analogien) des KFT eingesetzt, weil sich dieser in anderen Studien (u.a. PISA, 2001, 2004, 2007) als ökonomischer Intelligenz-Schätzer erwiesen hat. Da in der Stichprobe mehrheitlich Schüler von Gesamtschulen untersucht wurden, liegt der Auswertung des KFT Subtests N2 (Figurale Analogien) die Jahrgangsnorm der Jahrgangsstufe 7 zugrunde.

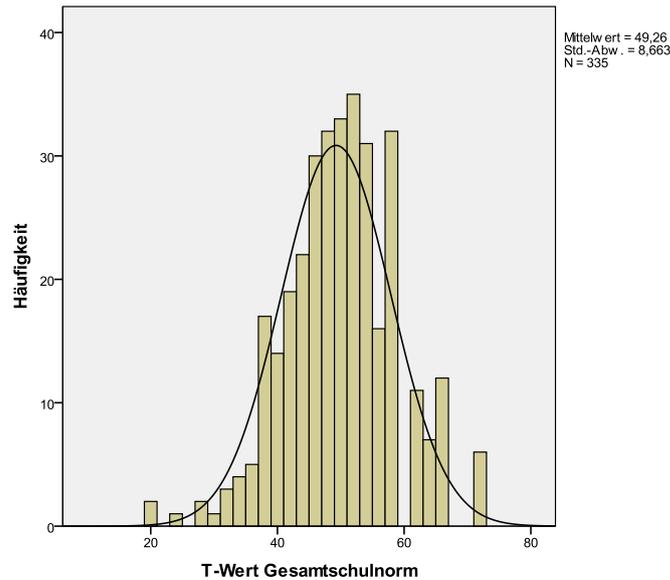
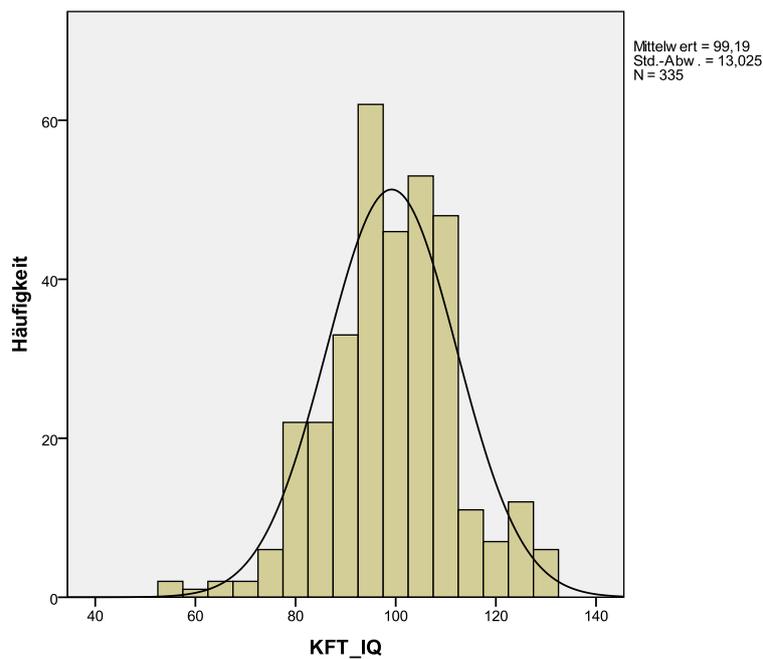


Abbildung 43: KFT Subtest N2 (Figurale Analogien) Verteilung in der Stichprobe

Abbildung 43 macht deutlich, dass die T-Werte des Subtests N2 annähernd normalverteilt sind, was nahe legt, dass die Intelligenz in der untersuchten Stichprobe ebenfalls annähernd normalverteilt sein müsste. Da jedoch lediglich ein kurzer Subtest des KFT im Rahmen der Studie verwendet wurde, lassen sich die vermuteten IQ-Werte der Stichprobe auf Basis der T-Werte nur schätzen (siehe Abbildung 44).

Abbildung 44: Schätzung der IQ-Verteilung in der Stichprobe



8.3 Durchführung

Getestet wurde mit drei verschiedenen Versuchsleitern in den Computerräumen und Klassenräumen der jeweiligen Schule zur regulären Unterrichtszeit.

Jede Erhebung fand pro untersuchte Klasse an insgesamt zwei Tagen mit zwei Wochen Unterbrechung zwischen den beiden Messzeitpunkten statt. Pro Testtag wurde eine Schuldoppelstunde (90 min.) benötigt. Jedem Schüler wurde ein Computer mit Internetanschluss zur Verfügung gestellt, so dass individuelles Arbeiten möglich war. Falls die Schule die Rechner nicht in ausreichender Menge zur Verfügung stellen konnte, wurden vom Projektteam Notebooks mitgebracht, die vor Ort an das Internet angeschlossen wurden.

Zu Beginn der Untersuchung wurde den Schülern kurz der Ablauf des Lernprogramms erklärt. Die Klassen wurden darauf hingewiesen, dass die Klassen, die am besten abschneiden an der Verlosung von Gutscheinen im Gesamtwert von 800€ teilnehmen werden.

Am ersten Testtag bearbeiteten die Schüler ausschließlich das Lernprogramm am Computer mit den Biologie-Aufgaben, den Strategie-Paarvergleichen und den in das Lernprogramm integrierten Fragebögen (Fragen zum Biologie-Unterricht, Selbstwirksamkeitserwartung, Persönlichkeit, Lernverhalten...).

Die Schüler wurden zufällig einer Versuchsgruppe zugeordnet und mussten zunächst einen persönlichen Code erstellen, auf dessen Basis wir die Daten des ersten und zweiten MZPs anonym zuordnen konnten. Im Anschluss daran folgten drei Fragen zur Demographie (Alter, Geschlecht und Biologie-Note), ein kurzer Fragebogen zur Persönlichkeit und ein Fragebogen zur Selbstwirksamkeitserwartung (siehe Anhang).

Danach bearbeiteten die Schüler am Computer zunächst den Strategiewissenstest (EEST-2), für dessen Bearbeitung etwa 15 Minuten eingerechnet wurden. Danach folgten die Biologie-Aufgaben ohne Feedback, deren Bearbeitung ca. 10-15 Minuten beanspruchte. Die Schüler kamen im Programm nur dann weiter, wenn sie die Aufgaben bearbeitet und sich für eine der angebotenen MC-Alternativen entschieden hatten.

Im Anschluss an die Biologie-Aufgaben ohne Feedback folgte der Interventionsteil. Hier wurden am ersten Testtag insgesamt neun Biologie-Aufgaben inklusive Feedback- und den richtige Antwortseiten bearbeitet. Zunächst wurden drei von Marcus Hammann (Universität Münster) entwickelte Skalen zum Biologie-Unterricht abgefragt: die Einschätzung der Instruktionsqualität im Biologie-Unterricht anhand von 12 Items, die Selbsteinschätzung des eigenen Experimentier-Wissens anhand von 4 Items und ebenfalls die Selbsteinschätzung der Schüler zur eigenen Experimentier-Fähigkeit anhand von 9 Items.

Im Rahmen der zur Verfügung stehenden Schul-Doppelstunde gab es keine vorgegebene Bearbeitungsdauer der Intervention. Die Schüler konnten somit in ihrem eigenen Tempo die Aufgaben bearbeiten, das Feedback überdenken und die Lösungsseiten lesen. Innerhalb der Interventionsphase wurden zur Auflockerung in unregelmäßigen Abständen Bildschirmseiten mit Fragebogenitems zu verschiedenen Aspekten des Selbstregulierten Lernens, zum Umgang mit Fehlern und Einschätzungen des Biologie-Unterrichts eingebildet.

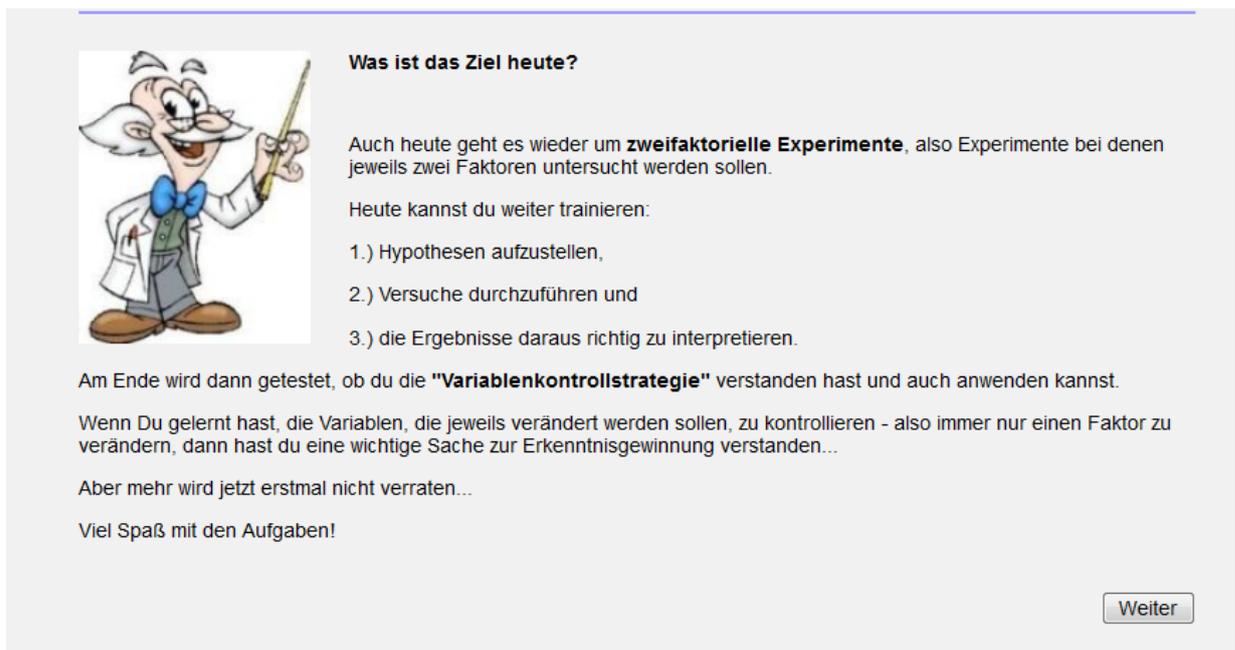
Die Bearbeitungszeit für die Trainingsphase lag zwischen 20 und 50 Minuten. Die unterschiedlich lange Bearbeitungsdauer hatte verschiedenen Gründe: Zum einen gab es unterschiedlich lange Feedbackvarianten (verschieden lange Lesezeiten). Zum anderen mussten die Probanden in zwei von vier Bedingungen nach jedem Feedback noch zusätzlich eine offene Frage zur kognitiven Aktivierung beantworten. Dieses vom Lernprogramm dargebotene Übungsangebot wurde von den Schülern insgesamt ganz unterschiedlich genutzt: manche nutzen die Fragen zur Reflektion und profitierten davon, andere ignorierten die Fragestellung oder nahmen die Fragen nicht ernst.

Den Abschluss des ersten Messzeitpunkts bildeten drei Aufgaben zur freien Versuchsplanung, die dazu dienten, dass die Schüler, die bereits das Programm fertig bearbeitet hatten noch etwas zu tun bekamen und um die anderen Lernenden nicht zu stören.

Danach war das Lernen am Computer abgeschlossen und der erste Testtag beendet. Den Schülern wurde gedankt und sie bekamen Süßigkeiten.

Der zweite Testtag fand ein bis maximal zwei Wochen nach dem ersten Messzeitpunkt statt und startete damit, dass die Schüler entweder Version A oder B der Subskala „Figur-

rale Analogien“ des KFT in der Paper-and-Pencil-Version bearbeiteten. Wie laut Manual des KFT vorgegeben, hatten die Schüler dafür genau acht Minuten Zeit. Im Anschluss daran arbeitete wieder jeder Schüler am Computer. Dabei war der Ablauf ähnlich wie am ersten Testtag: Nach der Eingabe des Codes wurden die Schüler auf einen Bildschirm von dem „Professor“ begrüßt, der durch das Programm leitet. Dieser stellt auf der nächsten Seite die Ziele des Programms dar (siehe Abbildung 45). Danach begannen die Schüler ohne weitere Instruktion mit der Trainingsphase des Lernprogramms.



Was ist das Ziel heute?

Auch heute geht es wieder um **zweifaktorielle Experimente**, also Experimente bei denen jeweils zwei Faktoren untersucht werden sollen.

Heute kannst du weiter trainieren:

- 1.) Hypothesen aufzustellen,
- 2.) Versuche durchzuführen und
- 3.) die Ergebnisse daraus richtig zu interpretieren.

Am Ende wird dann getestet, ob du die **"Variablenkontrollstrategie"** verstanden hast und auch anwenden kannst.

Wenn Du gelernt hast, die Variablen, die jeweils verändert werden sollen, zu kontrollieren - also immer nur einen Faktor zu verändern, dann hast du eine wichtige Sache zur Erkenntnisgewinnung verstanden...

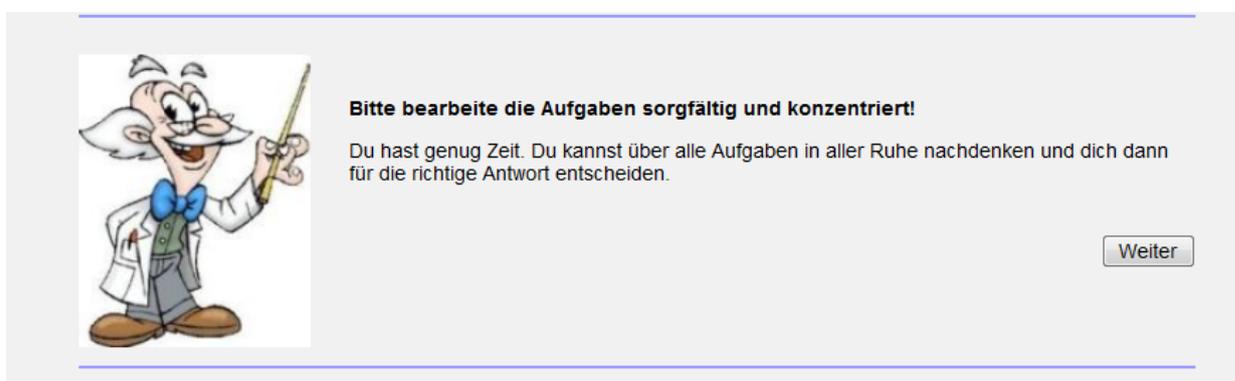
Aber mehr wird jetzt erstmal nicht verraten...

Viel Spaß mit den Aufgaben!

Weiter

Abbildung 45: Der „Professor“, der durch das Programm leitet, stellt die Ziele der Lerneinheit dar.

Darauf folgte der Hinweis zur sorgfältigen Bearbeitung des Programms (Abbildung 46).



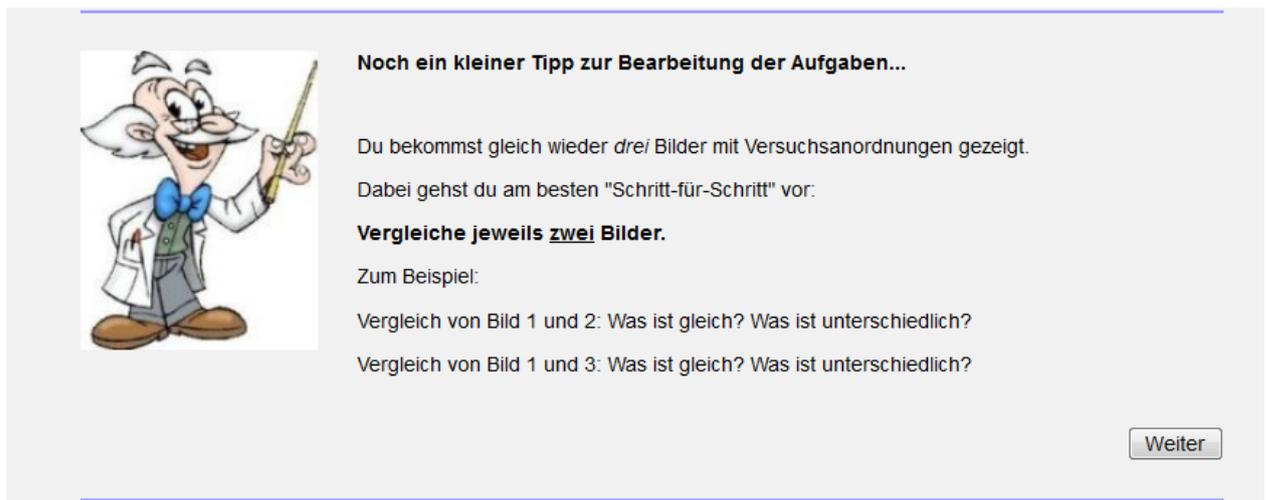
Bitte bearbeite die Aufgaben sorgfältig und konzentriert!

Du hast genug Zeit. Du kannst über alle Aufgaben in aller Ruhe nachdenken und dich dann für die richtige Antwort entscheiden.

Weiter

Abbildung 46: Aufforderung zur sorgfältigen Bearbeitung der Aufgaben.

Da aus der Vorstudie hervor gegangen war, dass die Darstellung der zweifaktoriellen Aufgaben mitunter Fragen aufwarf, wurde noch ein zusätzlicher Hinweis zum Vergleich der Bilder in den Aufgaben eingebaut. Diese Bildschirmseite (siehe Abbildung 47) ist die einzige Instruktion zum Lernprogramm, die die Schüler zur konkreten Bearbeitung der Aufgaben bekommen haben. Dieser Hinweis wurde in allen Versuchsbedingungen gleichermaßen gegeben, auch in der Kontrollbedingung.



Noch ein kleiner Tipp zur Bearbeitung der Aufgaben...

Du bekommst gleich wieder *drei* Bilder mit Versuchsanordnungen gezeigt. Dabei gehst du am besten "Schritt-für-Schritt" vor:

Vergleiche jeweils zwei Bilder.

Zum Beispiel:

Vergleich von Bild 1 und 2: Was ist gleich? Was ist unterschiedlich?

Vergleich von Bild 1 und 3: Was ist gleich? Was ist unterschiedlich?

Weiter

Abbildung 47: „Professor“ gibt einen Tipp zur Bearbeitung der Aufgaben.

Beim zweiten Messzeitpunkt gab es elf Biologie-Aufgaben mit Feedback und den richtigen Lösungsseiten zu bearbeiten. Darauf folgten ein Fragebogen zum selbstregulierten Lernverhalten, und ein Fragebogen zum Umgang mit Fehlern,

Wenn die Experimente der verwendeten strukturell sehr ähnlichen Biologie-Aufgaben einen neuen Kontext (Samenkeimung, Fische im Aquarium, Brot backen, Hühnerzucht...) bekamen, hat der „Professor“ den Übergang kommentiert und zugleich noch einmal zur sorgfältigen Bearbeitung der Aufgaben aufgefordert (siehe Abbildung 48).

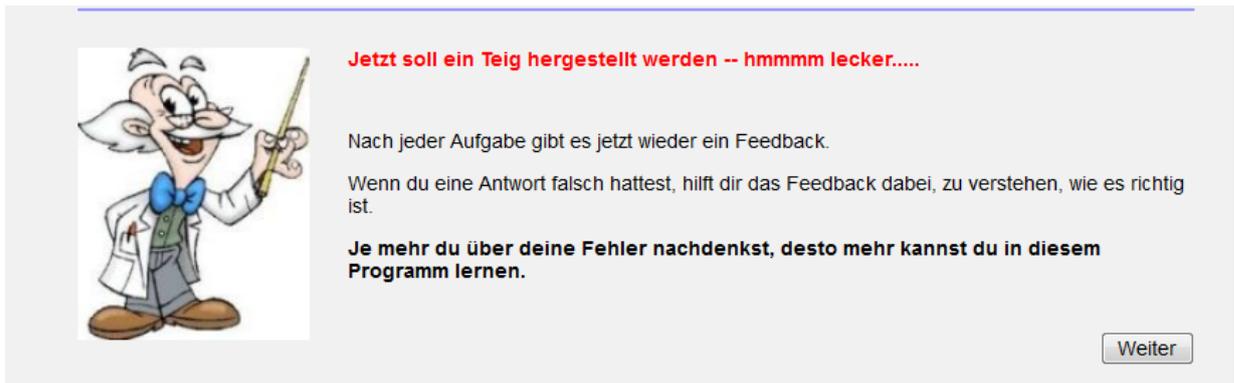


Abbildung 48: Bildschirmseite zur Aufmerksamkeitslenkung und Überleitung zwischen zwei Themengebieten

8.4 Ergebnisse

Zunächst werden deskriptive Statistiken zu den eingesetzten Instrumenten dargestellt. Im Anschluss daran wird berichtet, ob die verschiedenen Feedback-Varianten beim Bearbeiten der Biologie-Aufgaben im Rahmen der Intervention zu einem unterschiedlich hohen Lernzuwachs in Bezug auf die Biologie-Aufgaben bzw. strategischen Paarvergleiche führten. Es folgen Ergebnisse bezüglich möglicher a-priori Unterschiede in den lernrelevanten Kontrollvariablen zwischen den Gruppen.

Schließlich werden die Unterschiede zwischen den vier Versuchsbedingungen für die einzelnen abhängigen Variablen, auf die sich die Hypothesen beziehen, zusammengefasst und berichtet.

Die Unterschiedshypothesen wurden im Allgemeinen Linearen Modell mittels Varianzanalysen (ANOVA) beziehungsweise mittels linearer Kontraste überprüft. Da bei ausreichend großen Stichproben ($n_i > 10$) die Varianzanalyse relativ robust gegenüber Verletzungen ihrer Voraussetzungen ist (Bortz, 1999), wurde sie zum Prüfen der Mittelwerts-Unterschiede für alle abhängigen Variablen verwendet.

8.4.1 Deskriptive Statistik

Die Schüler hatten eine durchschnittliche Biologie-Note von $\bar{x}=2.4$ ($SD=.81$, $N=287$). Zu Beginn des Lernprogramms wurden sie aufgefordert, ihren Biologie-Unterricht auf einer Skala von 1 bis 4 (1= „trifft gar nicht zu“ bis 4= „Trifft genau zu“) hinsichtlich der

subjektiv wahrgenommenen Instruktionsqualität durch den Lehrer, dem eigenen Experimentierwissen und der im Unterricht erworbenen Experimentierfähigkeiten einzuschätzen. Tabelle 7 zeigt, dass die Schüler in diesen Bereichen ihren Lehrern durchschnittlich $\bar{x} = 2.6$ für die Instruktionsqualität im Biologie-Unterricht attestiert haben ($SD = .54$), das eigene Experimentierwissen mit $\bar{x} = 2.48$ ($SD = .59$) bewertet haben und die Selbsteinschätzung der Experimentierfähigkeiten ebenfalls bei $\bar{x} = 2.48$ ($SD = .52$) lag. Der Kurzfragebogen zur Persönlichkeit (Rammstedt et al., 2012) wurde auf einer 5-stufigen Likert-Skala beantwortet (1= „trifft überhaupt nicht zu“, 5= „trifft voll und ganz zu“). Tabelle 7 gibt einen Überblick über die deskriptiven Ergebnisse auf den einzelnen Skalen. Die Selbstwirksamkeitserwartung wurde sowohl zu T1 als auch zu T2 erhoben und umfasste jeweils eine 4-stufige Likert-Skala (1= „stimmt nicht“, 4= „stimmt genau“). Bei der Beantwortung der Biologie-Aufgaben standen jeweils vier Multiple-Choice Antworten zur Auswahl, von denen eine ausgewählt werden sollte. Bei den strategischen Paarvergleichen von Marschner (2011) mussten jeweils zwei Aussagenpaare miteinander verglichen und dabei entschieden werden, welches Vorgehen das bessere von beiden ist.

Tabelle 7: Deskriptive Ergebnisse der Studie

Beschreibung	MZP	Items	N	\bar{x}	SD
1. Zentrale Variablen					
Prä-Test, Bio-Aufgaben: richtige Antworten	T1	6	311	3,02	1,47
Post-Test, Bio-Aufgaben: richtige Antworten	T2	6	311	3,97	1,67
letzte 6 Bio-Aufgaben der Intervention	T2	6	311	4,47	1,67
Prä-Test, Strategie-Paarvergleiche Variante B	T1	18	311	10,17	2,82
Post-Test, Strategie-Paarvergleiche Variante B	T2	18	310	9,59	3,66
Bio-Aufgaben Training: richtige Antworten	T1	9	311	5,67	2,22
Bio-Aufgaben Training: richtige Antworten	T2	11	311	8,11	2,69
Summe <u>aller</u> richtigen Antworten im Training	T1+T2	20	311	13,78	4,39
2. Fragebögen					
Selbstwirksamkeit T1	T1	10	309	2,60	,40
Selbstwirksamkeit T2	T2	10	307	2,81	,51
Instruktionsqualität	T1	12	311	2,60	,54
Experimentierwissen	T1	4	311	2,48	,59
Experimentierfähigkeiten	T1	9	311	2,68	,52
Aussagen zum Experimentieren	T1	5	311	2,84	,58
Erfahrungen im Bio-Unterricht	T1	20	311	2,72	,38
SR03: Positive Selbstmotivier.	T1	4	308	2,86	,56
SR04: Lernstrategien	T1	5	307	2,76	,55
SR07: Umgang mit Fehlern	T2	8	309	2,98	,39
SRL über alle Skalen	T1+T2	44	300	2,83	,37

8.4.2 Reliabilitäten

Tabelle 8 enthält die Reliabilitäten der eingesetzten Messinstrumente, angegeben als Cronbachs α . Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die meisten Messinstrumente zufriedenstellende bis gute Reliabilitäten aufwiesen. Jedoch zeigt sich bei dem Prä-Test der Biologie-Aufgaben ein Cronbachs $\alpha < .5$. Die Post-Test-Werte der bearbeiteten Aufgaben sind reliabler. Die geringe Reliabilität im Prä-Test könnte durch das geringe Vorwissen der Schüler im Bereich des Experimentierens zu erklären sein. Auch auf der strategischen Ebene zeigt sich, dass die Reliabilitäten im Post-Test mit Cronbachs $\alpha = .727$ deutlich höher ausfallen als im Prä-Test mit Cronbachs $\alpha = .556$. Marschner (2011) hat den gleichen Effekt in ihrer Stichprobe entdeckt. Dort erreichte der Strategiewissenstest zum Experimentieren (EEST-2) als Prä-Test ebenfalls nur eine Reliabilität von Cronbachs $\alpha = .570$. Wobei dort Schüler aus drei 8. Klassen und sieben 9. Klassen untersucht worden waren und somit das Alter der Schüler in der Stichprobe mit $\bar{x} = 14,19$ Jahren ($SD = .836$) deutlich höher lag als in meiner Stichprobe aus Siebt-Klässlern. Marschner (2011) vertritt die These, dass „durch die Aktivierung des Strategiewissens nach Bearbeitung der Experimentierumgebung die Postwerte reliabler“ (S. 112) ausgefallen seien.

Tabelle 8: Übersicht der Reliabilitäten der verwendeten Messinstrumente

Stichprobe / Gruppe : Anzahl Vpn :			alle N=355
Beschreibung	MZP	Items	Reliabilität: Cronbachs Alpha
1. Zentrale Variablen			
Prä-Test, Bio-Aufgaben: richtige Antworten	T1	6	.444
Post-Test, Bio-Aufgaben: richtige Antworten	T2	6	.663
Prä-Test, Strategie- Paarvergleiche Variante B	T1	18	.556
Post-Test, Strategie- Paarvergleiche Variante B	T2	18	.727
Bio-Aufgaben Training: richtige Antworten	T1	9	.651
Bio-Aufgaben Training: richtige Antworten	T2	11	.790
Summe aller richtigen Antworten im Training	T1+ T2	20	.826 ($\bar{x} = 13, SD = 4,38$)

2. Fragebögen			
Selbstwirksamkeit T1	T1	10	.799
Instruktionsqualität	T1	12	.842
Experimentierwissen	T1	4	.543
Experimentierfähigkeiten	T1	9	.800
Aussagen zum Experimentieren	T1	5	.675
Erfahrungen im Bio-Unterricht	T1	20	.849
SRL über alle Skalen	T1+ T2	44	.865

8.4.3 Eingesetzte Instrumente

Die deskriptiven Statistiken der eingesetzten Messinstrumente haben gezeigt, dass die Biologie-Aufgaben eine recht geringere Lösungswahrscheinlichkeit auswiesen. Da die Schüler kein Vorwissen zum Experimentieren mit zweifaktoriellen Designs hatten, war dies für den Vortest auch nicht verwunderlich. Für das Design unserer Studie war es wichtig Schüler der 7. Klasse zu testen, damit zunächst Fehler gemacht werden, auf Basis derer mit Hilfe des Feedbacks gelernt werden kann. Der geringe Mittelwert im Post-Test zeigt jedoch, dass die eingesetzten Aufgaben evtl. für einige der Schüler auch im Post-Test noch zu schwierig waren.

Ganz besonders gilt dies für die verwendeten strategischen Paarvergleiche zum Experimentieren. Hier haben weniger Schüler am Ende des Trainings die Aufgaben richtig beantwortet als zu Beginn. Neben einem sicherlich nicht unerheblichen Motivationsdefizit, sind die Schüler mit der Anforderung dieser Aufgabe vermutlich mit Anforderungen konfrontiert gewesen, die sie aus dem sonstigen Unterricht so nicht gekannt haben. Anders als im Lernprogramm umgesetzt, hätte man den kognitive Load der Lernenden evtl. dadurch reduzieren können, indem man die drei zu bewertenden Alternativen gleichzeitig präsentiert und die Aufgabe gegeben hätte, diese in eine sinnvolle Reihenfolge zu bringen (die beste Alternative an oberste Stelle und die schlechteste nach unten). Dies hätte zudem keine Inkongruenz-Korrektur der Daten erfordert, die zu einer fragwürdigen Validität der Aussagen beiträgt.

Problematisch ist zudem, dass zu dem von Marschner et al. (2011) selbstentwickelten Strategiewissenstest keine Normierung stattgefunden hat, die Werte also nicht im Sinne von Normwerten behandelt und verglichen werden können.

8.4.4 Lernzuwachs auf Aufgabenebene (prozessbezogene methodische Kompetenzen)

Das Bearbeiten der computerbasierten Lernumgebungen führte zu einem signifikanten Lernzuwachs in Bezug auf die Bearbeitung der Biologie-Aufgaben. Die Schüler konnten nach der Interventionsphase mit Feedback signifikant mehr Biologie-Aufgaben richtig beantworten als davor. Der Mittelwert im Prä-Test vor der Bearbeitung der Trainingsaufgaben über alle vier Versuchsgruppen hinweg lag bei $\bar{x}=3.02$ ($SD=1,47$). Der Mittelwert im Posttest lag bei $\bar{x}=3.97$ ($SD=1,67$).

Tabelle 9: Mittelwerte Prä- und Post-Test bei den Biologie-Aufgaben

Beschreibung	MZP	Items	N	\bar{x}	SD
1. Zentrale Variablen					
Prä-Test, Bio-Aufgaben: richtige Antworten	T1	6	311	3,02	1,47
Post-Test, Bio-Aufgaben: richtige Antworten	T2	6	311	3,97	1,67
letzte 6 Bio-Aufgaben der Intervention	T2	6	311	4,47	1,67

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass es einen signifikanten Lernzuwachs auf der Ebene der richtigen Lösung der Biologieaufgaben (Prä-Post-Vergleich) gibt ($F(1; 327)=94,482$, $p<.001$). Jedoch zeigt sich kein Effekt zwischen den Versuchsgruppen ($F(3; 327)=1,616$, $p>.10$). Dies gilt sowohl für die Betrachtung der Dimension „Lokalisation des Fehlers“ ($F(1; 330)=.165$, $p=.685$) als auch für die Dimension „Kognitive Aktivierung“ ($F(1; 330)=.398$, $p>.10$). Selbst wenn man ausschließlich die Personen in die Analyse eingehen lässt, die im Post-Test besser abgeschnitten haben als im Prä-Test ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($F(3; 185)=.154$, $p>.10$).

Tabelle 10 zeigt, aufgeteilt auf die verschiedenen Versuchsbedingungen folgende Lernzuwächse:

Tabelle 10: Lernzuwächse der Versuchsgruppen (T2-T1 bei den Bio-Aufgaben)

Bericht			DAGain	DAGainBio
Versuchsgruppe				
1 Kontroll- gruppe	Mittelwert		,79	1,40
	N		84	84
	Standardabweichung		1,914	1,851
2 Warum	Mittelwert		1,05	1,57
	N		77	77
	Standardabweichung		1,589	1,780
3 Wo	Mittelwert		1,27	1,57
	N		75	75
	Standardabweichung		1,630	1,876
4 Kombi	Mittelwert		,72	1,27
	N		75	75
	Standardabweichung		1,760	1,742
Insgesamt	Mittelwert		,95	1,45
	N		311	311
	Standardabweichung		1,738	1,810

Zunächst wurden die Effekte der unabhängigen Variablen in Bezug auf die AV1 (Lernzuwachs auf Ebene der Biologie-Aufgaben) und die AV2 (strategischer Lernzuwachs) in zwei univariaten 2x2 Designs als stepwise Regression des T2-Wertes getestet. Dabei zeigte sich, dass es weder für die AV1 noch für die AV2 einen signifikanten Haupteffekt gibt: $F(3; 330) = .248, p > .10$.

Tabelle 11: Ergebnisse der schrittweisen hierarchischen Regressionsanalyse für AV1 (Aufgabenebene)

AV1(Biologie-Aufgaben)						
Post-Test (Biologie-Aufgaben)	R-Quadrat	Änderungsstatistiken				
		Änderung in R-Quadrat	Änderung in F	df1	df2	Sig. Änderung in F
1 T1	,168	,168	67,233	1	333	,000
2 T1, UV1, UV2, UV1*UV2	,178	,010	1,381	3	330	,248

a. Einflußvariablen : (Konstante),
Prä-Test (Aufgabenebene)

b. Einflußvariablen : (Konstante),
Prä-Test (Aufgabenebene),
UV_wo, IA_UV, UV_warum

Die Bearbeitung des Lernprogramms führte über alle Versuchsgruppen hinweg zu einem signifikanten Lernzuwachs in Bezug auf die richtige Lösung der Biologieaufgaben (prozessbezogene methodische Kompetenzen). Wie Tabelle 12 zeigt, gab es für die UV_Warum keinen sign. Effekt der Versuchsbedingung auf die gelösten Aufgaben in T2.

Allerdings zeigt sich ein Interaktionseffekt (Beta= -.10, t= -1.97, p<.05) zwischen den Bedingungen. Das negative Vorzeichen zeigt, dass die Kontrollgruppe und die Kombinierte Feedback-Gruppe (mit „Wo“- und „Warum“-Feedback“) schlechter abschneiden, als durch den Haupteffekt zu erwarten wäre (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Koeffizienten der Regressionsanalyse (Aufgabenebene)

Modell		Nicht stand. Koeffizienten		Stand. Koeff.	T	Sig.	Korrelationen		
		Regr. Koeff. B	Standardfehler	Beta			Nullter Ordnung	Partiell	Teil
1	(Konstante)	3,952	,083		47,526	,000			
	Z-Wert(DAT1kor)	,683	,083	,410	8,200	,000	,410	,410	,410
2	(Konstante)	3,955	,083		47,547	,000			
	Z-Wert(Prä-Test (Bioaufgaben))	,691	,083	,415	8,285	,000	,410	,415	,413
	UV_wo	,008	,083	,005	,100	,921	-,005	,005	,005
	UV_warum	-,049	,083	-,030	-,590	,555	,003	-,032	-,029
	Interaktionseffekt_UV	-,164	,083	-,099	-1,975	,049	-,086	-,108	-,099

a. Abhängige Variable: Post-Test (Aufgabenebene)

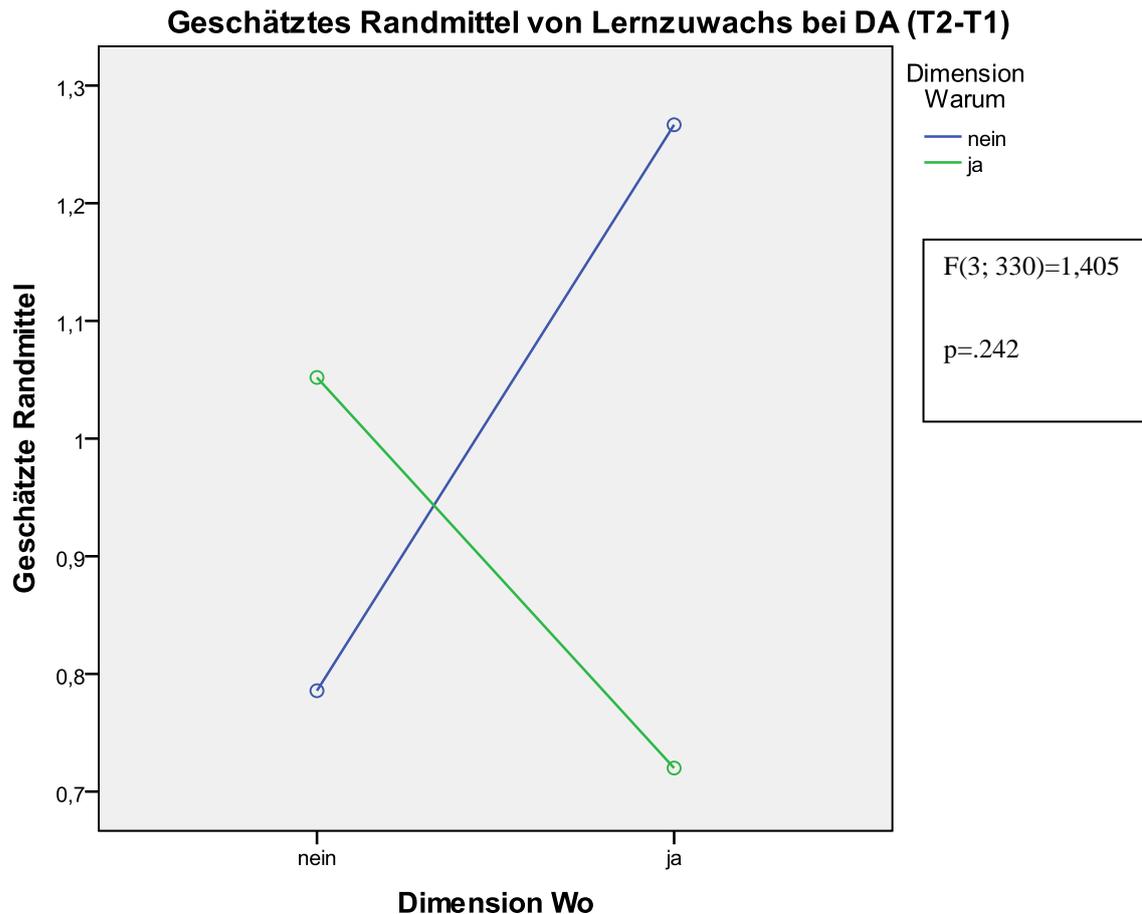


Abbildung 49: Interaktionseffekt zwischen den beiden Dimensionen der Versuchsgruppen

Varianzanalytisch haben wir zudem den Lernzuwachs auf Aufgabenebene (prozessbezogene methodische Kompetenzen) überprüft (Anzahl der gelösten Aufgaben im Post-Test abzüglich der Anzahl der gelösten Aufgaben im Prä-Test). Die einzelnen Gruppen unterscheiden sich jedoch nicht signifikant zwischen T1 und T2 in Bezug auf die richtig gelösten Biologie-Aufgaben $F(3; 330)=1.405$, $p>.10$. Die Lernzuwächse der Schüler zeigen, dass Probanden aus der Kontrollgruppe weniger gut lernen als in den Versuchsgruppen der Wo- und der Warum-Bedingung. Eine Besonderheit stellt die kombinierte Bedingung dar: Hier schneiden die Probanden noch schlechter ab, als in der Kontrollgruppe.

Um Reihenfolgeeffekte zu kontrollieren wurde die Abfolge, der Biologie-Aufgaben im Post-Test variiert. Zudem haben wir (um den Schülern etwas Neues zu präsentieren ohne die Aufgabe zu verändern) die Namen der handelnden Personen beim Experimentieren verändert.

Es ist auffällig, dass von den letzten sechs Biologie-Aufgaben der Intervention mehr Aufgaben richtig gelöst worden sind, als im Post-Test der Aufgaben. Dieser Effekt ist umso interessanter, da der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben (auf Basis der mittleren Lösungswahrscheinlichkeiten), die im Rahmen des Trainingsabschnitts bearbeitet werden sollten, ansteigend war, so dass die schwierigsten Aufgaben zum Schluss präsentiert wurden. Die Tatsache, dass von den letzten (und somit schwierigsten Biologie-Aufgaben der Intervention) mehr Aufgaben ($\bar{x}=4.47$, $SD=1.67$) richtig beantwortet wurden, als im Post-Test, lässt an der Motivation der Schüler im Post-Test zweifeln und deren sinnvolle Bearbeitung der Aufgaben in Frage stellen.

Daher prüfen wir im Folgenden, ob sich ein Einfluss der Versuchsgruppen auf den Lernzuwachs in Bezug auf die letzten sechs Biologie-Aufgaben der Intervention im Vergleich zum Prä-Test der Biologie-Aufgaben zeigt. Auch hier zeigt sich ein signifikanter Lernzuwachs über alle Gruppen hinweg ($F(1; 327)=199.41$, $p<.001$). Jedoch zeigt sich ebenfalls kein Effekt zwischen den Versuchsgruppen ($F(3; 327)=.503$, $p>.10$). Betrachtet man den Interaktionseffekt zwischen den Gruppen im Rahmen einer Varianzanalyse mit den Faktoren „Lokalisation des Fehlers“ und „Kognitive Aktivierung“, zeigt sich, wiederum kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, jedoch weist die Kombination aus den Feedback-Bedingungen einen Interaktionseffekt auf – jedoch in die falsche Richtung ($F(1;327)=4.269$, $p<.05$). Dieses Ergebnis deutet daraufhin, dass die elaborierte kombinierte Versuchsbedingung, welche sowohl Feedback auf der „Warum“-Dimension als auch Feedback auf der „Wo“-Dimension beinhaltete, weniger effektiv war als die Versuchsbedingungen mit weniger umfangreichen Feedback.

8.4.4.1 Fazit

Die Regressionsanalyse zeigt ebenso wie die Varianzanalyse, dass es zwar einen signifikanten Lernzuwachs über alle Bedingungen hinweg geben hat, sich dieser aber nicht signifikant zwischen den beiden Dimensionen der AV unterscheidet. Probanden, die eine Rückmeldung über die Lokalisation des Fehlers erhalten haben, haben im Post-Test nicht mehr Biologie-Aufgaben richtig gelöst als Probanden, die Feedback mit kognitiver Aktivierung erhalten hatten. Lediglich die Kombination aus beiden Versuchsbedingungen schneidet schlechter ab. Der Interaktionseffekt zwischen den beiden Dimensionen der Versuchsgruppen zeigt, dass die Schüler am schlechtesten in der kombinierten Be-

dingung gelernt haben. Ein möglicher Grund für diesen Effekt könnte der Umfang des zu lesenden Feedbacks in der kombinierten Bedingung sein. In dieser Bedingung hatten die Lernenden doppelt so viel zu lesen wie in den anderen Versuchsbedingungen, weil diese Bedingung sowohl Informationen über die Lokalisation des Fehlers als auch über die Begründung des Fehlers mit der am Prompting orientierten kognitiven Aktivierung beinhaltete. Dies könnte dazu geführt haben, dass die Feedbackseiten nicht oder nicht vollständig gelesen wurden und die Fehlerrückmeldung daher auch nicht kognitiv verarbeitet werden konnte.

Hinzu kommt, dass die Texte der präsentierten Rückmeldungen in dieser Bedingung viel elaborierte Information zur Verfügung gestellt haben und somit nicht nur aufwendig zu lesen waren, sondern auch eine kognitive Herausforderung für die Lernenden (cognitive Load) darstellte. Das Ergebnis könnte auch ein Hinweis darauf sein, dass die Lernenden das Feedback nicht komplett gelesen haben. Die auf den Seiten verbrachte Zeit unterstützt diese These. So haben die Schüler auf den „Wo“-Feedbackseiten (Lokalisation des Fehlers) signifikant weniger Zeit verbracht als Schüler in der „Warum“-Bedingung (kognitive Aktivierung) ($F(1; 330)=355.42, p<.001$). In der Kombinierten Bedingung haben die Schüler durchschnittlich $\bar{x}=599,80$ Sekunden ($SD=352.063$ Sekunden) und somit weniger Zeit verbracht als die Schüler, in der Feedback-Bedingung zur kognitiven Aktivierung ($\bar{x}=625.73$ Sekunden, $SD=301.34$ Sekunden) – obwohl der Text für die kombinierte Bedingung länger (fast doppelt so lang) war. Diese Unterschiede in den Lesezeiten legen den Schluss nahe, dass die umfangreichen Feedbackseiten der kombinierten Bedingung nur selten gelesen wurden.

Somit konnten wir unsere Hypothese, dass Lerner, die „Wo-Feedback“ (Lokalisation des Fehlers) erhalten, einen größeren Zuwachs an prozessbezogenen methodischen Kompetenzen (operationalisiert über die Anzahl der richtig gelösten Biologieaufgaben) haben, als Lerner, die „Warum-Feedback“ erhalten, leider nicht bestätigen. Auch die Hypothese über den Interaktionseffekt und die Kontrollbedingung hat sich empirisch nicht bestätigen lassen.

8.4.5 Strategische Ebene

Die Ergebnisse aus dem Prä-Post-Test Vergleich auf der strategischen Ebene zeigen ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. Tabelle 13 und Tabelle 14

enthalten die deskriptiven Statistiken der eingesetzten Messinstrumente sowie deren Reliabilitäten, angegeben als Cronbachs α . Der Tabelle 11 ist zu entnehmen, dass die meisten Messinstrumente zufriedenstellende bis gute Reliabilitäten aufwiesen.

Allerdings erreichte der Strategiewissenstest zum Experimentieren (EEST-2) sowohl als Prä-Test als auch im Post-Test keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Da bei der Auswahl der Paarvergleiche die Gefahr bestand, dass die Schüler ihre Auswahl per Durchklicken getroffen haben, haben wir – genauso wie Marschner (2011) – bei der Auswertung inkonsistente Antwortmuster bestraft. Der Gesamtscore des EEST-2 wurde aus der Summe aller richtig gelösten Items, geteilt durch die Gesamtanzahl der Items berechnet. Da es sich bei der Beantwortung um einen vollständigen Paarvergleich handelte, konnten Inkonsistenzen im Antwortmuster erkannt werden. Inkonsistenzen werden als Hinweis darauf gesehen, dass geraten wurde. Daher werden in diesem Fall richtige Antworten nicht als richtig gewertet. Wenn von drei Paarvergleichen ein Vergleich falsch ist, werden bei Marschner auch die beiden richtigen Antworten dieses Musters als falsch gewertet. Diese Auswertungsart haben wir als Inkonsistenzbestrafung nach Variante B in unsere Tabelle aufgenommen. Da wir den Eindruck hatten, dass dieses Inkonsistenzmuster nicht immer darauf schließen lässt, dass geraten wurde, haben wir zusätzlich ein weniger strenges Kriterium zur Auswertung angewendet. Bei Variante C wurden nur bei zwei falschen von drei Paarvergleichen alle Paarvergleiche als falsch gewertet.

Das Auswertungsmuster hat Auswirkungen auf die Reliabilität. Dadurch kann noch keine Aussage darüber getroffen werden, ob die Daten eine zufriedenstellende Reliabilität aufweisen oder nicht. Die verbesserte Reliabilität bei der Auswertung nach dem Inkonsistenzmuster B liegt lediglich daran, dass das oben beschriebene Auswertungsmuster über alle Fälle hinweg zur Anwendung kam.

Ohne Inkonsistenzbestrafung konnten wir eine Reliabilität von Cronbachs $\alpha=.215$ (Variante A) finden, bei Variante B lag die Reliabilität bei Cronbachs $\alpha=.556$ (Variante B: mit Inkonsistenzbestrafung wie bei Marschner, 2011), wenn wir nur das Antwortmuster zwei falsche und eine richtige Antwort korrigiert haben, lag die Reliabilität bei Cronbachs $\alpha=.462$ (Variante C).

Auch als Posttest war die Reliabilität des EEST-2 nicht überzeugend. So konnten wir im Posttest eine Reliabilität von Cronbachs $\alpha=.318$ (Variante A: ohne Inkonsistenzbestra-

fung), ein Cronbachs $\alpha=.727$ (Variante B: mit Inkonsistenzbestrafung wie bei Marschner, 2011) und ein Cronbachs $\alpha=.651$ (Variante C) finden.

Tabelle 13: Reliabilitäten im Vergleich zu den versch. Arten der Recodierung

	T1	T2
A (ohne Inkontingenz-Korrektur)	.215	.318
B (Inkontingenz-Korrektur wie bei Marschner 2010)	.556	.727
C (nur bei einem Inkonsistenz-Muster (2 falsch und 1 richtig))	.462	.651

Die Tabelle zeigt, dass durch die Art der Bestrafung von inkonsistenten Antwortmustern die Reliabilität systematisch erhöht werden kann. Zudem zeigt sich, dass die Postwerte reliabler sind. Dies könnte darauf zurück zu führen sein, dass durch die Bearbeitung der Biologie-Aufgaben im Rahmen des Lernprogramms eine Aktivierung des Strategiewissens stattgefunden hat.

Tabelle 14: Reliabilitäten des Strategiewissenstests (EEST-2)

Messinstrument	N	\bar{x}	min	max	SD Bereich	Reliabilität Cronbachs α	Item-Anzahl
EEST-2 Prä zu T1 (Variante A, ohne Inkontingenz-Bestrafung)	335	.628	.415	.943	.197	.215	18
EEST-2 Prä zu T1 (Variante B, mit Inkontingenz-Bestrafung wie bei Marschner (2011))	335	.568	.343	.913	.171	.556	18
EEST-2 Post zu T2 (Variante A, ohne Inkontingenz-Bestrafung)	335	.621	.411	.867	.135	.318	18
EEST-2 Post zu T2 (Variante B, mit Inkontingenz-Bestrafung wie bei Marschner (2011))	335	.531	.363	.746	.061	.727	18

Zum Vergleich: Bei Marschner (2011) liegen die Mittelwerte im EEST-2 zwischen .578 und .743. Marschner schließt daraus, dass zumindest ein mittleres Strategiewissen in ihrer Stichprobe vorhanden zu sein schien. Zudem konnte sie zeigen, dass die Mittelwerte signifikant über der Ratewahrscheinlichkeit lagen, die aufgrund der Auswertung, welche die inkonsistenten Antwortmuster berücksichtigt, bei einem Wert von .42 liegt. Die T-Tests von Marschner (2011) ergaben Folgendes: $tA_{prä}(264)=20.964, p<.001$; $tA_{post}(255)=12.087, p<.001$; $tB(184)=21.098, p<.001$.

Im Rahmen einer hierarchischen schrittweisen Regression haben wir geprüft ob:

Lerner, die „Warum-Feedback“ (kognitive Aktivierung) erhielten, einen größeren strategischen Wissenszuwachs hatten als Lerner, die „Wo-Feedback“ erhielten.

Die Ergebnisse zeigen, dass alle drei Koeffizienten ein negatives Vorzeichen haben. Auf der strategischen Ebene gibt es folglich keinen Lernzuwachs, sondern einen Rückgang der richtig gelösten Items von MZP1 zu MZP2.

Tabelle 15: Regressionsmodell (strategische Ebene)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Änderungsstatistiken				
					Änderung in R-Quadrat	Änderung in F	df1	df2	Sig. Änderung in F
1	,368 ^a	,135	,133	3,410	,135	51,929	1	332	,000
2	,373 ^b	,139	,129	3,418	,004	,489	3	329	,690

a. Einflußvariablen : (Konstante), SPV (T1) strategische Ebene

b. Einflußvariablen : (Konstante), SPV (T1) strategische Ebene, UV_Wo, IA_UV, UV_Warum

Zudem zeigt sich, dass es keine berichtenswerten Leistungsunterschiede zwischen den Versuchsgruppen gibt.

Tabelle 16: Regressionsmodell (strategische Ebene)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Stand. Koeff.	T	Sig.	Korrelationen		
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta			Nullter Ordnung	Partiell	Teil
1 (Konstante)	9,545	,187		51,153	,000			
Z-Wert: SPV (T1) strategische Ebene	1,347	,187	,368	7,206	,000	,368	,368	,368
2 (Konstante)	9,532	,187		50,866	,000			
Z-Wert: SPV (T1) strategische Ebene	1,336	,188	,365	7,097	,000	,368	,364	,363
UV_Wo	-,190	,187	-,052	-1,012	,312	-,057	-,056	-,052
UV_Warum	-,120	,188	-,033	-,636	,525	-,064	-,035	-,033
IA_UV	-,034	,188	-,009	-,179	,858	,013	-,010	-,009

a. Abhängige Variable: SPV (T2) Variante B = doppelte Inkonsistenz-Bestrafung

8.4.5.1 Fazit

Zur Testung der strategischen Fähigkeiten der Probanden sollten bei 18 verschiedenen Problemstellungen jeweils drei Aussagen zum strategischen Vorgehen bei der Versuchsplanung, -durchführung und -interpretation auf Basis von Paarvergleichen in eine sinnvolle Rangreihe gebracht werden. Um bei diesem Vorgehen, zufällig richtig angeklickte Items von der Auswertung auszuschließen, haben wir inkonsistente Antwortmuster identifiziert und in Anlehnung an das Verfahren von Marschner (2011) als „falsch“ klassifiziert. Diese Vorgehensweise haben wir sowohl im Prä-Test als auch im Post-Test angewendet. Dabei hat sich gezeigt, dass die Lernenden unserer Stichprobe beim Post-Test weniger richtig gelöste Items vorweisen konnten, als im Prä-Test vor der Durchführung der Intervention.

Die Ergebnisse der strategischen Paarvergleiche (Marschner, 2010) lassen darauf schließen, dass die Aufgaben für die untersuchte Altersgruppe zu schwierig waren. Zudem kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Aufgaben nicht sorgfältig gelesen wurden und Motivationsdefizite (siehe Diskussion, Kapitel 8) einen wesentlichen Einfluss auf den ausgebliebenen Lernzuwachs hatten. Die Interaktion zwischen den beiden untersuchten Feedback-Dimensionen hat ebenfalls keinerlei Lernzuwachs erbracht. Daher können wir auch die beiden anderen Hypothesen als nicht bestätigt werten.

8.5 Potentielle Moderatoren und Kovariaten

Zusätzlich zu den beiden Dimensionen „Lokalisation des Fehlers“ („Wo“-Bedingung) und „Kognitive Aktivierung“ („Warum“-Bedingung), die über die Dimensionen des Versuchsdesigns operationalisiert und getestet wurden, haben uns die Prädiktoren interessiert, die im Rahmen des computerbasierten Lernprogramms den Lernzuwachs auf strategischer Ebene bzw. in Bezug auf die richtige Lösung der Biologie-Aufgaben beeinflusst haben.

Um genauer zu untersuchen, welcher Prädiktor im Rahmen der Interventionsphase die richtige Lösung der Biologie-Aufgaben am meisten beeinflusst, haben wir regressionsanalytisch untersucht, welche Faktoren als potentielle Moderatoren und Kovariaten in Fragen kommen.

Tabelle 17: Darstellung potentieller Moderatoren und Kovariaten

	N	Min.	Max.	\bar{x}	SD	Sex	Note	I.-quali.	Exp.-Wissen	Exp.-Fähigk.	\bar{x} SRL	IQ	Umgang mit Fehlern	
Geschlecht Om 1w	335	0	1	0,61		1								
letzte verfügbare Bionote (falls vorhanden)	311	1	5	2,46	,80	-	1							
Hamann: Instruktionsqualität (Mw 12 AE- & EB-Items)	335	1,00	3,83	2,61	,55	,094	-	1						
Hamann: Experimentier-Wissen (Mw 4 EB-Items)	335	1	4	2,50	,58	-	-	,157	1					
Hamann: Experimentier-Fähigkeiten (Mw 9 EB-Items)	335	1	4	2,68	,52	-	-	,310	,738	1				
Mittelwert SR01 - SR07	322	1,17	3,89	2,83	,37	,023	-	,314	,310	,458	1			
KFT_IQ	335	55	132	99,19	13,02	-	-	-,015	,011	,015	-	1		
Umgang mit Fehlern (T2, Mw 8 SR07-Items, max.2 mis.)	332	1,38	4,00	2,99	,38	,050	,143	-,080	,152	,071	,181	,585	,080	1
Gewissenhaftigkeit	335	1	5	3,31	,96	,247	-	,126	,226	,040	,177	,516	-	,290
Offenheit	335	1	5	3,77	,94	,195	-	,102	,102	,118	,150	,241	,135	,167
Selbstwirksamkeit post 1 (T2, Mw 4 SR08-Items, max.1 mis.)	333	1	4	2,60	,40	,016	,131	,086	-,064	-,009	,154	-	,102	,173

Wie Tabelle 17 zeigt kommen auf Grund ihrer Korrelationen die Skalen „Experimentierfähigkeit“ (Hammann), „Selbsteinschätzung des Experimentier-Wissens“ (Hammann), „Selbstreguliertes Lernen“, Big Five „Gewissenhaftigkeit“ und „Umgang mit Fehlern“ als Faktoren zur Vorhersage eines besseren Lernzuwachses in Frage.

8.5.1 Aufgabenebene (Kovariaten und Moderatoren)

Im dritten und vierten Schritt der Regressionsanalyse haben wir analysiert, welche Kovariaten einen Einfluss auf den Lernzuwachs hatten und wie diese mit der UV interagieren um als Moderatoren geprüft zu werden. Tabelle 18 (siehe Anhang) zeigt, was anhand der Regressionsschritte 3 (Kovariaten) und 4 (Moderatorvariablen) der Regressionsanalyse getestet wurde.

Zunächst wurde getestet, ob eine Variable als Kovariate mit der AV (T2 unter Auspartialisierung von T1, was dem relativen Lernzuwachs entspricht) auf der Aufgaben-Ebene korreliert. In der Tabelle 18 wird als Ergebnis deutlich, dass sich zwar Korrelationen ergeben, diese jedoch nicht immer hypothesenkonform sind. So lernen Schüler mit einer guten Biologie-Note in der „Warum“-Bedingung weniger als in den anderen Bedingungen. Entsprechend ist es auch überraschend, dass Schüler mit einem auf Basis des Subtests Figurale Analogien N2 geschätzten höheren IQ einen geringeren Lernzuwachs aufweisen.

Im Rahmen der Regressionsanalyse wurde zudem getestet, ob der erwartete UV1-Haupteffekt auf AV1 (Aufgabenebene) auf dieser Ebene ein sign. Ergebnis bringt. Jedoch bleibt das Ergebnis noch immer Null.

Beim Testen, ob unerwartet ein Haupteffekt der UV2 auf die AV1 auftritt, oder ob der unerwartete negative Interaktionseffekt $UV1 \times UV2$ auf dieser Ebene der Regressionsanalyse evtl. verschwindet, zeigte sich ebenfalls, dass der Haupteffekt weiterhin ausbleibt und der Interaktionseffekt bleibt bestehen.

In Schritt 4 der Regressionsanalyse wurde die Moderatorfunktion der einzelnen Variablen überprüft: Dabei wurde getestet, ob der erwartete UV1-Effekt eventuell zumindest bei den hohen Ausprägungen der Moderatorvariablen auftritt, was ein positives Interaktions-Beta ergeben würde. Das Ergebnis zeigt jedoch das Gegenteil: Bei den Hammann-

Skalen und dem IQ wird deutlich, dass intelligente Kinder unter dem „Wo“-Treatment weniger gut lernen.

In Bezug auf die AV1 (Aufgabenebene) wurde zudem getestet, ob unerwartet eine Interaktion mit UV2 oder UV1*UV2 auf AV1 eintritt. Die Tabelle 18 zeigt, dass bei den markierten Kovariaten (siehe Tabelle 18 im Anhang) ein Effekt auftritt: Gute Schüler lernen in der „Warum“-Bedingung weniger ($\beta = -0,089$, $p(2\text{-seitig}) < .10$) – obwohl diese vermutlich über mehr Vorwissen in Biologie verfügen als schlechte Schüler und daher im Prinzip mit der Begründung des Fehlers und der daran anschließenden kognitiven Aktivierung mehr anfangen könnten müssten.

Intelligente Schüler lernen sowohl in der „Wo“- ($\beta = -.124$, $p(2\text{-seitig}) < .01$) als auch in der „Warum“-Bedingung ($\beta = .085$, $p(2\text{-seitig}) < .10$) weniger als die weniger intelligenten Schüler, was bedeutet, dass weniger intelligente Schüler mit dem Programm besser gelernt haben.

In Bezug auf die Selbstwirksamkeitserwartung haben die Schüler in der Kontroll- und in der kombinierten Bedingung geringere Werte als erwartet ($\beta = -.09$, $p(2\text{-seitig}) < .10$).

8.5.2 Strategische Ebene (Kovariaten und Moderatoren)

Anhand der Regressionsschritte 3 (Kovariaten) und 4 (Moderatorvariablen) der Regressionsanalyse wurde für die einzelnen im Rahmen der Studie erhobenen Variablen der AV2 (strategische Ebene) zunächst getestet (siehe Tabelle 19 im Anhang) ob der erwartete UV2-Haupteffekt auf AV2 auf dieser Ebene auftritt. Das Ergebnis war, dass der UV2 Haupteffekt weiterhin ausblieb.

Dann wurde getestet, ob evtl. vielleicht doch ein Haupteffekt der UV1 auf die AV2 auftritt, oder ein unerwarteter Interaktionseffekt UV1 x UV2 auftritt. Jedoch blieben auch diese beiden Effekte aus.

In Schritt 4 der Regressionsanalyse wurde die Moderatorfunktion der einzelnen Variablen überprüft. Dabei wurde zunächst getestet, ob der erwartete UV2-Effekt zumindest bei den „Moderator-Hohen“ auftritt, was ein positives Interaktions-Beta ergeben würde.

Das Ergebnis zeigt, für den Faktor Big Five Gewissenhaftigkeit und Hamm_F, dass die Schüler mit hohen Ausprägungen auf den Moderator-Variablen unter dem „Warum“-

Treatment in Bezug auf die strategische Ebene (AV2) mehr lernen ($\beta = .09$, $p(2\text{-seitig}) < .10$).

Zusätzlich wurde getestet, ob eine Interaktion mit UV2 oder $UV1 * UV2$ auf AV2 eintritt. Es treten folgende Interaktionseffekte auf:

- 1.) Frauen sind in der Kontrollbedingung und in der kombinierten Bedingung schlechter als vom Haupteffekt her zu erwarten wäre ($\beta = -.101$, $p(2\text{-seitig}) < .05$).
- 2.) Lerner mit hohen Ausprägungen auf der Skala Experimentierfähigkeiten (Hamann) sind in der „Warum“-Bedingung besser als erwartet, Lernen mit geringen Ausprägungen schlechter als erwartet ($\beta = .089$, $p(2\text{-seitig}) < .10$).
- 3.) Intelligente Lerner haben in der Kontrollbedingung und in der kombinierten Bedingung noch schlechtere Werte als in den anderen beiden Versuchsbedingungen ($\beta = -.098$, $p(2\text{-seitig}) < .05$).
- 4.) Personen, die lange Lesezeiten aufwiesen, hatte in der Kontrollgruppe und in der kombinierten Bedingung einen geringen Lernzuwachs ($\beta = -.096$, $p(2\text{-seitig}) < .05$).

8.6 Zusammenfassendes Fazit

Die Ergebnisse der Datenauswertung zeigen, dass sich unsere Hypothesen nur zum Teil bestätigt haben. Grundsätzlich war die Intervention zwar erfolgreich, da die Lernenden über alle Versuchsbedingungen hinweg Lernzuwächse zu verzeichnen hatten – jedoch nur auf der Aufgabenebene. Der Prä-Post-Test Vergleich auf der strategischen Ebene erbrachte keinen Lernzuwachs: Weder für Feedbackbedingung mit der kognitiven Aktivierung, wie wir es auf Basis unserer Hypothese vorausgesagt hatten, noch für die anderen Versuchsgruppen. Auf der strategischen Ebene schnitten die Lernenden im Post-Test durchschnittlich schlechter ab als im Prä-Test vor Beginn der Intervention.

Die regressionsanalytische Annäherung an die Daten hat ergeben, dass Gewissenhafte höhere Lernzuwächse zu verzeichnen hatten als Personen, die geringere Ausprägungen auf diesem Big Five-Faktor auswiesen.

Auf Basis der erhobenen Daten ist daher keine Aussage darüber möglich, welche Faktoren der Feedbackbedingungen den Lernzuwachs ausgemacht haben. Auch ermöglichen uns die Daten keine Schlussfolgerungen darüber, warum die Lernenden im Post-Test weniger strategische Items richtig beantwortet haben, als im Prä-Test.

Diskussion

9. Schlussdiskussion

9.1 Empirische Ebene

Die vorliegende Studie soll dazu beitragen, eine empirisch begründete Brücke zwischen dem von der Biologie-Didaktik aufgegriffenen Konzept des Negativen Wissens (Oser & Spychiger, 2005) und psychologischen Theorien zum Thema Feedback als Instruktionmethode im Rahmen des selbstregulierten Lernens bei Schülern zu bilden. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Lernprogramm soll somit dazu anregen, den selbstregulierten Lernprozess von Schülern durch individuell angepasstes Feedback zu fördern und den korrekten Einsatz der Variablenkontrollstrategie beim Experimentieren zu unterstützen. Hierzu wurde ein Lernprogramm auf Basis von bereits erprobten curricular validen Biologie-Aufgaben entwickelt und im Rahmen einer Studie mit vier verschiedenen Feedbackvarianten getestet. Ziel war es, zu untersuchen, welche Art von Feedback besonders effektiv in Bezug auf die korrekte Lösung der kompetenzorientierten Biologie-Aufgaben bzw. auf der strategischen Ebene zum Aufbau von negativem Wissen ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass sich im Prätest-Posttest-Vergleich ein Wissenszuwachs zu den Inhalten der Trainingseinheiten zeigt. Ein Zuwachs der strategischen Lernkompetenzen lässt sich allerdings nicht nachweisen.

Auch die Frage, welche Art von Feedback besonders geeignet ist, um die Experimentierkompetenz der Lernenden zu steigern, bleibt nicht beantwortbar. Lediglich die differentiellen Analysen zu den Trainingswirkungen geben einen Hinweis darauf, dass die Persönlichkeit der Schüler einen Einfluss auf das Lernergebnis haben kann. Dies zeigt sich darin, dass Lernende der vorliegenden Studie mit ausgeprägter Gewissenhaftigkeit höhere Lernzuwächse durch das Training erzielen als diejenigen mit gering ausgeprägter Gewissenhaftigkeit. Es wäre sicherlich lohnenswert, diesen Aspekt der Studie in einer Folgestudie noch einmal explizit zu testen.

Die empirischen Ergebnisse der vorliegenden Studie sind daher eher ernüchternd. Zunächst muss festgestellt werden, dass der Umfang der interdisziplinären Fragestellung

für den vorgesehenen empirischen Rahmen nicht angemessen war. Um zu tragfähigen Ergebnisse zu gelangen, hätte es zunächst mehr theoretischer Vorüberlegungen bedurft um die Hypothesen der Studie enger zu fassen und die Studie entsprechend zielgerichteter zu gestalten. Hinzu kommen Herausforderungen in der Anwendung des Programms durch die Lernenden und in der Durchführung der Studie, die in der vorliegenden Arbeit nicht von den theoretischen Ergebnissen der Studie getrennt werden können.

Bei dem computerbasierten Lernprogramm handelt es sich um einen Prototypen, der im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts zwischen der Psychologie und der Biologie-Didaktik entstanden ist. In diesem Forschungsprojekt sind Aspekte von Fragestellungen aus beiden Fachbereichen integriert und kombiniert worden. Die theoretische Verknüpfung der beiden Fächer im Rahmen dieser Arbeit war ein Experiment, dessen Durchführung in der Praxis jedoch zu einigen Herausforderungen geführt hat, die wertvolle Schlussfolgerungen für eine Folgestudie ergeben haben (siehe unten). Zudem war die Studie als vom Biologie-Unterricht unabhängiges Lernprogramm geplant worden, welches zwar curricular valide Inhalte vermitteln, jedoch von einer Einbettung in den Unterricht unabhängig sein sollte. Dieser Anspruch hat dazu geführt, dass die Studie nicht als Teil des Unterrichts wahrgenommen wurde. Die Motivation, sich den Aufgaben im Lernprogramm aufmerksam zu widmen, wie sie im Rahmen von Unterricht aufgebaut werden kann, konnte daher nicht realisiert werden. Es kann demnach angenommen werden, dass die Inhalte von den Schülern nicht als in der Art wichtig beurteilt wurden, wie es nötig gewesen wäre um einen optimalen Lernerfolg sicherzustellen. Ein zentraler Punkt ist zudem, dass die Aufgabenschwierigkeit von den Schülern sehr unterschiedlich wahrgenommen wurde. Die Zeit, die auf den Aufgaben- und Interventionsseiten verbracht wurde gibt zusammen mit den erzielten Lernzuwächsen einen guten Einblick in die Heterogenität der Lernenden:

In den offenen Antworten der Schülerinnen und Schüler, in welche die am Prompting orientierten Fragen zur kognitiven Aktivierung beantwortet werden sollten, zeigte sich, dass viele Lernende mit der Fragestellung überfordert waren, da dort oft keine sinnvollen Antworten eingetragen wurden. Während einige Schüler sowohl die Biologie-Aufgaben als auch die strategischen Paarvergleiche mühelos, richtig und schnell bearbeiteten, gab es auch Schüler, die mit dem Aufgabenmaterial scheinbar überfordert waren. Zusätzlich sieht man im Verlauf, dass die Bearbeitungszeit dieser Gruppe von Pro-

banden immer unterschiedlicher wird: So gab es einige Datensätze von Probanden mit geringen oder negativen Steigungen im Wissen, die auf einigen Interventionsseiten nur wenige Millisekunden und auf anderen Seiten für mehrere Minuten verweilen) Diese Heterogenität kann neben Motivationsdefiziten und Aufmerksamkeitseinschränkungen auch auf die großen Unterschiede im Vorwissen der Schüler zurück geführt werden, die von dem Lernprogramm nicht aufgefangen werden konnten. Diese unterschiedlichen Ausgangspositionen könnten zudem zu weiteren Motivationseinbußen bei den überforderten Schülern geführt haben.

Diesen Überlegungen zufolge sprechen die Ergebnisse für die theoretische Annahme, dass motivationale Faktoren und mangelnde metakognitive Fähigkeiten Ursachen für das Vorliegen eines Produktionsdefizits sind (vgl. Bannert, 2007; Hasselhorn, 1992,1995; Pressley et al., 1987, 1989; Veenman, 1993).

Es gibt einige Punkte an denen man ansetzen könnte, um die oben genannten Ursachen des Produktionsdefizits in zukünftigen Studien zu verringern und Ergebnisse zu erzielen, die hinsichtlich des Vergleichs verschiedener Feedbackarten aussagekräftiger sind. Sowohl bei der interdisziplinären Planung des Projekts (z.B. Auswahl des Aufgabenformats und Umsetzung der Fragestellung im Rahmen des Lernprogramms) als auch bei der Durchführung der Datenerhebung in den Schulen (z.B. Zusammenarbeit mit den Lehrenden, Einbettung in den Unterricht etc.) gab es Herausforderungen zu meistern, die im Rahmen einer Folgestudie verbessert werden könnten.

Bei einer Folgestudie sollte daher darauf geachtet werden, dass zunächst die Komplexität der zu prüfenden interdisziplinären Fragestellungen auf ein in empirische Hypothesen besser fassbares Konstrukt gebracht werden kann. So wurde beispielsweise vorausgesetzt, dass die verwendeten Biologieaufgaben im Multiple-Choice Format die Experimentierkompetenz im Biologieunterricht fördern. Durch die Unterschiede in der methodischen Vorgehensweise zwischen Biologie-Didaktik und Psychologie mussten im Rahmen der empirischen Studie an vielen Stellen Kompromisse gemacht und Unschärfen in Kauf genommen werden, wodurch keine eindeutig testbare theoretische Basis für eine empirische Untersuchung geschaffen werden konnte.

9.1.1 Adäquate Bearbeitung des Programms sicherstellen

Die in den Logfiles gespeicherten Daten darüber, wie viel Zeit auf den einzelnen Seiten des Lernprogramms verbracht werden, deuten darauf hin, dass die Schüler das Programm zum Teil nicht sorgfältig bearbeitet haben und die Feedback-Texte nicht komplett oder gar nicht gelesen haben. Dies ist für die Untersuchung der Wirksamkeit von Feedbackvarianten entsprechend von erheblichem Nachteil. Positiv ist jedoch, dass im Lernprogramm logfile basiert die Zeit erfasst wurde, welche die Schüler auf jeder einzelnen Seite verbracht haben. In der Literatur zu Online-Befragungen ist dieses Phänomen unter dem Begriff des sog. „Lurkers“ bekannt (vgl. Tuten et al., 2002; Bosnjak & Tuten, 2001). Die Bezeichnung Lurker (engl. *to lurk*, lauern, schleichen) ist eine Bezeichnung, die aus dem Bereich der Newsgroups und Online-Foren entlehnt wurde und dort für passive, also nur lesende Teilnehmer verwendet wird. Übertragen auf die Situation einer internetbasierten Datenerhebung, sind Lurker Teilnehmer einer Online-Befragung, die sich für die Befragung interessieren, sich aber vor allem aus Neugierde durch die Seiten hindurch klicken.

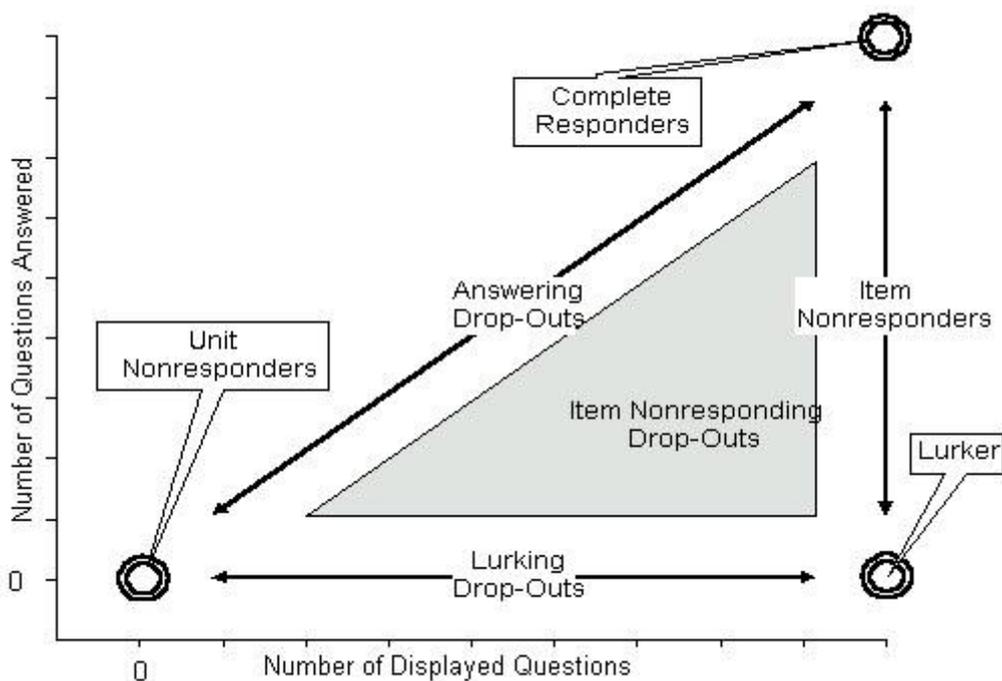


Abbildung 50: Beantwortung-Typen bei Online-Befragungen (Bosnjak & Tuten, 2001)

Die Schüler unserer Studie waren zum Teil nicht unbedingt an den Inhalten des Lernprogramms interessiert, wohl aber neugierig, wie das Programm aufgebaut ist (Bilder etc.). Das Format unserer Studie ließ es zu, dass Schüler das online abrufbare Lernprogramm zwar bearbeiteten, parallel dazu aber noch weitere Browser-Fenster geöffnet haben konnten. Bei der Planung der Studie hatten wir zunächst lediglich an die Vorteile gedacht, die es mit sich bringt, das Lernprogramm online verfügbar zu machen: So hatte es für uns zunächst den Vorteil, dass wir die in den Schulen vorhandenen Rechner verwenden konnten und dort nichts lokal speichern mussten. Dies erschien uns bei der Planung der Studie sinnvoll, weil wir so weniger Notebooks mit in die Schulen bringen mussten. Jedoch hatten wir nicht mit der Experimentier- und Entdeckerfreude der Schüler außerhalb des Lernprogramms gerechnet. Einige nutzten die Zeit am Rechner dazu, neben dem Lernprogramm auch noch im Internet zu surfen. Weder die Lehrenden noch die verschiedenen Versuchsleiter konnten bei jedem Schüler zu jeder Zeit sicherstellen, dass nur ein Fenster des Browsers geöffnet war. Der versehentliche Wechsel der Versuchsgruppen durch das Schließen des Lernprogramms bzw. des Browser-Fensters in dem das Lernprogramm angezeigt wurde, kam mitunter dadurch zustande, dass Schüler beim Rundgang der Versuchsleiter das falsche Fenster des Browsers geschlossen haben.

Die Rahmenbedingungen am Computer haben also mitunter dazu geführt, dass das Lernprogramm nicht wie ein Unterrichtsgegenstand behandelt wurde, sondern das Verhalten der Schüler eher dem in einer Online-Befragung glich. Das Ausmaß, in dem die Schüler parallel zur Bearbeitung des Lernprogramms im Internet surfen, war sehr verschieden: Während es Klassen und auch ganze Schulen gab, in denen die Schüler gar nicht auf die Idee kamen, während des Unterrichts im Internet zu surfen, gab es auch Klassen und Einzelpersonen, die eine andere Lernkultur mitbrachten. In diesen Fällen musste das Lernprogramm mit den multimedialen Angeboten des Internets konkurrieren. Aus Sicht einiger digital Natives (Prensky, 2001), also Personen, die mit Computer und Internet aufgewachsen sind, war das Programm zu eindimensional und konnte zu wenig Aufmerksamkeit der Schüler für das Thema Experimentieren gewinnen. Insofern erlebten wir im Rahmen der Studie eine gewisse ökologische Validität: Das Lernprogramm hatte nicht die Relevanz einer Klassenarbeit und musste somit um die Aufmerksamkeit der Schüler kämpfen, wofür das Programm nicht ausgelegt war. Um die Wirksamkeit einer computerbasierten Lerneinheit untersuchen zu können und daraus Schlüsse in Bezug auf die Wirksamkeit von einzelnen Feedbackvarianten ziehen zu können, ist

es jedoch unbedingt notwendig, sicherzustellen, dass die Intervention auch aktiv kognitiv "umgesetzt" wird – und nicht lediglich die Seiten durchgeklickt werden.

In zukünftigen Studien sollte deshalb darauf geachtet werden, dass die adäquate Bearbeitung des Programms sichergestellt oder zumindest systematisch kontrolliert wird. Zum einen sollten Ablenkungsmöglichkeiten dadurch reduziert werden, dass das parallele Surfen im Web unmöglich gemacht wird, zum anderen sollte das Programm den Bedürfnissen der digital Natives (Prensky, 2001) angepasst werden (zum Beispiel durch das Einbauen von Animationen und multimedialen Elementen). Da jedoch selbst mit solchen Maßnahmen nicht komplett sichergestellt werden kann, dass die Aufmerksamkeit der Schüler kontinuierlich auf dem Lernprogramm ruht, empfiehlt es sich darüber hinaus, zusätzliche Daten zu erheben, anhand derer ersichtlich wird, wann die Aufmerksamkeit vom Lernprogramm abweicht.

Im vorliegenden Datensatz haben wir bei der Auswertung keinen Faktor finden können, der über alle Versuchsgruppen hinweg ein aussagekräftiger Prädiktor dafür war, ob das Commitment der Lernenden beim Bearbeiten des Programms kontinuierlich, teilweise oder gar nicht gewährleistet war. Die in den Logfiles dokumentierten Zeiten konnten leider keine Auskunft darüber geben, wie intensiv die Lernenden die Feedback-Texte gelesen und sich mit der Thematik beschäftigt haben, da die Zeit, die das Programm gemessen hat, auch damit verbracht worden sein konnte, aus dem Fenster zu gucken oder den Inhalt eines parallel geöffneten Browser-Fensters zu lesen. Die Zeit, die die Schüler mit der Bearbeitung des Programms verbrachten, korrelierte nicht mit den erzielten Lernzuwächsen: Es gab schnelle Schüler, die enorme Lernzuwächse zu verzeichnen hatten und langsame Schüler, die viel Zeit auf den Feedbackseiten verbrachten, die ebenfalls sehr gut abschnitten. Jedoch gab es gleichermaßen Schüler, die viel Zeit auf den Seiten des Programms verbrachten und fast keine Lernzuwächse zu verzeichnen hatten. Besonders schnelle Schüler, ohne erkennbare Lernzuwächse, die die Seiten schneller durchgeklickt haben (zwei Standardabweichungen weniger als die anderen Schüler), als man in einem normalen Tempo zum Lesen benötigen würde, haben wir von der Analyse ausgeschlossen. Dennoch gab es einige Fälle, die manche Seiten sehr schnell und andere Seiten normal schnell oder sogar langsam bearbeitet hatten. Diese Fälle haben wir in den Daten belassen, weil wir kein externes Kriterium finden konnte, nach dem wir die Fälle hätten aussortieren können.

Um eine Aussage über die Aufmerksamkeitslenkung der Lernenden treffen zu können, wäre für Folgestudien der Einsatz eines mobilen Eyetracking-Gerätes denkbar. Damit könnte man zwar nicht gleichzeitig eine ganze Klasse das Programm bearbeiten lassen und die Daten dazu erheben, jedoch hätte man mehr Möglichkeiten, etwas darüber zu erfahren, ob und wie das Feedback gelesen wurde.

METHODE	Messung behavioral/physikalisch/ physiologisch	Auflösung räumlich/zeitlich
Blickbewegungen	Fixationsanzahl und -dauer, Sakkadenanzahl, -richtung und -größe	mm/msek
EEG/EKP	Spannung/Neuronenaktivität	cm/msek
MEG	Magnetfeld/Neuronenaktivität	cm/msek
PET	Radioaktive Strahlung/Blutfluss, Metabolismen, Neurotransmitter	mm-cm/min
fMRT	Magnetfeldänderungen/Kapillare Sauerstoffsättigung [d(Hb)], Blutfluss	mm/sek
NIRS	Lichtdichteänderungen/kapillare Sauerstoffsättigung [d(HbO ₂) und d(Hb)],	mm/sek

Abbildung 51: Auswahl wichtiger neurokognitiver Methoden (Jacobs et al., 2006, S. 73)

Durch den Einsatz von sog. neurokognitiven Methoden bei der Erforschung von Lernprogrammen in Schulen könnten nicht nur die Qualität der erhobenen Daten gesteigert werden, sondern auch die praktische Anwendbarkeit der daraus gezogenen Schlussfolgerungen. Jacobs (2006) plädiert daher für eine Kombination aus Blickbewegungsmessung (Elektrookulogramm/EOG und modernere Verfahren, vgl. www.guckomobil.de; Engl, Hutzler & Jacobs, 2005), Elektroenzephalogramm (EEG) bzw. Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP) und funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT). Diese Methoden ergänzen sich bezüglich ihres Informationsgehalts wegen der hohen zeitlichen Auflösung von EKP/EEG, der hohen räumlichen Auflösung von fMRT, sowie der hohen Einsatzflexibilität von Blickbewegungsmessungen, so dass ihr kombinierter Einsatz aktuell als vielversprechendster Ansatz gilt.

9.1.2 Bessere Erhebung des Vorwissens

Die Skalen, die wir zur Einschätzung des Vorwissens der Schüler verwendet haben, korrelieren nur schwach mit den Lernzuwächsen – sowohl auf der Aufgaben- als auch auf

der strategischen Ebene. Ein Grund hierfür könnte sein, dass diese Fragen auf einer 5-stufigen Likert-Skala beantwortet wurden, was aus methodischer Perspektive keine Aussage über das tatsächliche Vorwissen der Schüler erlaubt, sondern lediglich etwas über die Selbsteinschätzung der Schüler aussagen kann. Es ist möglich, dass viele der Schüler die eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten in Bezug auf die eigene Experimentierkompetenz noch nicht angemessen einschätzen konnten und es dadurch sowohl zu Über- als auch zu Unterschätzungen der eigenen Leistungen gekommen ist. In einer Folgestudie wäre es daher ratsam, das Vorwissen der Lernenden valide und reliabel im Sinne eines Kompetenztests zu erfassen.

Fragen zum Biologie-Unterricht (Instruktionsqualität) wurden ebenfalls auf Basis eines Selbsteinschätzungs-Fragebogens erhoben. Auch hier hätte man sich im Vorfeld intensiver Gedanken über die Gütekriterien des Fragebogens machen müssen um die Stärken der beteiligten Fächer im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit optimal nutzen zu können.

Hinzu kommt, dass die Schulen, die wir im Rahmen der Studie untersucht haben, das Thema Experimentieren auf ganz unterschiedliche Art und Weise im Unterricht behandelt hatten. Dadurch gab es nicht nur innerhalb der Klassen große Unterschiede im Vorwissen der Schüler, sondern zudem eine große Heterogenität zwischen den Schulen. Diese Unterschiede konnte das Lernprogramm nur unzureichend erfassen und sich entsprechend auch nicht daran anpassen.

9.1.3 Bessere Adaptivität des Programms

Da wir die Fehler-Rückmeldungen als Instruktionmethode genutzt haben, war die Schwierigkeit der Aufgaben so gewählt worden, dass die Lernenden beim Bearbeiten der Aufgaben Fehler machen sollten. So haben wir uns bewusst für Experimentaufgaben mit zweifaktoriellem Design entschieden, da Experimente mit einfaktoriellem Design in einigen Klassen bereits im Unterricht behandelt worden waren. Allerdings stellten die Aufgaben dadurch für Schüler ohne Vorwissen über einfaktorielle Designs eine Überforderung dar.

Dies hatte zur Folge, dass Lernende zum Teil Aufgaben bearbeiten sollten, die nicht ihrem Vorwissen entsprachen. Das Programm bot jedoch keine ausreichende Möglichkeit, diesen Mangel an Vorwissen zu beheben.

Da der Kompetenzbegriff auch eine strategische Dimension umfasst, sind wir davon ausgegangen, dass dies auch für die Experimentierkompetenz im Biologieunterricht zutreffen würde. Diese Voraussetzung wurde jedoch im Vorfeld nicht empirisch getestet. Insbesondere gilt dies für die strategischen Paarvergleiche, die wir als Erhebungsinstrument für die Operationalisierung der strategischen Ebene des Lernzuwachses ausgewählt hatten.

Neben der Herausforderung Biologieaufgaben mit zweifaktoriellen Designs zu bearbeiten, stellte die strategische Dimension des Lernprogramms, welche nicht trainiert jedoch am Ende getestet wurde, für die Lernenden daher eine besondere Schwierigkeit dar. Insbesondere Lernenden mit geringem Vorwissen konnten mit dem dargebotenen Aufgabenmaterial wenig anfangen. Auch hier bot das Lernprogramm keine Option an, diesen Mangel an Vorwissen beispielsweise im Verlauf der Trainingseinheit zu beheben.

Marschner (2011) hatte in ihrer Studie den strategischen Fragebogen (EEST-2) zudem an Schülern der 8. Klasse getestet. Schüler dieser Altersgruppe verfügen bereits über ausgeprägtere metakognitive Fähigkeiten und konnten den Fragebogen allein dadurch bereits besser beantworten. Hinzu kommt, dass die den Paarvergleichen zugrunde liegenden Strategien in unserem Lernprogramm nicht trainiert wurden. Hinweise zum strategischen Vorgehen konnten die Lernenden lediglich indirekt aus den Feedback-Varianten ableiten, was wiederum eine kognitive Herausforderung für die Schüler darstellte.

Die Passung zwischen den Lernenden und den Inhalten des Programms hätte man durch eine präzise und detaillierte Erhebung des Vorwissens (auf Aufgaben- und strategischer Ebene) und eine entsprechende Adaptivität des Programms verbessern können. Ideal wäre es, wenn das Programm sich dem Vorwissensstand der Lernenden von Anfang an anpassen und den Schwierigkeitsgrad nach und nach steigern würde, sobald einfache Aufgaben zu einfaktoriellen Designs fehlerfrei gelöst worden sind. Dadurch wäre ein weiter gefasster und fließender Übergang von Kompetenzaneignung zur Untersuchung von Faktoren, welche als Wirkfaktoren eben dieser Aneignung angenommen werden,

mittels ein und derselben Art von Lern- und Messinstrument denkbar. Dies würde die (ökologisch valide) Untersuchungssituation in den Schulen jedoch vor große Herausforderungen stellen. Denkbar wäre auch, dass man die Auswahl und Darbietung der Biologieaufgaben adaptiv gestaltet: Nicht nur bezogen auf die vier MC-Auswahloptionen, sondern auch bezogen auf den gemachten Fehlertyp, sollte das Programm die Möglichkeit bieten, auf den Kenntnisstand der Schüler einzugehen. Falls der gleiche Fehlertyp beispielsweise mehrmals gemacht wird, müsste das Programm Instruktionen anbieten, die leicht verständlich die Hintergründe darstellen. Der vermutete und untersuchte Wirkfaktor Feedback könnte hiermit präziser im Versuchsarrangement untersucht werden.

9.1.4 Cognitive Load reduzieren und Neugierde wecken

Der Feedback-Text in der Versuchsgruppe mit kognitiver Aktivierung und ganz besonders in der kombinierten Gruppe war sehr umfangreich. In einer Folgestudie sollte darauf geachtet werden, dass die Feedback-Portionen nicht zu umfangreich ausfallen. Wollte man die dreigeteilte Struktur mit Diagnose des Fehlers, Korrektur des Fehlers und Begründung des Fehlers beibehalten, sollten diese Abschnitte jeweils auf getrennten Seiten präsentiert werden. Neben einer Reduktion der kognitiven Belastung sollte das Programm die Lerninhalte abwechslungsreicher präsentieren um dadurch kontinuierlich die Aufmerksamkeit der Lernenden zu binden. Die immer ähnliche Struktur der Biologie-Aufgaben und die jeweils gleiche Struktur der Feedback-Seiten haben zwar dazu geführt, dass die Variablenkontrollstrategie in ganz unterschiedlichen Kontexten präsentiert und systematisch eingeübt wurde, jedoch immer in ähnlicher Form und in immer ähnlichen Präsentationen des Lerngegenstands „Variablenkontrollstrategie“. Methodisch bringt diese Vorgehensweise zwar gewisse Vorteile, jedoch ist es in der praktischen Umsetzung – gerade bei einem computerbasierten Design, welches die Schüler weniger an eine Klassenarbeit als an das Surfen im Internet erinnert – schwierig, die Aufmerksamkeit der Schüler konstant bei den Aufgaben zu behalten.

Wenn das Lernprogramm es jedoch gewährleisten könnte, die Neugierde der Schüler zu wecken und diese intrinsisch motiviert das Programm bearbeiten würden, wäre die Wahrscheinlichkeit geringer, dass die Lernenden sich von anderen Dingen ablenken lassen.

9.1.5 Bessere Einbettung in den Biologie-Unterricht

Durch den von uns vorgegebenen Erhebungszeitraum waren die Lehrer in den meisten Fällen nicht in der Lage, das Thema Experimentieren gleichzeitig zur Durchführung der Studie im Unterricht zu bearbeiten. Zudem hatten wir beim Anwerben der Schulen damit geworben, dass das Programm von einer Einbettung in den Biologie-Unterricht unabhängig sei und zudem ein Thema behandle, welches ohnehin im Lehrplan vorgesehen ist, wodurch aufgrund der Studie keine wertvolle Unterrichtszeit „verloren“ ginge. So konnten wir für unsere Studie auch Fachlehrer gewinnen, die die Zusammenarbeit mit Universitäten ansonsten auf Grund des normalerweise damit verbundenen zeitlichen Aufwands vermeiden.

Dadurch hatten wir es nicht nur mit ausgesprochen engagierten Lehrenden zu tun, sondern auch mit Lehrkräften, die die Zeit der Datenerhebung für Tätigkeiten außerhalb des Raumes, in dem die Erhebung stattfand nutzen oder sogar beim zweiten Messzeitpunkt überhaupt nicht erschienen. Dieses Verhalten der Lehrkräfte wirkte sich in den betroffenen Klassen nicht nur dahingehend aus, dass das Lernprogramm nicht in die Inhalte des normalen Unterrichts integriert wurden, sondern hatte natürlich auch Auswirkungen auf die Motivation der Schüler und somit einen direkten Einfluss auf die Datenqualität.

Aus mehreren Gesprächen mit Lehrenden der getesteten Schulen wurde deutlich, dass die Schüler nach der Intervention sicherer im Umgang mit Fachtermini (wie beispielsweise Hypothese, Versuchsbedingung, Experiment etc.) geworden sind. Dieser Effekt hat die Lehrer insofern überrascht, als dass viele von ihnen im Unterricht die Begrifflichkeiten „Problemstellung“, „Vermutungen“, „Überprüfung“ und „Ergebnis“ verwenden. Im Nachhinein wäre es daher sicherlich vorteilhafter gewesen, diese Begriffe auch im Rahmen des Lernprogramms zu verwenden, obwohl es natürlich erfreulich ist, dass Schüler die Verwendung von Fachtermini erlernen und sich mit diesen anfreunden. Durch die Verwendung gleicher Termini hätte man den Cognitive Load der Schüler reduzieren und Verunsicherungen bezüglich der Unterschiede zwischen den bekannten Begriffen und den Begriffen im Lernprogramm entgegen wirken können. In einer Folgestudie sollte daher die Entwicklung des Lernprogramms in enger Abstimmung mit verschiedenen regulär an Schulen unterrichtenden Lehrkräften stattfinden und eine Einbettung in den Biologie-Unterricht zum Ziel haben. Die Etablierung von Lernprogram-

men im Biologie-Unterricht wäre zudem auch aus didaktischer Sicht ein interessantes Thema.

9.1.6 Dauer der Intervention: Bearbeitungszeit

Eine große Bedeutung bei der Wirksamkeit von Unterstützungsmaßnahmen liegt zudem darin sicherzustellen, dass sie auch genutzt werden. So zeigte die Analyse der Lesezeiten, dass eine nicht unerhebliche Anzahl der Lernenden das Feedback und die Begriffserläuterungen gar nicht gelesen haben konnten und die Unterstützung somit nicht gewirkt haben konnte. Jedoch war im Einzelfall nicht mit Sicherheit feststellbar, wer von den Schülern das Feedback ernsthaft gelesen und kognitiv verarbeitet hatte und wer nicht.

Auffällig ist jedoch, dass nur sehr wenige Schüler die gesamte von uns für das Bearbeiten des Lernprogramms veranschlagte und geplante Zeit auch nutzten. Bei einer Folgestudie könnte man versuchen, das Programm in einer Schulstunde bearbeiten zu lassen. Den KFT müsste man dann getrennt vom Programm erheben, um zeitlich noch genug Spielraum zu haben, um evtl. auftretende organisatorische Schwierigkeiten (Raumsuche, Computerschwierigkeiten, Serverprobleme etc.) klären zu können. Diese Reduktion der Bearbeitungszeit, selbst auf die Gefahr hin, dass einige Schüler nicht fertig werden, dürfte vor allem zu einer Reduktion der Fehlervarianz führen: Es entstünde am Ende der Erhebung keine Unruhe, die die Lernatmosphäre beeinträchtigt und bei MZP2 evtl. zur weniger gewissenhaften Bearbeitung der Aufgaben führt.

Entscheidend für weitere Studien sowie für den Einsatz von Unterstützungsmaßnahmen in der Praxis ist es, den Lernern deutlich zu machen, warum es sinnvoll und hilfreich ist, die Unterstützung zu nutzen und die dort genannten Hilfen zu nutzen (z.B. die Erläuterungen der Worte). Dann könnte man vermutlich eine stärkere Wirksamkeit von Unterstützungsmaßnahmen feststellen. Zudem könnte den Lernenden zusätzlich im Rahmen einer Instruktionseinheit vor dem Einsatz des Lernprogramms der Nutzen der Variablenkontrollstrategie stärker vermittelt werden. Zudem sollte ihnen die Unterstützung im Rahmen des Lernprogramms als gute Möglichkeit nahe gebracht werden, die eigene Experimentierkompetenz zu verbessern. Die Schüler sollten somit in Kenntnis darüber sein, was sie mit dem Lernprogramm erreichen können und sollen. Dies ist auch im

Hinblick auf die Wichtigkeit von Metakognitionen im Rahmen von selbstregulierten Lernprozessen bedeutsam.

9.1.7 Follow-up-Messung

Ob eine Intervention sich als nachhaltig förderlich und nützlich erweisen kann, ist nur über Follow-up-Messungen und Transfer-Testungen prüfbar. Leider werden Follow-up-Studien immer noch zu selten umgesetzt (vgl. Hager & Hasselhorn, 2000). Auch das Design der experimentellen Studie in dieser Arbeit umfasste keine Follow-up-Messung für das strategische Wissen bzw. die richtige Lösung der Biologie-Aufgaben. In der Post-Messung zeigten sich, wie bereits beschrieben, lediglich Lerneffekte in Bezug auf die Aufgabenlösungen (prozessbezogene methodische Kompetenzen). Die Gründe hierfür liegen darin, dass die Intervention die Einübung der Biologie-Aufgaben im Fokus hatte und die Schüler daher im Verlauf des Trainings 20 Aufgaben lösen mussten. Die strategische Ebene wurde nur in zwei der vier Versuchsbedingungen über die Feedbackseiten angesprochen. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass – obwohl sich die Gruppen in Bezug auf den Lernzuwachs auf der Aufgabenebene und dem strategischen Lernzuwachs im Post-Test direkt nach der Intervention nicht unterschieden – sich Unterschiede im längerfristigen Behalten in den beiden Bereichen gezeigt hätten (vgl. Leopold, den Elzen-Rump & Leutner, 2006). In weiteren Studien sollte man diese Möglichkeit überprüfen, indem man zum Follow-up-Zeitpunkt sowohl das strategiebezogene Wissen als auch die Bewältigung der Biologie-Aufgaben (prozessbezogene methodische Kompetenzen) erneut testet.

In einer Follow-Up-Studie hätte sich gegebenenfalls auch zeigen lassen, inwiefern die Versuchsbedingung mit der kognitiven Aktivierung die Lernenden dazu befähigt hat, Tiefenverarbeitungsstrategien zu nutzen und das neu gelernte Wissen mit den bereits existierenden kognitiven Strukturen zu verknüpfen. Empirisch lässt sich anhand experimenteller Studien die große Bedeutung von Tiefenverarbeitungsstrategien (insbesondere der Elaboration) für den Wissenserwerb nachweisen (z.B. Entwistle & Marton, 1994). Bei Feldstudien finden sich in der Regel jedoch lediglich sehr schwache Zusammenhänge zwischen dem Einsatz von Tiefenverarbeitungsstrategien und Leistungsergebnissen (vgl. Artelt, 2000). Eine hierfür zentrale Ursache ist darin zu sehen, dass für ein gutes Abschneiden bei schulischen oder universitären Prüfungen häufig keine tiefe Verarbeitung von Wissen notwendig ist. Anders ausgedrückt: Tiefenverarbeitung wird

durch die Art und Weise der Leistungserfassung, nicht nur im Rahmen von zeitlich begrenzten Forschungsprojekten, sondern auch im Lehrbetrieb an Schulen und Universitäten in der Regel nicht belohnt (vgl. Streblov & Schiefele, 2006).

9.1.8 Weitere Kontrollbedingungen und zusätzliche Feedbackarten?

In dieser Arbeit wurden vier Feedback-Varianten in einem 2x2 gekreuzten Design untersucht:

- Feedback mit der konkreten Beschreibung des Fehlers (Lokalisation des Fehlers),
- Feedback mit der Begründung des Fehlers auf einer Meta-Ebene in Kombination mit einer am Prompting orientierten Frage zur kognitiven Aktivierung,
- einer Kombination aus diesen beiden Versuchsbedingungen und
- einer Kontrollgruppe mit richtig/falsch Feedback.

Jede der Versuchsbedingungen beinhaltete nach dem Feedback die Präsentation der richtigen Lösung. Daher kann keine Aussage darüber getroffen werden, welchen Einfluss das Lösungsbeispiel auf den Lernprozess genommen hat. Dies ist im Nachhinein gesehen bedauerlich. Bei einer Anschluss-Studie sollte daher unbedingt zusätzlich eine Kontrollgruppe ohne Feedback und ohne richtige Lösung untersucht werden. Auch wäre es denkbar, die Feedbackgruppen lediglich die Rückmeldung lesen zu lassen und ihnen nicht noch zusätzlich die richtige Antwort zu präsentieren. Gerade durch das Hinzufügen von weiteren Kontrollbedingungen könnten die Effekte des Feedbacks von den Effekten des präsentierten Lösungsbeispiels getrennt werden, was auf Grund des gewählten 2x2 Designs in unserer Studie nicht möglich war.

9.2 Theoretische Ebene

In dieser Arbeit wurden Ergebnisse aus den beiden psychologischen Forschungsbereichen zu Feedback und SRL mit der Theorie des Negativen Wissens verknüpft und auf die Thematik Experimentieren in Rahmen eines computerbasierten Lernprogramms angewendet. Dabei hat sich gezeigt, dass von dieser Verknüpfung beide Forschungsrichtungen profitieren konnten, jedoch noch einiges an Forschungsarbeit zu leisten ist, um weitere Faktoren zu identifizieren, die zum Aufbau von Negativem Wissen *über* effekti-

ves Feedback notwendig sind und diese Erkenntnisse zudem für den Unterricht insbesondere für die Gestaltung in einer E-Learning-Umgebung nutzbar zu machen.

Im Theorieteil wurde erarbeitet, wie Erkenntnisse aus der biologiedidaktischen Forschung in Kombination mit Ergebnissen der Feedback-Forschung genutzt werden können, um den Prozess des SRL zu unterstützen. Entscheidend hierfür war sowohl die theoretische Analyse der Anforderungen und Herausforderungen des SRLs beim Experimentieren als auch der Einsatz von effektivem Feedback im Rahmen eines Lernprogramms.

Es wurde aufgezeigt, dass externes Feedback als Unterstützung von computergestützten Lernprozessen theoretisch gut mit Modellen des SRL vereinbar ist. Dieser theoretisch gut begründbare Zusammenhang ist aber bisher wenig in empirischen Studien untersucht worden (vgl. Marschner, 2010, S. 169). Diese Arbeit greift diese Thematik auf und stellt sie in einen biologiedidaktischen Kontext. Aus den Befunden der Feedback-Forschung wurde ermittelt, welche Form von Feedback für diese Art des Lernens am effektivsten sein sollte. Gerade bei komplexen Aufgaben, wie beispielsweise SRL durch Experimentieren, bei denen wenig Vorwissen vorliegt und es nicht um reine Wiedergabeleistung geht, sind stärker elaborierte Feedback-Formen angebracht (Bangert-Drowns et al., 1991; Moreno, 2004; Moreno & Mayer, 2004; Narciss, 2006). Die vorliegende Studie hat jedoch gezeigt, dass die Komplexität des Feedbacks und die Länge des dargebotenen Textes die kognitive Aufnahmefähigkeit der Lernenden nicht überstrapazieren sollte, da sonst die Motivation und Leistungsbereitschaft der Schüler sinkt.

Lernende sind nur dann bereit, Feedback zu akzeptieren, wenn der Nutzen einer Rückmeldung höher ist, als ihre Kosten. „Students' willingness to invest effort in seeking and dealing with feedback information relates to the transaction costs invoked at the self-regulatory level. These transaction costs include effort costs (the effort necessary for feedback search), face costs (the evaluative effects of others on the individual for seeking feedback), and inference costs (Hattie & Timperley, 2007)”. Wenn der Aufwand, der mit der kognitiven Verarbeitung des Feedbacks verbunden ist, den Nutzen aus der Sicht des Lernalters jedoch übersteigt, wird die Rückmeldung nicht berücksichtigt. Bei unserer Studie war der Aufwand, der mit der Bearbeitung des Feedbacks verbunden war, für die Schüler ungewohnt hoch und stand in keiner Relation zu einem zu erwartenden Gewinn. Dies mag daran liegen, dass die erfolgreiche Bearbeitung des Programms keinen Ein-

fluss auf die Biologie-Note hatte. Hinzu kommt, dass wir den Schülern auch nicht klar genug vermitteln konnten, wie sie selbst von dem Lernprogramm profitieren können, welchen praktischen Nutzen sie folglich von der sorgfältigen Bearbeitung des Programms haben würden. Dadurch war nur bei wenigen Schülern eine intrinsische Motivation bei der Bearbeitung der Aufgaben sichtbar.

Zudem legen die Daten nahe, dass die Berücksichtigung des Vorwissens innerhalb einer heterogenen Stichprobe essentiell für die Untersuchung des Lernzuwachses ist. In dieser Untersuchung wurden die Unterschiede innerhalb der Stichprobe unterschätzt. Daher sollte bei Untersuchung von verschiedenen Schulklassen, zudem von verschiedenen Schulen, auf eine Lerngruppe oder Stichprobe mit vergleichbarem Vorwissen geachtet werden oder das Programm sich an den Kenntnisstand des Nutzers über adaptive Elemente anpassen.

Zudem zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass Feedback allein – selbst wenn es einen starken Elaborationsgrad aufweist – kein Ersatz für klare, deutliche Instruktionen sein kann. Wie Hattie und Timperley (2007, S. 91) betonen, ist *Feedback about the Task* (FT) nur dann wirkungsvoll, wenn es um eine falsche Interpretation eines Sachverhalts bzw. einer Aufgabenstellung geht. Wenn ein Informationsdefizit hinsichtlich der *Task* besteht, wird weniger Feedback als vielmehr eine erneute Instruktion benötigt: „If students lack necessary knowledge, further instruction is more powerful than feedback information (a.a.O.)“. Gerade bei geringem Vorwissen sollte daher auf den Einsatz von Instruktionen nicht verzichtet werden. Hattie und Timperley (2007) betonen daher, dass es wichtig ist, dass Feedback auf etwas aufbaut, weil es ansonsten nicht wirksam sein könne: „Feedback can only build on something; it is of little use when there is no initial learning or surface information. Feedback is what happens second, is one of the most powerful influences on learning, too rarely occurs, and needs to be more fully researched by qualitatively and quantitatively investigating how feedback works in the classroom and learning process.“

9.2.1 Möglichkeiten zur Unterstützung von Lernprozessen

Die vorliegende empirische Studie liefert Hinweise dafür, dass nicht jede Unterstützung im Rahmen von computerbasierten Aufgaben erfolgreich selbstreguliertes Lernen fördert. Bei der Evaluation von Lernumgebungen und Aufgaben zum Thema Experimen-

tieren lassen sich häufig nur kleine oder gar keine Effekte zeigen. So gibt es zum Beispiel Studien, in denen zwar eine Verbesserung des Lernprozesses, aber keine bezüglich des inhaltlichen Wissenszuwachses gefunden wurde (van Joolingen & de Jong, 1991, 1993). Andere Studien fanden bezüglich des Wissenszuwachses zum Teil nur kleine Effekte oder nur unter bestimmten Bedingungen (Veermans, van Joolingen & de Jong, 2006; Veermans, de Jong & van Joolingen, 2000; Reid et al., 2003; Zhang et al., 2004).

Eine mögliche Erklärung für keine oder sehr geringe Effekte auf die Lernzuwächse könnte sein, dass es eine längere Zeit braucht bis sich das verbesserte Verständnis auch im Lernergebnis niederschlägt. Möglicherweise tragen die verbesserten Lernprozesse auch nicht zum Wissenserwerbsprozess bei (van Joolingen et al., 2007). Eine andere Erklärung für fehlende Erfolge könnte in den eingesetzten Messinstrumenten für den Lernerfolg liegen (de Jong, 2005), beispielsweise fehlende Transfer- und Anwendungstests (de Jong & van Joolingen, 1998).

Ein weiteres Problem von Unterstützungsmaßnahmen besteht darin, dass diese auch kontraproduktiv sein können (de Jong, 2005; Hulshof & de Jong, 2006). So kann in bestimmten Fällen das Vorhandensein von mehreren Unterstützungsmaßnahmen, die manchmal auch noch miteinander kombiniert sind, den Lerner überfordern und den *cognitive load* (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1988, 1999), also die kognitive Belastung, erhöhen.

Außerdem kann es zu dem unerwünschten Nebeneffekt von angebotener Unterstützung kommen, dass die Aufmerksamkeit vom eigentlichen Experimentier-Prozess weg und hin zu den Unterstützungsmaßnahmen gelenkt wird, und es verstärkt zum sogenannten *gaming* (also, dem nicht intendierten *Spielen* mit dem dargebotenen Lernmaterial) kommt (van Joolingen et al., 2007). Van Joolingen et al. (2007) vermuten, dass die Gefahr des *gamings* geringer wird, je stärker die Unterstützungsmaßnahmen an Prozesse des natürlichen Entdeckens im Lernprozess angelehnt sind. Es gilt also der Gefahr des "Spielens" die Möglichkeit eines spielerischen Entdeckens entgegenzustellen. Eine Unterstützung, die direkt auf die grundlegenden Experimentierstrategien abzielt und gleichzeitig dem Drang zum natürlichen Entdecken Rechnung trägt, scheint an dieser Stelle geeignet. In der vorliegenden Studie haben wir uns jedoch auf die Unterstützung des Erwerbs der Variablenkontrollstrategie beschränkt.

Van Joolingen et al. (2007) fordern dazu auf, dass die Unterstützung auch noch Raum für individuelle Lernfreiheit lassen muss. Die Umsetzung dieser Forderung ist in der Praxis jedoch schwer umzusetzen, da hierfür viele Faktoren eine Rolle spielen, die berücksichtigt werden müssen. Die von uns in einer Feedback-Variante verwendete zusätzlich offene Frage zur Unterstützung des Lernprozesses im Sinne von Prompts, hat (wie Kapitel 5.2.5 zeigt) den Lernprozess gefördert und zu größeren Lernzuwächsen geführt, sofern diese Möglichkeit der kognitiven Aktivierung genutzt wurde. Jedoch kann häufig auch in der Literatur beobachtet werden, dass einige Lernende die angebotenen Unterstützungsmaßnahmen gar nicht nutzen und diese dadurch auch gar keine Wirkung erzielen können (Winters, Greene & Costich, 2008).

Gerade wenn die Lernenden die Wahl haben, ob sie Hilfen im Lernprozess in Anspruch nehmen oder nicht, werden diese nicht genutzt und besonders in computerbasierten Lernumgebungen Instruktionen ignoriert oder Meldungen und Hinweise nicht gelesen (vgl. Marschner, 2011). Gegebenenfalls empfinden die Lernenden die Meldungen und Hinweise die zur Unterstützung des Lernprozesses gedacht sind evtl. intuitiv als störend, da solche Meldungen im Alltag anders geframt beispielsweise in Form von Werbebotschaften, Fehlermeldungen etc. wahrgenommen werden. Da die Aufmerksamkeitslenkung insbesondere bei der Betrachtung von Internetseiten nicht daran gewöhnt ist, bewusst auf Details zu achten, zeigen Lernende zeigen (insbesondere im Forschungskontext) eine schlechte Arbeitsweise im Umgang mit vielen Unterstützungsmaßnahmen (Veenman & Elshout, 1991),

Weitere Gründe könnten zudem die fehlende Motivation der Lernenden (Bannert, 2003) oder auch die mangelnde Relevanz des Lernmaterials in der artifiziellen Lernsituation sein.

9.2.2 Vorwissen

Im konventionellen Unterricht wird für jeden unterrichteten Inhaltsbereich zunächst grundlegendes Wissen erarbeitet. Durch gezielte Übungs- und Gesprächsangebote werden zudem Möglichkeiten zur Aktivierung des Vorwissens gegeben. Irrtümer und Fehler auf Seiten der Schüler sind zugelassen und werden von den Lehrenden konstruktiv genutzt. Gute Lehrkräfte kennen den Vorwissensstand ihrer Schüler im unterrichteten Inhaltsbereich, bauen diesen systematisch aus und ahnen auch, auf welchen Missverständ-

nissen bestimmte Fehler der Lernenden beruhen. So können sie auf Fehler und Defizite ihrer Schüler mit gezielten Übungsaufgaben oder Erklärungen reagieren und ihnen die Möglichkeit geben, ihr bestehendes Wissen zu erweitern, zu revidieren und an die spezielle Anforderung anzupassen.

Diese Fertigkeit von guten Lehrkräften setzt sowohl ein fundiertes fachliches Wissen als auch Empathie in Bezug auf die Lernenden und die entsprechende Erfahrung voraus, daraus die richtigen Schlussfolgerungen zu ziehen.

Ein Lernprogramm zu gestalten, welches über eine ähnlich gute Adaptivität und Komplexität verfügt, das Vorwissen der Lernenden valide zu erfassen und adäquat darauf zu reagieren, wäre mit einem enormen Aufwand verbunden. Wie solche Lernumgebungen computerbasiert zu gestalten sind, muss für jeden Inhaltsbereich erarbeitet werden und erfordert, vom Aufwand des Programmierens einmal abgesehen, die gleichberechtigte Zusammenarbeit zwischen Lehrern, Fachdidaktikern und Kognitionswissenschaftlern (vgl. Stern, 2004, S. 537).

9.2.3 Umgang mit Fehlern

Echte Fehler im Gegensatz zu falschen Aussagen sind fast immer das Ergebnis eines eigenständigen (kreativen) Denkprozesses. Deshalb sind Korrekturen fast nie erfolgreich, wenn sie nicht am Denkvorgang des Schülers ansetzen, sondern nur das Ergebnis desselben berücksichtigen (Strecker, 1999). Fehler, die im Rahmen von Multiple-Choice-Auswahloptionen entstehen, sind daher keine Fehler, die tatsächlich angemessene Rückschlüsse auf die dahinter liegenden Konzepte der Lernenden zulassen. Insofern kann das Feedback auf ein fehlerhaft ausgewähltes MC-Item auch nicht unbedingt dabei helfen, in Zukunft die richtige Lösungsstrategie zu verwenden. Ein Computerprogramm müsste folglich den komplexen Denk- und Lösungsweg jedes einzelnen Lernalters rekonstruieren können. Dies ist selbst für erfahrende Didaktiker mit gutem diagnostischem Gespür eine enorme Herausforderung.

9.2.3.1 Negatives Wissen und Emotion

Oser und Spychiger (2005) haben sich intensiv mit den emotionalen Konsequenzen von Fehlern beschäftigt. Dabei impliziert der Titel ihres Buches „Lernen ist schmerzhaft“

(2005), dass es häufig ein mühsamer und emotional schwieriger Weg sei, durch Fehler und Irrtümer zum Richtigen zu kommen: „Negatives Wissen ist immer die Frucht einer Irritation angesichts der scheinbaren Wohlgeformtheit der Welt. Wir können nicht mehr verschleiern, dass alles, was wir wirklich lernen, durch eine komplizierte Entstehungsphase, durch Scheitern und Schmerzen hindurchgegangen ist“ (a.a.O., S. 16).

Oser und Spychiger (2005) zufolge sind „Fehler nicht einfach die Sache einer falschen Logik oder eines falschen Denkprozesses“ (S. 17). Für die Autoren spielt die Dimension „der Ablenkung, das Faktum der Unaufmerksamkeit, die verblüffende Idee der Verwirrung durch Stress, die Tatsache, dass Angst im Kern des Irrtums oder des Fehlers liegt“ eine entscheidende Rolle. Diese negativen Erfahrungen bieten letztendlich Anlässe für einen Erkenntnisprozess, der mittels Verblüffung, Selbstscham und versuchter Korrektur zum Wissen über das „Nicht-so-sein“ oder das „Nicht-so-Funktionieren“ einer Sache führt. Wenn folglich über eigenen Fehler und negatives Feedback gelernt wird, sind Fehler für die Lernenden zunächst einmal mit unangenehmen Emotionen verbunden. Gerade darum ist es wichtig, dass Fehler in einem ansonsten angenehmen und sicheren Rahmen gemacht werden, wo man nicht erwarten muss zusätzlich noch von anderen ausgelacht zu werden. Auf diese Weise nehmen die negativen Emotionen, die mit den Fehlern natürlicherweise verbunden sind, keine lähmende Überhand, sondern geben genau den richtigen Antrieb zum Aufbau von negativem Wissen. Ausgehend davon sollten vielmehr Erfolgserlebnisse beim Anwenden von neuem Wissen als positive Emotionen einen Ausgleich für jene schmerzhaften Emotionen bieten können.

Dementsprechend betonen Neurowissenschaftler wie beispielsweise Spitzer (2002) ebenfalls, dass es essentiell wichtig sei, dass ein Lernprozess durch positive Emotionen begleitet wird: „Gelernt wird immer dann, wenn positive Erfahrungen gemacht werden. Dieser Mechanismus ist wesentlich für das Lernen der verschiedensten Dinge“ (S. 181). Mittlerweile kann man mit Hilfe von modernen neuropsychologischen Verfahren nachweisen, dass Angst, Stress, Überforderung und äußerer Druck die Herausformung komplexer Verschaltungen im kindlichen Gehirn ebenso behindern wie Unterforderung, mangelnde Anregungen, Verwöhnung oder Vernachlässigung (vgl. Hüther, 2004, S. 494). Für Oser und Spychiger (2005) „impliziert das Lernen eine substantielle Veränderung des Denkens, Handelns, der Einstellung und der Konzepte, die bisher Ordnung und Kontrolle im Leben verschafft haben“ (S. 23).

Oser und Spychiger (2005) haben den Umgang mit Emotionen im Kontext von Fehlern empirisch untersucht. Das Ergebnis widerspricht insofern dem Titel des Buches, als dass die Autoren negative Emotionen und Scham ebenfalls als lernhinderlich nachweisen konnten. Sie betonen, dass Personen, die Fehler machen, nicht beschämt werden dürfen. In einer beschämenden Situation ist eine Person mehr damit beschäftigt, ihr beschädigtes Selbstwertgefühl zu kitten, als sich mit dem Fehler zu beschäftigen. Diese Angst verhindere die Verarbeitung von Fehlerwissen zu Schutzwissen.

Spychiger et al. (2006) kommen bei der Testung eines Fragebogens zur Fehlerkultur im Unterricht zu dem Ergebnis, dass anders als sie zunächst erwartet hatten, eine möglichst niedrige Ausprägung negativer Emotionen wie Angst, Scham und Schuldgefühle nicht unbedingt ein positiver Indikator für Fehlerkultur war. Ein mittleres Niveau der negativen Emotionen korrelierte mit guter Fehlerkultur, besonders hohe ebenso wie besonders niedrige Werte korrelierten jedoch mit niedriger Fehlerkultur. Die Autoren interpretieren das Ergebnis dahingehend, dass die Abwesenheit von negativen Emotionen auf Gleichgültigkeit und mangelnde Aufmerksamkeit dem Fehlergeschehen und dem Lernen aus Fehlern gegenüber verweist. Hohe Ausprägungen jedoch mit Einschüchterung und Blockierung im Umgang mit Fehlern einhergeht. Eine mittlere Ausprägung negativer Emotionen dürfte daher mit einer Sensibilität für die durch den Fehler verletzte oder nicht erfüllte soziale Norm oder Leistungsnorm zusammenhängen. Darauf aufbauend kommen die Autoren zu folgender Post-Hoc-Interpretation der Ergebnisse: Angst oder Scham, solange diese negativen Gefühle ein mittleres Maß nicht überschreiten, seien ein Indikator dafür, dass ein Fehler ernst genommen werde. Der Betroffene steigere daraufhin seine Leistung, um den Fehler nicht wieder zu machen bzw. um nicht wieder in diese unangenehme Gefühlslage zu geraten (vgl. Spychiger et al., 2006).

Die moderne Gedächtnisforschung liefert auch Belege dafür, dass ein leichter, anregender Stress generell lernförderlich ist. Hierbei wird im Gehirn der Neuromodulator Noradrenalin ausgeschüttet, der in geringen Dosen das Gehirn allgemein aufnahmebereit macht. In den Augen der Verhaltensphysiologen und Lernpsychologen ist es deshalb nachteilig, wenn Lernen zu entspannt und „kuschelig“ ist und ohne jegliche Anstrengung auf niedrigstem Niveau passiert. *Lernen muss daher als positive Anstrengung empfunden werden.* Starker Stress hingegen, verbunden mit Versagensangst und Bedrohtheitsgefühl gegenüber dem Lehrenden, führt zu einer starken Hemmung des Lern-

erfolges (vgl. Roth, 2003). Das Gehirn stellt zudem über ein spezielles „Monitor- System“ (zingulärer Cortex) auch fest, wenn eine Belohnung (z.B. in Form eines Lobes) verdient oder unverdient war, und stellt sich sofort hierauf ein. Es muss folglich klare Regeln der Bewertung des Lernerfolges geben, die die Lernenden nachvollziehen können.

Oser et al. (2005) zufolge wird Negatives Wissen dann zu Schutzwissen, wenn verstanden wird, was falsch war und warum. Diese Erkenntnis ist für Oser et al. (2005, S. 76) eng verknüpft mit emotionalen und situativen Gegebenheiten im Lernprozess. Aus neurobiologischer Sicht gibt es ebenfalls zwei Ebenen die gelungene Lernprozesse kennzeichnen: Zum einen die Ebene des persönlichen Erlebens und zum anderen der Bezug zu wichtigen Bezugspersonen und -objekten ihrer jeweiligen Lebenswelt (Beziehungserfahrungen). „Erfahrungen zeichnen sich gegenüber allen auswendig gelernten Wissensinhalten dadurch aus, dass sie mit einer Aktivierung emotionaler Netzwerke im Gehirn einhergehen. Die gleichzeitige Aktivierung kognitiver („Was habe ich erlebt?“) und emotionaler Netzwerke („Wie ist es mir dabei ergangen?“) führt über Kopplung zur Verankerung der betreffenden Erfahrung in Form miteinander verbundener Verschaltungsmuster“ (Hüther & Dohne, 2010, S. 88). Für Oser et al. (2005) ist es ebenfalls essentiell dass Fehler von Emotionen begleitet sind, die das Negative Wissen in fundamentaler Weise bestimmen. Die Emotionen auf Negatives Wissen sind dabei für ihn „affektstärker“ als die Emotionen auf positives Wissen.

Hüther und Dohne (2010, ebd.) zufolge gibt es daher keinen Lerninhalt, der ohne eine solche Kopplung an die in der betreffenden Lernsituation aktivierten Gefühle im Gehirn verankert werden kann. Deshalb gelingt jede Aneignung neuen Wissens immer dann besonders gut, wenn dieses Neue von der betreffenden Person als *bedeutsam* (und damit emotional aktivierend) erlebt wird. Nur unter diesen Bedingungen kommt es über die Aktivierung emotionaler Zentren im Gehirn zu einer vermehrten Ausschüttung sog. neuroplastischer Botenstoffe (biogene Amine, wie z.B. Dopamin, Neuropeptide, z.B. Endorphine).

Da in unserem Lernprogramm Fehler keinerlei negativen Konsequenzen hatten (weder für die zu erwartende Biologie-Note noch im Rahmen des Programms selbst z.B. durch eine Animation mit verwelkender Pflanze u.ä.), konnten die angeführten neurobiologischen Prozesse auch nicht wirksam werden. Zudem wurde die Testleistung niemandem,

den die Schüler kannten, bekannt. Dadurch hatten sie keinerlei sozial bedingten Grund, bei Fehlern negative Emotionen (und somit einen Drang zur Verbesserung) zu empfinden. Es spielte für die Lernenden somit vielfach einfach keine Rolle, was im Lernprogramm passierte und war folglich nicht bedeutsam genug um daraus zu lernen. Damit unter diesen Bedingungen ein Lernprogramm "funktioniert", müssten sich Lerner unabhängig von sozialem Feedback intrinsisch motiviert auf die Inhalte des Lernprogramms einlassen.

In der vorliegenden Studie haben wir versucht das Lernmaterial dadurch bedeutsam zu machen, dass wir die Inhalte an die curricularen Vorgaben der Lehrpläne angepasst haben. Durch die sehr konkreten Anwendungsfälle im Rahmen der im Programm verwendeten Biologie-Aufgaben haben wir zudem versucht, einen möglichst engen Bezug der Schüler zu den Lerninhalten herzustellen. Die Idee hinter der Auswahl der Aufgaben war, dass die Lernenden sich mit der handelnden Person identifizieren und so am Beispiel von Gleichaltrigen lernen könnten. Trotzdem ist beim Lernen am Computer der zwischenmenschliche und emotionale Part der Fehlerkultur eingeschränkt. So kann ein Computer weder Ermutigung noch glaubhafte Fürsorge für Lernende darstellen oder adäquat auf negative Schüler-Emotionen eingehen. Mit Hilfe des Computers ist es jedoch nahezu unbegrenzt häufig möglich, Fehler zu korrigieren und Wiederholungen zur Verfestigung des Gelernten einzubauen. Lernen geschieht jedoch, wie bereits von den Neurobiologen geäußert, keineswegs maschinell, sondern ist an eben jene emotionale Bedeutsamkeit von Inhalten und intrinsisch motivierte Lernziele gebunden.

Oser und Spychiger (2005) zeigen anschaulich, wie Lehrkräfte den Aufbau einer positiven Fehlerkultur im Schulalltag verhindern können, indem sie beispielsweise bei der Korrektur von Fehlern das Falsche nicht aufgreifen und dazu nutzen das Richtige zu erklären. Zudem kommt die Anregung des Monitorings auf Basis der individuellen Fehleranalyse oft zu kurz.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass es auch mit computerbasierten Lernprogrammen diese Herausforderung zu bewältigen gilt. Im Rahmen von Computerprogrammen müsste man hierfür einen komplexen Algorithmus programmieren, der entscheiden kann, ob eine falsche Antwort auf Nicht-Wissen, falschen Annahmen oder Hypothesen oder falschen Lösungswegen beruht und eine darauf adäquate Antwort zu präsentieren. Das Programm müsste daher über intelligente Routinen im Rahmen von Denkwegrekon-

struktionen verfügen. Dadurch könnten theoretisch falsche Konzepte, falsche Regeln oder fehlerhafte Routinen bei den Lernenden erkannt und den Lernenden bewusst gemacht werden. Diese Reflexionsebene wäre der Ausgangspunkt dafür, dass Lernende überhaupt vermittelt durch den Computer ein metakognitives Verständnis für das Richtige in Abgrenzung zum Falschen entwickeln können.

Um die emotionale Ebene der beteiligten Schüler zu erreichen und ihren Ehrgeiz anzustacheln, hatten wir die erfolgreiche Teilnahme am Lernprogramm mit der Verlosung von Gutscheinen im Gesamtwert von 800€ verknüpft: Nur die Klassen, die am besten abschneiden, würden an der Verlosung teilnehmen. Dieses Framing hat jedoch leider keine Wirkung zeigen können, weil wir auf Grund der datenschutzrechtlichen Auflagen des Kultusministeriums bei der Instruktion zu Beginn betonen mussten, dass die Durchführung der Studie komplett anonym ist und wir anhand der Daten nicht nachvollziehen können, wer welchen Datensatz produziert hat. Dieser durch die Auflage des Datenschutzbeauftragten des Kultusministeriums notwendige Hinweis war für die Glaubwürdigkeit von einem Wettbewerb für die meisten Schüler abträglich, weil diese beiden Informationen nicht mehr zusammen passten: Entweder stimmte es nicht, dass es anonym ist – oder die Leistungen können nicht verglichen und bestimmten Personen zugeordnet werden. Die Schlussfolgerung, die sich für die meisten Schüler aus diesem Widerspruch ergab, war eine verminderte Leistungsmotivation.

Bei einer Folgestudie müsste man überprüfen, ob man durch die Veranstaltung eines Wettbewerbs oder die Verwendung der Ergebnisse des Programms als Teil der Biologie-Note die Erfolgsmotivation der Schüler steigern könnte – ohne die Angst vor Misserfolg, die ja ebenfalls lernhemmend ist, zu provozieren.

9.2.3.2 Advokatorisches negatives Wissen

Neben dem Lernen aus eigenen Fehlern kann man auch aus den Fehlern anderer über ganz unterschiedliche Quellen wie Bücher, Filme, Geschichten etc. lernen – insbesondere dann, wenn diese uns emotional berühren. Wir können somit auch aus den Fehlern anderer lernen.

Schutzwissen wird daher nicht nur durch das Lernen aus eigenen Fehlern, sondern auch über negative Modelle möglich. Daher ist das Lernen aus Planspielen oder im Simulator

eine weitere Möglichkeit, um Schutzwissen aufzubauen (z.B. im Flugsimulator, in dem Piloten den Absturz eines Flugzeugs trainieren können). Durch das Verstehen der Fehler und deren Ursachen und den damit verbundenen kognitiven und emotionalen Reaktionen kann sich schließlich das Schutzwissen herausbilden. Aus neuropsychologischer Perspektive kommen hier die Spiegelneurone ins Spiel. Diese lassen uns nicht nur jene Teilabschnitte einer Handlung verstehen, die wir eins zu eins beobachten konnten. Sondern lassen uns dann, wenn wir nur den Anfang einer Handlung sehen konnten, errahnen, was im nächsten Moment kommen wird (vgl. Bauer, 2004, S. 53).

Diesen Umstand haben wir in dem Lernprogramm versucht zu nutzen und die Lernaufgaben so ausgewählt, dass die Schüler den Eindruck bekommen sollten, anderen Kindern im Programm bei den verschiedenen Phasen des Experimentierens zuzuschauen und dabei zu „helfen“ Experimente durchzuführen.

Neuronale Netzwerke im Gehirn kodieren nicht nur den Plan einer bestimmten Handlung, sondern auch die erwartbare Gesamtsequenz dieser Handlung. Wenn Spiegelneurone beim Beobachten einer Handlung mitreagieren, dann tun sie dies, sobald aufgrund der Beobachtung ein hinreichender Anfangsverdacht vorliegt, worauf eine begonnene beobachtbare Aktion hinauslaufen wird. Spiegelneurone fahren im miterlebenden Beobachter also nicht nur ein stilles inneres Simulationsprogramm, sondern sie informieren ihn auch über den – aufgrund bisheriger Erfahrungen – wahrscheinlichen Ausgang einer Handlungssequenz (Bauer, 2004, S. 53).

Wir konnten somit davon ausgehen, dass Lernende, die über ein gewisses Vorwissen verfügen, von der Aufbereitung der Aufgaben profitieren würden, da es an bekannte Strukturen anknüpfen würde. Da das Lernprogramm jedoch über den Computer vermittelt wurde, konnten sich die Lernenden nicht mit realen Personen „in Beziehung setzen“ und auch die emotionale Involviertheit war dadurch begrenzt. Anders als beim „Hands-on“-Lernen, bei dem ein menschliches Vorbild zum Imitationslernen anregt, sind die computerbasierten Lernaufgaben somit eindimensional geblieben.

Bei der Konstruktion des Feedbacks im Rahmen des Lernprogramms konnten daher nicht alle Aspekte des negativen Wissens berücksichtigt werden. Das Bemerkenswerte beim negativen Wissen ist, dass das Erlebnis des Fehlermachens so komplex und eindrücklich ist, dass man sich an seine Fehler erinnert – und diese dadurch kein zweites

Mal begeht. Durch die computerbasierte Präsentation des Feedbacks konnten wir nicht alle Ebenen, die das negative Wissen charakterisieren simulieren.

Für Oser ist hierbei der Dreiklang aus folgenden Bestandteilen wichtig:

- Ein **spezifisches Erlebnis**, welches im episodischen Gedächtnis abgespeichert wird,
- Die **emotionale Involviertheit**, die dafür sorgt, dass man mit seiner ganzen Aufmerksamkeit die Relevanz des Fehlers bewusst gemacht bekommt und („Emotionen machen, dass das Ereignis des Falschen nicht vergessen wird, sondern dass es wie eine Narbe in Erinnerung bleibt und dafür sorgt, dass nächstes Mal, oder im Ernstfall, nicht die gleichen Fehler nochmals passieren.“)
- Die **Akzeptanz des Fehlers durch eine relevante Person** (z.B. eines Lehrers), das Getragensein von Drittpersonen, die dabei helfen, den Fehler zu überwinden.

Diese Aspekte, die für die Speicherung und Erinnerung der Fehler in Form des sog. Schutzwissens (siehe S. 58) wesentlich gewesen wären, konnten durch das Lernprogramm somit nicht ersetzt werden. Es bleibt fraglich, ob das Konzept des negativen Wissens aus den oben genannten Gründen überhaupt auf eine computerbasierte Lernumgebung anwendbar ist und zum Aufbau von relevantem Schutzwissen genutzt werden kann.

Das Konzept des negativen Wissens (Oser & Spychiger, 2005), beinhaltet wesentliche Aspekte der aus der Psychologie bekannten neurophysiologische Prinzipien des Lernens: z.B. dass viele Verknüpfungen zu anderen Lerninhalten aufgebaut werden müssen und dass zum erfolgreichen Lernen positive Emotion und eine gute Lernatmosphäre wichtig sind.

Die moderne Gehirnforschung ist mittlerweile imstande, diese Erkenntnisse aus objektiven, jederzeit wiederholbaren und nachprüfaren Befunden abzuleiten. Mithilfe ihrer Verfahren lässt sich zeigen, wie regionale Netze aufgebaut und verknüpft werden, wie globalisierende Transmittersysteme die dort ablaufenden Aktivierungsprozesse verbinden und harmonisieren, wie sich Erregungsprozesse ausbreiten und auf tiefer liegende emotionale Zentren übergreifen, welche Botenstoffe dadurch vermehrt ausgeschüttet werden und wie diese Stoffe als Wachstumsfaktoren und als Regulatoren der Genex-

pression die Stabilisierung und Bahnung neuer Verschaltungsmuster ermöglichen und begünstigen (vgl. Hüther, 2004, S. 494).

Hüther folgend würden sich computerbasierte Lernumgebungen daher nur dann für den Einsatz in Schulen eignen, wenn die Lehrenden die Schüler dabei unterstützen, eine Beziehung zum Lernstoff aufzubauen und dadurch dem Lernstoff eine emotionale Dimension geben. Zudem sollten Lernprogramme darauf ausgelegt sein, Lernende bei der individuellen Konstruktion von Wissen und dessen Verankerung im Gehirn zu unterstützen.

9.2.4 Konstruktivismus

Im vorherigen Abschnitt wurden gezeigt, welche Begrenzungen computerbasierte Lernumgebungen in Bezug auf die Aneignung komplexer neuer kognitiver Strukturen im Sinne des negativen Wissens mit sich bringen. In vielen Studien hat sich jedoch gezeigt, dass reines *discovery learning* ebenfalls wenig effizient ist. Mayer (2004) stellt dazu treffend fest: Beim Lernen durch Denken, Organisieren, Strukturieren und Integrieren von Informationen, können computerbasierte Lernprogramme daher durchaus hilfreich sein, solange sie sich adaptiv auf die kognitiven Voraussetzungen und das Vorwissen des Lernenden einstellen: „Activity may help promote meaningful learning, but instead of behavioral activity per se (e.g., hands-on activity, discussion, and free exploration), the kind of activity that really promotes meaningful learning is cognitive activity (e.g., selecting, organizing, and integrating knowledge)“.

Der Kern einer neurobiologisch-konstruktivistischen Lehr- und Lerntheorie besteht in der Einsicht, dass Wissen nicht übertragen werden kann, sondern im Gehirn eines jeden Lernenden neu geschaffen werden muss. Lernen ist also ein aktiver Prozess der Bedeutungserzeugung (Roth, 2004, S. 496). Der Konstruktivismus geht davon aus, dass es keine objektive Realität gibt, sondern nur individuelle Wahrnehmungen der existierenden Elemente der Welt, die verschiedene Wirklichkeiten für jedes einzelne Individuum darstellen.

Die konstruktivistisch fundierte Lerntheorie nimmt genau diesen Punkt ernst, nämlich dass Wissen nicht objektiv vorgegeben werden kann und nicht verlustlos durch bloße Mitteilung von Gehirn zu Gehirn weitergeleitet werden kann: „Keine noch so determi-

nistische und externalisierte ‚Instruktion‘ kann verhindern, dass unserer Gehirne nun einmal so funktionieren, dass sie aus dem Lehrangebot subjektiv ihren eigenen Sinn und damit letztlich ihre eigene ‚Kognitive Wirklichkeit‘ konstruieren (...) Wir müssen aber davon ausgehen, dass Lernen immer nach den Annahmen des Konstruktivismus, also konstruktiv beziehungsweise rekonstruktiv, erfolgt, und zwar auch dann, wenn die Lernumgebung eine nicht-konstruktivistische ist“ (Müller, 2004, S. 71). Diese Aussage ist natürlich gebunden an die Anerkennung der Bedeutung eines Lerninhalts. Was jemand unter bestimmten Bedingungen lernt, hängt somit stark, jedoch nicht ausschließlich, von dem Lernenden selbst und seinen Erfahrungen ab. Dadurch wird selbst empirisch gestütztes Wissen zum *subjektiven* Konstrukt. Dem selbstbestimmten reflektiven Handeln und damit dem selbstorganisierten Lernen kommt dabei eine herausragende Bedeutung zu. Durch den praktischen lebensweltlichen Bezug von Lehrinhalten wird die Rolle der Lernenden und nicht mehr die des Wissensvermittlers betont. Lernumgebungen werden im Konstruktivismus als Informationsvermittler und Werkzeuge für einen selbstgestalteten Lernprozess betrachtet (u.a. Euler, 1994). Lernumgebungen sollen daher so gestaltet werden, dass sie handlungsorientiertes und selbständiges Lernen unterstützen.

Schulmeister (2002) beschreibt drei auf konstruktivistischen Grundlagen basierende Konzepte, die sich in Hinblick auf Gestaltung und Anwendung von computerunterstützten Lernumgebungen unterscheiden:

- 1) *Cognitive apprenticeship*: Lernen wird als Lerner-Berater-Verhältnis konzipiert. Das Computerprogramm übernimmt die Rolle des Beraters oder Coach, der sich der fortschreitenden Erfahrung des Lernenden anpasst und sich entsprechend dem Lernfortschritt immer weiter in seiner unterstützenden Funktion zurücknimmt. (u.a. Collins & Brown, 1989) Dieses Konzept findet z.B. bei intelligenten tutoriellen Systemen Anwendung.
- 2) *Knowledge communities*: Das Lernen in Informations- und Kommunikationsnetzwerken fördert den Austausch mit anderen Lernenden und betont das Handeln in und mit der Lebenswelt. Durch computerunterstützte Informations- und Kommunikationsnetze werden Lernsituationen kreiert, die Kommunikation fördern und Lernen in Form von kooperativen und interaktiven Informationsaustausch ermöglichen.

- 3) *Cognitive tools*: Bei kognitiven Werkzeugen handelt es sich überwiegend um Computerprogramme, die konzipiert werden, um die kognitive Wahrnehmung des Lernenden zu verstärken, zu erweitern und zu verbessern (Kozma, 1987). Sie dienen als Werkzeuge für den Lernenden ihre eigenen Vorstellungen und Konzepte selbständig zu planen, umzusetzen und zu reflektieren. Simulationsprogramme und spezielle Programmiersprachen sind dieser Gruppe der *cognitive tools* zuzuordnen.

Der Schlüssel von der konstruktivistischen Lerntheorie zu modernen computerbasierten Lernprogrammen, ist folglich die Adaptivität und damit insbesondere die Komplexität und Leistungsfähigkeit eines Programms.

Nach Leutner (2002, S.118) stellt sich bei Adaptierbarkeit „die Frage, inwieweit ein System auf der Grundlage einer extern vorgenommenen Diagnose durch extern vorgenommene Eingriffe so eingestellt werden kann, dass es dem Unterstützungsbedarf der Lernenden möglichst gut entspricht“. Im Gegensatz dazu legt die Adaptivität fest, „inwieweit das System selbst in der Lage ist, den Unterstützungsbedarf der Lernenden zu diagnostizieren und das Ergebnis der Diagnose in geeignete angepasste Lehrtätigkeit umzusetzen“ (ebd.).

Wirksame adaptive Größen in Lernsystemen sind nach Leutner (2002, S.121-123):

- Instruktionsumfang und Lerndauer
- Instruktionssequenz
- Aufgabenpräsentationszeit und Antwortzeitbegrenzung
- Aufgabenschwierigkeit
- Hilfen beim entdeckenden Lernen
- Definition neu zu lernender Begriffe
- Informationszugriff in Hypertextsystemen

Merril (1991) weicht mit seiner Position des „instruktionalen Designs zweiter Generation“ den klassischen Konstruktivismus auf. Er betont die Bedeutung von Problem- und Handlungszusammenhängen in konstruktivistischer Hinsicht, aber auch die Wichtigkeit des Aufbaus von kognitiven Strukturen und mentaler Modelle durch geeignete Instruktionen, die auf kognitionstheoretischen Ansätzen basieren. Um eine spezielle Variante

kognitiv-konstruktivistischer Lerntheorien handelt es sich bei Ansätzen zum *situierten Lernen* (vgl. Klauer 2006), welche annehmen, dass (a) Wissen in situationsgebundener Form erworben wird und (b) die Anwendung erworbenen Wissens eine Äquivalenz von Lern- und Anwendungssituation voraussetzt. „Radikale“ Varianten dieser Ansätze leugnen jegliche Verhaltensmächtigkeit abstrakter, generalisierter Prozeduren, und zwar auch solcher, für die bereits unsere Alltagserfahrung breite Anwendbarkeit nahe legt (Beispiel: Grundregeln des Rechnens). „Gemäßigte“ Varianten konstruktivistischer und situiert-lerntheoretischer Positionen, die unterschiedliche Grade an Konstruktionsabhängigkeit und Situietheit von Wissensarten zu differenzieren erlauben, dürften der Realität menschlichen Lernens eher gerecht werden (z.B. Stark & Mandl, 2000). Ansätze zum Erwerb von Expertise gehen davon aus, dass erfolgreiche Lernprozesse und resultierende Wissensstrukturen bei solchen Personen gut beobachtbar sein sollten, die in einem definierten Wissensgebiet zu Experten geworden sind. Die von Mandl u.a. beschriebenen Ansätze zum situierten Lernen können als Mischform kognitionstheoretischer und konstruktivistischer Ansätze aufgefasst werden, bei der der Lebens- und Lernsituation eine besondere Bedeutung beigemessen wird (vgl. Götz et al., 2009).

Situierte Ansätze (vgl. etwa Gerstenmaier & Mandl, 1995) fokussieren vor allem auf:

- „die Darstellung komplexer, sozialer Realität (statt abstrakter Inhalte)
- die authentische Aktivität von Lernenden (statt Aktivität von Lehrenden) und
- die Präsentation multipler (statt einfacher) Perspektiven auf Probleme“ (Kerres, 2001, S.79).

Einige dieser Forderungen wurden als erste didaktische Richtlinien für die Gestaltung von multimedialer Lernsoftware übernommen.

9.2.5 Outputorientierung

Im Bildungswesen findet derzeit ein Wechsel von einer Input- hin zu einer Output-Orientierung statt. Diese Output-Orientierung erfordert sowohl für Lehrende und Lernende ein höheres Maß an selbständiger Lehr-Lern-Organisation und somit hohe Kompetenzen im Bereich selbstregulierten Lernens und Handelns (Weinert, 2001a, 2001b, 2001c; Götz et al. 2009). Entsprechend nimmt die Bedeutung des selbstregulierten Lernens und anderer fächerübergreifender Kompetenzen zu. Dies spiegelt sich unter ande-

rem darin wider, dass diese in neueren Bildungsstudien neben fachspezifischen Leistungsindikatoren häufig erfasst werden (Cross-Curricular Competences; z.B. auch Problemlösen bei der PISA-2003-Erhebung; Leutner u.a. 2004).

Von der „Selbstregulation“ eigenen Handelns ist in prototypischem Sinne dann zu sprechen, wenn (a) die Ziele für das Handeln selber gesetzt werden, (b) diese Ziele in entsprechende Intentionen und diese wiederum in Handlungen umgesetzt werden können, (c) Ausführung und Ergebnisse der Handlung unter der jeweiligen Zielperspektive selber überwacht und bewertet werden und (d) die Resultate von Überwachung und Bewertung zu eigener Handlungs- und Zielkorrektur sowie erneuter Zielbildung verwendet werden (vgl. Götz et al. 2009).

Um selbstreguliert lernen zu können, sind eine Vielzahl aufeinander abgestimmter Teilfähigkeiten kognitiver, emotionaler und motivational-volitionaler Art erforderlich. Im Bereich selbstregulierten Lernens zählen hierzu selbstdiagnostische Fähigkeiten zur Analyse des eigenen Vorwissens und Lernstandes, kognitive und volitionale Fähigkeiten zur Bildung von Lernzielen, emotionale Dispositionen zur affektiven Verankerung dieser Ziele, volitionale Strategien zur Bildung von Intentionen, ihrer Abschirmung gegen konkurrierende „Versuchungen“ und ihrer Umsetzung in Lernanstrengungen, deklaratives und prozedurales Wissen zu Lernstrategien und -techniken, metakognitives Wissen zum stoffadäquaten Einsatz der Lernstrategien und -techniken und zum Monitoring und zur Korrektur des Lernverhaltens, sowie emotionale und motivationale Fähigkeiten zur Wertschätzung des resultierenden Lerngewinns (vgl. Götz, 2006; Schiefele & Pekrun, 1996).

Nimmt man die Entwicklung von Fähigkeiten zum selbstregulierten Lernen als Bildungsziel ernst, so wäre der Erwerb des gesamten Ensembles solcher Fähigkeiten zum expliziten Gegenstand von Bildungsprozessen zu machen. In unseren Bildungseinrichtungen werden jedoch selbstregulatorische Kompetenzen momentan meist nur sehr rudimentär vermittelt, häufig in Form von Lernstrategiekursen (z.B. „Lernen lernen“ im Sinne von „Ergänzungsveranstaltungen“).

Diese isolierte Vermittlung von Lerntechniken ist jedoch aus theoretischer und empirischer Perspektive als wenig effektiv zu bezeichnen. Sinnvoller wäre eine langfristige Lernbegleitung, in welcher Aspekte selbstregulierten Lernens regelmäßig reflektiert, für

verschiedene Lerninhalte spezifiziert und Lernprozesse dadurch kontinuierlich, theoriegeleitet und erfahrungsbasiert optimiert wurden. Um selbstreguliertes Lernen in unserem Bildungssystem zu etablieren, müssten zudem diesbezügliche Kompetenzen zunächst in den Curricula der Lehreraus- und -fortbildung verankert werden.

9.3 Ausblick

Das computerbasierte Lernprogramm, welches im Rahmen dieser Studie programmiert und getestet wurde, hat sich bei der anvisierten Zielgruppe in der Schule als zu schwierig und den Herausforderungen der „digital Natives“ (Prensky, 2001) nicht angemessen herausgestellt. Jedoch wird es mittlerweile erfolgreich in der Ausbildung von Lehramtskandidaten in einem Methodenseminar der Freien Hochschule Berlin eingesetzt³. Die Studierenden schätzen die methodische Klarheit des Programms und die genauen und detaillierten Rückmeldungen. In der dort verwendeten Fassung des Programms wird zwischen den verschiedenen Feedbackvarianten abgewechselt, so dass alle Studierenden die gleiche Version bearbeiten und der Umfang der zu lesenden Rückmeldungen im Verlauf des Lernprozesses variiert. Zudem wurden für diesen Zweck die psychologischen Fragebögen entfernt und die Aufgaben aus Messzeitpunkt 1 und Messzeitpunkt 2 zu einem Messzeitpunkt zusammengefasst, so dass die Studierenden 20 Biologie-Aufgaben hintereinander bearbeiten und hierfür jeweils Feedback erhalten.

Im Rahmen des Methodenkurses dient das Lernprogramm dazu, den Studierenden bei der Planung eigener Projekte noch einmal die Variablenkontrollstrategie vor Augen zu führen und sie daran zu erinnern, was sie bei der Aufstellung der Hypothesen, der Durchführung des Experiments und der Auswertung der Daten beachten müssen.

³ Es handelt sich um das Seminar NW-2 im Sommersemester 2012 im Rahmen des Studiums des Zweifaches "Integrierte Naturwissenschaften" und wurde besucht von Studierenden des Kernfachs Grundschulpädagogik im 2. Semester. Näheres zum Seminar ist der Studienordnung des Zweifachs im Amtsblatt der Freien Universität Berlin 11/2011 zu entnehmen. Das Zweifach "Integrierte Naturwissenschaften" zum Kernfach "Grundschulpädagogik" wurde im Wintersemester 2010/11 an der Freien Universität Berlin als Pilotprojekt und Teil des FU.MINT Projektes zur Förderung der Lehrerbildung in den MINT Fächern studierbar gemacht. Die Kooperation fand ausgehend von der Kontaktperson Robert Gandert (M.A.) statt. <http://www.fu-berlin.de/sites/mint-lehrerbildung/projekt/tp3/tp3-1/index.html>

Durch das umfangreiche Vorwissen und die ausgeprägte metakognitive Kompetenz der Studierenden wirkt das Programm auf diese Zielgruppe motivierend und stellt eine willkommene Abwechslung zu den sonst üblichen Methodentrainings dar.

9.4 Fazit

Das Beispiel der Anwendung des Programms bei Studierenden zeigt, dass sich neben den theoretischen Erträgen dieser Arbeit, auch praktische Erträge aus dieser Arbeit ergeben.

Mit dieser Studie konnte gezeigt werden, dass eine Vielfalt an Faktoren berücksichtigt werden muss, um über das Lernen aus eigenen Fehlern erfolgreich Experimentierkompetenz aufzubauen. Zudem wurde aus unseren Daten deutlich, dass es nicht nur davon abhängt, selbstregulierte Lernprozesse durch Feedback mit Hilfe eines computerbasierten Lernprogramms zu unterstützen, sondern zunächst die hinreichende Motivation der Lernenden bzw. deren Commitment im Vordergrund stehen sollte.

Wie die vorliegende Studie zeigen konnte, spielt der Elaborationsgrad des Feedbacks dabei ebenso wie die Begründung des Fehlers eine geringere Rolle als beispielsweise der Umfang und die Komplexität des zu lesenden Textes und die Sicherstellung der intrinsischen Motivation bei den Lernenden. Hierfür scheint es wichtig zu sein, dass das Lernprogramm sich adaptiv an das Vorwissen der Schüler anpasst. Auch die den Fehlern der Lernenden zugrunde liegenden Denkprozesse und Konzepte sollten bei der Programmierung von Lernprogrammen zukünftig stärker berücksichtigt werden. Somit ist die Adaptivität des Lernprogramms eine wichtige Voraussetzung dafür, dass eine computerbasierte Fehlerrückmeldung den Lernprozess beim Kompetenzerwerb unterstützen kann.

In der dargestellten Studie konnten wir zudem zeigen, dass es für die Wirksamkeit von Unterstützungsmaßnahmen von großer Bedeutung ist, dass die Unterstützung auch aufmerksam wahrgenommen, gelesen und reflektiert wird. Die Analyse der Lesezeit hat gezeigt, dass viele Lerner die Feedbackseiten unseres Lernprogramms gar nicht oder nur unregelmäßig bis zum Ende gelesen haben, wodurch wir auf dieser Datenbasis keine

Aussage darüber treffen können, welche Faktoren beim Feedback zum Aufbau von negativem Wissen im Experimentierprozess wichtig sind.

Um die Datenqualität zu verbessern sollte man daher bei zukünftigen Forschungsprojekten neben einer konkreteren theoretischen Fundierung (unter besonderer Berücksichtigung von interdisziplinären Fragestellungen) und präzisen Abgrenzung der Hypothesen auch das Vorwissen der Lernenden valide erfassen und berücksichtigen. Zudem sollte die Motivation der Lernenden durch die Einbettung des Lernprogramms in den regulären Unterricht sichergestellt und überwacht werden. Dies kann durch logfile-basierte Daten über die Interaktion mit dem Programm und den zusätzlichen Einsatz von Eye-Tracking-Verfahren (vgl. Gollücke, 2009) realisiert werden. In Kombination mit Rahmenbedingungen in denen die Lernenden intrinsisch motiviert sind, könnte man so auf einer breiteren Datenbasis untersuchen, wann welche Art von Feedback sinnvoll und nützlich für den Kompetenzerwerb ist.

Theoretisch zu trennen wäre der Aspekt der Instruktionsqualität von Feedback von der Dimension des negativen Wissens. Die Vermischung dieser beiden theoretischen Dimensionen ist sicherlich ein ausschlaggebender Faktor für den Mangel an darstellbaren empirischen Ergebnissen. Hierbei bietet die fächerübergreifende Zusammenarbeit von Fachdidaktiken mit der Psychologie und ggf. auch den Neurowissenschaften für die beteiligten Fächer viele Chancen. Auch der Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die Praxis profitiert von den unterschiedlichen Sichtweisen der Fächer auf Themen der Lehr- und Lernforschung.

10. Literaturverzeichnis

Allport, G. W. (1949). *Persönlichkeit*. Stuttgart: Klett.

Anderson, J.R. (2001). *Kognitive Psychologie*, Heidelberg: Spektrum Akad. Verlag.

Ammons, R. B. (1956) Effects of knowledge of performance: A survey and tentative theoretical formulation. *Journal of General Psychology*, 54, 279-299.

Artelt, C. (1999). Lernstrategien und Lernerfolg - Eine handlungsnaher Studie. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 31, 86-96.

Asendorpf, J. B. (2007). *Psychologie der Persönlichkeit* (4. Aufl.). Berlin: Springer.

Asendorpf, J.B. & Wilpers, S. (1998). Personality effects on social relationships. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74, 1531-1544.

Verfügbar unter: URL:

<http://www.psychologie.hu-berlin.de/prof/per/pdf/pereff.pdf>

[zuletzt abgerufen: 20.09.2012]

Atkinson, R.K., Derry, S.J., Renkl, A., Wortham, D. (2000). *Learning from examples: Instructional Principles from the worked examples research*, *Review of Educational Research*, 70 (2), 181-214.

Azevedo, R., Cromley, J.G. & Seibert, D. (2004). Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia? *Contemporary Educational Psychology*, 29, 344-370.

Azevedo, R. & Hadwin, A.F. (2005). Scaffolding self-regulated learning and metacognition - Implications for design of computer-based scaffolds. *Instructional Science*, 33, 367-379.

Backhaus, K. (2004). *Persönlichkeit als Forschungsgegenstand der Psychologie. Eine Einführung in das Big Five-Persönlichkeitsmodell*. Online-Dokument.

Verfügbar unter:

<http://www.psyreon.de/content/e479/e480/Publikationen/persoenlichkeit.pdf>

[Datum des Zugriffs: 01.02.2012]

- Baddeley, A. (1997). *Human memory*. (Rev. Ed.). Hove: Psychology Press.
- Baitsch, C. (1996). Lernen im Prozess der Arbeit – ein psychologischer Blick auf den Kompetenzbegriff. In: QEUEM-Bulletin, 1, 6-8.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84, 191–215.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thoughts and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Bandura, A. (1991). Social cognitive theory of self regulation. *Organizational Behavior & Human Decision Processes*, 50, 248-287.
- Bangert-Drowns, R. L., Kulik, C., Kulik, J. A., & Morgan, M. T. (1991a). The instructional effect of feedback in test-like events. *Review of Educational Research*, 61, 213-238.
- Bangert-Drowns, R. L., Kulik, J. A., & Kulik, C. C. (1991). Effects of frequent classroom testing. *Journal of Educational Research*, 85(2), 89–99.
- Baitsch, C. (1996). Lernen im Prozess der Arbeit – ein psychologischer Blick auf den Kompetenzbegriff. In: QEUEM-Bulletin, 1, 6-8.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 13-25.
- Bannert, M. (2007). *Metakognition beim Lernen mit Hypermedien*. Münster: Waxmann.
- Bartussek, D. (1996). Faktorenanalytische Gesamtsysteme der Persönlichkeit. In M. Amelang (Hg.), *Enzyklopädie der Psychologie*. Temperam
- Baumert, J. (1993). Lernstrategien, motivationale Orientierung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen im Kontext schulischen Lernens. *Unterrichtswissenschaft*, 4, 327-354.
- Baumert, J. et al. (1997). TIMMS. Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde, Opladen.

Beckmann, N. (2004). Differentielle Effekte von Feedback in Intelligenztests. Universität Düsseldorf.

Verfügbar unter: URL: <http://docserv.uni-duesseldorf.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-3028/1028.pdf>

[abgerufen am: 20.08.2012]

Beierlein, C. (2011). Geschlechtsunterschiede in Motivation und Strategiesystematik beim selbstregulierten Erlernen eines Computerprogramms. Dissertation.

Verfügbar unter: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de>

[abgerufen am: 20.08.2012]

Berliner Erklärung (2000). „Innovation und Lernen – Lernen mit dem Wandel“. In: QUEM-Bulletin (7), 2-3.

Black, P. & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education*, 5, 7–74.

Block, J. (1995): A contrarian view of the five-factor approach to personality. In: *Psychological Bulletin* 117, S. 187–215.

Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning. A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7, 161-186.

Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31, 445-457.

Borkenau, P. & Ostendorf, F. (1993). NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI) nach Costa und McCrae. Göttingen: Hogrefe.

Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5. vollständig überarbeitete und aktualisierte Aufl.). Heidelberg: Springer.

Boshuizen, H. P. A., Bromme, R. & Gruber, H. (eds.) (2004). *Professional learning: Gaps and transitions on the way from novice to expert*. Dordrecht: Kluwer.

Bosnjak, M., Tuten, T.L. (2001). *Classifying Response Behaviors in Web-based Surveys*. *Journal of Computer-Mediated Communication, JCMC*, Colume 6 (3).

Verfügbar unter: URL: <http://jcmc.indiana.edu/vol6/issue3/boznjak.html> [abgerufen am 10.09.2012]

Bransford, J.D., Brown, A.L. & Cocking, R.R. (Eds.). (2000). *How people learn: Brain, mind, experience and school* (expanded ed.). Washington, DC: National Academic Press.

Brown, A.L. & DeLoache, J.S. (1978). Skills, plans, and self-regulation. In R.S. Siegel (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 3-35). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Brown, A.L. (1984). Metakognition, Handlungskontrolle, Selbststeuerung und andere, noch geheimnisvollere Mechanismen. In F.E. Weinert & R.H. Kluwe (Hrsg.), *Metakognition, Motivation und Lernen* (S.60-109). Stuttgart: Kohlhammer.

Brown, A.L. & DeLoache, J.S. (1978). Skills, plans, and self-regulation. In R.S. Siegel (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 3-35). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Butler, D. L. & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65, 245-281.

Bybee, R. (1997). *Achieving Scientific Literacy: From Purposes to Practices*. Portsmouth, NH: Heinemann.

Carlson, J. S. (1989). Advances in research on intelligence: The dynamic assessment approach. *Mental Retardation & Learning Disability Bulletin*, 17, 1-20.

Carlson, J. S., & Wiedl, K. H. (1980). Applications of a dynamic testing approach in intelligence assessment: Empirical results and theoretical formulations. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 1, 303-318.

Carlson, J. S., & Wiedl, K. H. (1992). Principles of dynamic assessment: The application of a specific model. *Learning & Individual Differences*, 4, 153-166.

Carver, C. S., & Scheier, M. F. (1990). Origins and function of positive and negative affect: A control-process view. *Psychological Review*, 97, 19-35.

Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.

Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variable strategy. *Child Development*, 70, 1098-1120.

Chi, M.T.H., Glaser, R., Rees, E. (1982). *Expertise in problem solving*, in Sternberg, R. (Hrsg.), *Advances in Psychology of Human Intelligence*, Erlbaum, Hillsdale N.J., 7-75.

Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Selfexplanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.

Chi, M.T.H., De Leeuw, N., Chiu, M.H., & LaVancher, C. (1994). Eliciting selfexplanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.

Chin, 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, 1-51.

Corno, L. (1989). Self-regulated learning: A volitional analysis. In B.J. Zimmermann & D.H. Schunk (Eds.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theory, research and practice* (pp. 111-141). New York: Springer.

Corno, L. & Snow, R.E. (1986). Adapting teaching to individual differences among learners. In M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed., pp. 605-629). New York: Macmillan.

Cronbach, L. J. (1957). The two disciplines of scientific psychology. *American Psychologist*, 12, 671-684.

Davis, E.A., & Linn, M.C. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, 22, 819-837.

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39, 223 – 228.

Davis, E.A. (2003). Prompting middle school science students for productive reflection: Generic and directed prompts. *The Journal of the Learning Sciences*, 12, 91-142.

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., Martin, E., Zamarro, J.-M., Esquembre, F., Swaak, J. & van Joolingen, W.R. (1999). The integration of computer simulation and learning support: An example from the physics domain of collisions. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 597-615.

Dempsey, J.V., Driscoll, M.P. & Swindell, L.K. (1993). Text-based feedback. In J.V. Dempsey & G.O. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 21-54). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

Dempsey, J.V. & Sales, G.O. (Eds.) (1993). *Interactive instruction and feedback*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

Deutsches PISA-Konsortium (Eds.) (2001). *PISA 2000 - Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske und Budrich.

Deutsches PISA-Konsortium (Eds.) (2004). *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.

Deutsches PISA-Konsortium (Eds.) (2007). *PISA '06. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie*. Münster: Waxmann.

Dinkelaker, J. (2007): Kommunikation von Lernen. Theoretischer Zugang und empirische Beobachtungen. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 10, H. 2, S. 199-213.

Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 17, 397- 434.

Eggert, S. & Bögeholz, S. (2006). Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz "Bewerten, Entscheiden und Reflektieren" für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 177-199.

Empfehlung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zu Schlüsselkompetenzen für lebensbegleitendes Lernen; ABl. L 394 vom 30.12.2006, S. 10–18.

Verfügbar unter: URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006H0962:DE:NOT>

[zuletzt abgerufen am 10.09.2012]

Eilks, I., Fischer, H.E., Hammann, M., Neuhaus, B., Petri, J., Ralle, B., Sandmann, A., Schön, L.-H., Sumfleth, E., Vogt, H. & Bayrhuber, H. (2004). Forschungsergebnisse zur Neugestaltung des Unterrichts in den Naturwissenschaften. In: Bayrhuber, H., Ralle, B., Reis, K., Schön, L.-H., Vollmer, H.J. (Hrsg.): *Konsequenzen aus PISA. Perspektiven der Fachdidaktiken*. 197-215, Innsbruck: StudienVerlag.

Erpenbeck, J. (1997). Selbstgesteuertes, selbstorganisiertes Lernen. In: Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.): Kompetenzentwicklung '97. Münster, New York, München, Berlin, 310-316

Erpenbeck, J., Heyse, V. (1999). Die Kompetenzbiographie: Strategien der Kompetenzentwicklung durch selbstorganisiertes Lernen und multimediale Kommunikation. Münster: Waxmann.

Erpenbeck, J., Heyse, V. (2007). Die Kompetenzbiographie. Wege der Kompetenzentwicklung. Münster: Waxmann.

Erpenbeck, J. & Sauer, J. (2000). Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Lernkultur Kompetenzentwicklung“. In: Arbeitsgemeinschaft Qualifikation- Entwicklungs-Management (Hrsg.). QUEM-Bulletin, 1, 41-43. Berlin.

Verfügbar unter: URL: <http://www.abwf.de/content/main/publik/report/2001/Report-67.pdf#page=9>

[abgerufen: 10.09.2012]

Erpenbeck, J., von Rosenstiel, L. (2003). Handbuch Kompetenzmessung. Stuttgart: Schaffer-Pöschel.

Erpenbeck, J. & Rosenstiel, L. v. (2005). Kompetenz: Modische Worthülse oder innovatives Konzept? *Wirtschaftspsychologie aktuell*, 3, 39-42.

Ertmer, P.A., & Newby, T.J. (1996). The expert learner: Strategic, self-regulated, and reflective. *Instructional Science*, 24, 1-24.

Euler, D. (1994). (Multi-)Mediales Lernen – Theoretische Fundierung und Forschungsstand, *Unterrichtswissenschaft – Zeitschrift für Lernforschung*, 22 (4), 291-311.

Ewert, O. & Thomas, J. (1996). Das Verhältnis von Theorie und Praxis in der Instruktionspsychologie. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D Praxisgebiete, Serie I Pädagogische Psychologie, Band 2 Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 89-118). Göttingen: Hogrefe.

Frey, D. & Greif, S. (Hrsg.). (1994). *Sozialpsychologie*. Weinheim: PVU.

Friedrich, H.F. & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien - ein Problemaufriss. In H. Mandl & H.F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention* (S. 3-54). Göttingen: Hogrefe.

Frischknecht-Tobler, U. & Labudde, P. (2010): Beobachten und Experimentieren. In: Peter Labudde (Hrsg) (2010): Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.-9. Schuljahr. UTB, Haupt Verlag, Bern, Stuttgart, Wien

Gick, M.L., Holyoak, K.J. (1983). *Schema induction and analogical transfer*. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.

Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, 867-888.

Götz, T. (2006). *Selbstreguliertes Lernen. Förderung metakognitiver Kompetenzen im Unterricht der Sekundarstufe*. Donauwörth: Auer Verlag GmbH.

Götz, T., Frenzel, A.C., Pekrun, R. (2009). Psychologische Bildungsforschung. In: Handbuch Bildungsforschung / R. Tippelt & B. Schmidt (Hrsg.). 2., überarbeitete u. erw. Aufl. Wiesbaden: VS, Verlag für Sozialwissenschaften, S. 71-91.

Verfügbar unter: URL:
<http://www.springerlink.com/content/g7413w43gn85g578/fulltext.pdf> [abgerufen am: 20.08.2012]

Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 57, 196-203.

Hammann, M. (2007). Das SDDS Modell. In: *Handbuch der Theorien der Biologiedidaktik*. Springer Verlag.

Hammann, M., Phan, T.T.H., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 59, 292-299.

Hadwin, A.F., & Winne, P.H. (2001). CoNoteS: A software tool for promoting selfregulated learning in networked collaborative learning environment [Special issue]. *Evaluation Research in Education*, 7, 313-334.

Hartig, J. & Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer (Hrsg.), *Leistung und Leistungsdiagnostik* (S. 128-143). Berlin: Springer.

Hartinger, A. & Fölling-Albers, M. (2002). *Schüler motivieren und interessieren. Ergebnisse aus der Forschung. Anregungen für die Praxis*. Bad Heilbrunn:

Klinkhardt.

Hager, W. & Hasselhorn, M. (2000). Interventionen. In: Hager, W./Party J.-L./Brenzing, H. (Hg.): *Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen. Standards und Kriterien. Ein Handbuch*. Bern: Huber.

Hasselhorn, M. (1992). Metakognition und Lernen. In: G. Nolde (Ed.), *Lernbedingungen und Lernstrategien* (S. 35-64). Tübingen: Gunter Narr.

Hasselhorn, M. (1995a). Kognitive Trainings: Grundlagen, Begrifflichkeiten und Desiderate. In W. Hager (Hrsg.), *Programme zur Förderung des Denkens bei Kindern. Konstruktion, Evaluation und Metaevaluation* (S. 41-85). Göttingen: Hogrefe.

Hasselhorn, M. (1995b). Individuelle Differenzen im Bereich des Lernens und des Gedächtnisses. In M. Amelang (Hrsg.), *Verhaltens- und Leistungsunterschiede* (Enzyklopädie der Psychologie, Serie Differentielle Psychologie und Persönlichkeitspsychologie, Bd. 2, S. 435-468). Göttingen: Hogrefe.

Hasselhorn, M. (1996). *Kategoriales Organisieren bei Kindern. Zur Entwicklung einer Gedächtnisstrategie*. Göttingen: Hogrefe.

Hasselhorn, M., & Labuhn, A. S. (2008). Metakognition und selbstreguliertes Lernen. In W. Schneider & Hasselhorn (Eds.), *Handbuch der Pädagogischen*. (S. 28-37). Göttingen: Hogrefe.

Hattie, J., & Jaeger, R. (1998). Assessment and classroom learning: A deductive approach. *Assessment in Education*, 5(1), 111–122.

Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77, 81–112.

Hattie, J. A. (1999, June.). *Influences on student learning* (Inaugural professorial address, University of Auckland, New Zealand).

Verfügbar unter: URL: <http://www.arts.auckland.ac.nz/staff/index.cfm?P=8650>

[abgerufen am 17.03.2010]

Heller, K. A., Gaedicke, A. K., & Weinländer, H. (1985). *Kognitiver Fähigkeitstest KFT 4–12 +*. Weinheim: Beltz.

Hofer, B.K., Yu, S.L. & Pintrich, P.R. (1998). Teaching college students to be self-regulated learners. In D.H. Schunk & B.J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulated learning - From teaching to self-reflective practice* (pp. 57-85). New York: The Guilford Press.

Hüther, G. (2004) *Die Macht der inneren Bilder*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Jacobs, A.M., Hutzler, F., Engl, V. (2006). Dem Geist auf der Spur: Neurokognitive Methoden zur Messung von Lern- und Gedächtnisprozessen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9. Jahrg., Beiheft 5/2006, S. 71-86.

Janoschek, K. (2009). *Empirische Studie zum kumulativen Kompetenzaufbau des Experimentierens mit lebenden Tieren (Asseln)*. Diplomarbeit, Universität Wien. Fakultät für Lebenswissenschaften.

Verfügbar unter: URL: http://othes.univie.ac.at/5759/1/2009-07-06_0109340.pdf

[abgerufen am 10.09.2012]

Jacobs, J.W. & Dempsey, J.V. (1993). Simulation and gaming: Fidelity, Feedback, and Motivation. In J.V. Dempsey & G.O. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 197-228). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

Johnson, D. S., Perlow, R., & Pieper, K. F. (1993). Differences in task performance as a function of type of feedback: Learning-oriented versus performance-oriented feedback. *Journal of Applied Social Psychology*, 23, 303-320.

Kelly, G.A. (1986). *Die Psychologie der persönlichen Konstrukte*. Paderborn: Junfermann.

Kerres, M. (2001). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung*, Oldenbourg Verlag, München.

Klahr, D. (2000). *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery Processes*. MIT Press.

Klahr, D., Fay, A.L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 25, 111-146.

Klauer, K.J. (1988). Teaching for learning-to-learn: A critical appraisal with some proposals. *Instructional Science*, 17, 351-367.

Klieme, E. (2004a). Begründung, Implementation und Wirkung von Bildungsstandards: Aktuelle Diskussionslinien und empirische Befunde. *Zeitschrift für Pädagogik*, 50, 625-634.

Klieme, E. (2004b). Was sind Kompetenzen und wie lassen sie sich messen? *Pädagogik*, 6, 10-13.

Klieme, E., Maag-Merki, K. & Hartig, J. (2007). Kompetenzbegriff und Bedeutung von Kompetenzen im Bildungswesen. In: J. Hartig & E. Klieme (Hrsg.), *Möglichkeiten und Voraussetzungen technologiebasierter Kompetenzdiagnostik* (S. 5-15). Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Klimesch, S. (2009). Kompetenz, Persönlichkeit und Berufserfolg in Zeiten organisatorischen Wandels. Dissertation zur Erlangung des Dr. phil. Wuppertal: 2009.

Verfügbar unter: URL: <http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-1456/db0902.pdf>

[zuletzt abgerufen am 10.09.2012]

Klos, S., Henke, C., Kieren, C., Walpuski, M. und Sumfleth, E. (2008): naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen – zwei verschiedene Kompetenzen. *Zeitschrift für Pädagogik* 3, 304–321.

Verfügbar unter: URL:

http://www.pedocs.de/volltexte/2011/4353/pdf/ZfPaed_2008_3_Klos_Henke_Kieren_Walpuski_Sumfleth_Naturwissenschaftliches_Experimentieren_D_A.pdf

[zuletzt abgerufen am 10.09.2012]

Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119, 254-284.

Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1998). Feedback interventions: Toward the understanding of a double-edged sword. *Current Directions in Psychological Science*, 7, 67-72.

KMK (2004). Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004).

Verfügbar unter: URL: http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Biologie_MSA_16-12-04.pdf

[zuletzt abgerufen am 10.09.2012]

KMK – Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.

KMK – Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.

KMK – Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.

Kozma, R.B. (1987). *The implications of cognitive psychology for computer-based learning tools*, Educational Technology, 27 (11), 20-25.

Krause, U.-M., Stark, R. & Mandl, H. (2004). Förderung des computerbasierten Wissenserwerbs durch kooperatives Lernen und eine Feedbackmaßnahme. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 18, 125-136.

Kulhavy, R. W. (1977). Feedback in written instruction. *Review of Educational Research*, 47, 211-232.

Kulhavy, R. W., & Stock, W. A. (1989). Feedback in written instruction: The place of response certitude. *Educational Psychology Review*, 1, 279-308.

Kulhavy, R. W. & Wager, W. (1993). Feedback in programmed instruction: Historical context and implications for practice. In J. V. Dempsey & G. C. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 3–20). Englewood Cliffs: Educational Technology Publications.

Künsting, J. (2007). *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren* (Dissertationsschrift). Universität Duisburg-Essen, Fachbereich Bildungswissenschaften, Essen.

Verfügbar unter: URL: http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-18503/Diss_Josef_K%C3%BCnsting_07.12.2007.pdf

[abgerufen am: 20.08.2012]

Labuhn, A. S. (2008). *Förderung selbstregulierten Lernens im Unterricht: Herausforderungen, Ansatzpunkte, Chancen* (Enhancing selfregulated learning in a classroom context: An investigation of different approaches). Göttingen: Niedersächsische Staats- und

Universitätsbibliothek Göttingen.

Verfügbar unter: URL: <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2008/labuhn/labuhn.pdf>

[abgerufen am: 20.08.2012]

Lan, W.Y. (1998). Teaching self-monitoring skills in statistics. In D.H. Schunk & B.J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulated learning. From teaching to self-reflective practice* (pp. 86-105). New York: Guilford.

Lang, N. (2002). Lernen in der Informationsgesellschaft - Mediengestütztes Lernen im Zentrum einer neuen Lernkultur. In K. Scheffer & F.W. Hesse (Hrsg.), *E- Learning: Die Revolution des Lernens gewinnbringend einsetzen* (S. 23-42). Stuttgart: Klett-Cotta.

Lang-von Wins, T. (2003). Die Kompetenzhaltigkeit von Methoden moderner psychologischer Diagnostik-, Personalauswahl- und Arbeitsanalyseverfahren sowie aktueller Management-Diagnostik-Ansätze. In J. Erpenbeck & L.v. Rosenstiel, *Handbuch Kompetenzmessung* (S. 585-618). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

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* (S. 268-288). Münster: Waxmann.

Leutner, D. & Leopold, C. (2002). Selbstreguliertes Lernen: Lehr- /Lerntheoretische Grundlagen. In U. Witthaus, W. Wittwer & C. Espe (Hrsg.), *Selbstgesteuertes Lernen – Theoretische und praktische Zugänge* (S. 43-67). Bielefeld: Bertelsmann.

Lin, X. & Lehman, J. D. (1999). Supporting learning of variable control in a computerbased biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (7), 837 - 858.

Lindenberger, U. (2000). Intellektuelle Entwicklung über die Lebensspanne: Überblick und ausgewählte Forschungsbrennpunkte. *Psychologische Rundschau*, 51 (3), 135-145.

Mahner, M. & Bunge, M. (2000): *Philosophische Grundlagen der Biologie*. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Mailand, Paris, Sinagpur, Tokyot: Springer.

Maier-Richter, A. (2005). *Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen.

Verfügbar unter: URL:

<http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate13228/DissertationMaierRichterEnd.pdf>

[abgerufen am: 20.08.2012]

Manlove, S., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2007). Software scaffolds to promote regulation during scientific inquiry learning. *Metacognition and Learning*, 2, 141–155.

McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for 'intelligence'. *American Psychologist*, 28, 1-14.

Marschner, J. (2011). *Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren*. Diss. Universität Duisburg-Essen.

Verfügbar unter: URL: http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-27679/Diss_Marschner.pdf

[abgerufen am: 20.08.2012]

Marschner, J., Thillmann, H., Wirth, J. & Leutner, D. (2012): Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern? Ein Vergleich verschieden gestalteter Prompts. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, Schwerpunkt, 1-17.

Mason, B.J. & Bruning, R. (2001). *Providing feedback in computer-based instruction: What research tells us*. Center for Instructional Innovation, University of Nebraska-Lincoln. Verfügbar unter: URL:

<http://dwb.unl.edu/Edit/MB/MasonBruning.html>

[abgerufen am: 20.06.2011]

Mayer, R.E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition*. New York: Freeman.

Mayer, R.E., Mautone, P. & Prothero, W. (2002). Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game. *Journal of Educational Psychology*, 94, 171-185.

Mayer, R.E., & Moreno, R. (1998). A split attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, 90, 312-320.

Mayer, R.E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 43-52.

Mayer, J., Keiner, K., Ziemek, H.P. (2003). Naturwissenschaftliche Problemlösekompetenz im Biologieunterricht. In: Bauer, A. et al. (Hrsg.). *Entwicklung von Wissen und Kompetenzen im Biologieunterricht*. IPN, Berlin Kiel, 21-24.

McCrae, R.R., Costa, P.T. (1991). *The NEO Personality Inventory: Using the five-factor model in counseling*. *Journal of Counseling and Development*, 69, 367-372.

Mory, E. H. (2004). Feedback research review. In D. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 745–783). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99-113.

Müller, K. (2009). *Der pragmatische Konstruktivismus. Ein Modell zur Überwindung des Antagonismus von Instruktion und Konstruktion*. In: Meixner, J. & Müller K. (Hrsg.): *Konstruktivistische Schulpraxis*. Weinheim: Beltz. 3-47

Müller, Chr. (2004): *Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht*. Berlin: Logos.

Musch, J. (1999). Die Gestaltung von Feedback in computergestützten Lernumgebungen: Modell und Befunde. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 13, 148-160.

Narciss, S. (2001). *Informative feedback as a bridge from instruction to learning in computerbased trainings*. Paper presented at the 9th European Conference for Research on Learning and Instruction, Fribourg, CH.

Narciss, S. (2006). *Informatives tutorielles Feedback*. Münster: Waxmann.

Narciss, S. & Huth, K. (2004). How to design informative tutoring feedback for multimedia learning. In H.M. Niegemann, D. Leutner, R. Brünken (Eds), *Instructional design for multimedia learning* (pp. 181-195). Münster, New York: Waxmann.

OECD (2004). *Learning for Tomorrow's World: First Results from PISA 2003*. Programme for International Student Assessment.

Oser, F. & Spychiger, M. (2005). *Lernen ist schmerzhaft. Zur Theorie des Negativen Wissens und zur Praxis der Fehlerkultur*. Weinheim: Beltz.

Oser, F. & Hascher, T. (1997). Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des „negativen Wissens“. *Schriftenreihe zum Projekt „Lernen Menschen aus Fehlern? Zur Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule“; Heft 1* (Nr. 1). Päd. Institut der Universität Freiburg.

Oser, F., Hascher, T. & Spychiger, M. (1999). Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des «negativen Wissens». In W. Althof (Hrsg.), *Fehlerwelten* (S. 11-41). Opladen: Leske + Budrich.

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, Heft 2* (Nr. 2). Päd. Institut der Universität Freiburg.

Osten, M. (2006). *Die Kunst, Fehler zu machen*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.

Oser, F. (2009). *Aus Fehlern lernen*. profi-L, 01/09, Bern: Schulverlag blmv AG.

Oser, F. (2007): Aus Fehlern lernen. In: Göhlich, Michael/Wulf, Christoph/Zirfas, Jörg (Hrsg.): *Pädagogische Theorien des Lernens*. Weinheim, Basel: Beltz, S. 203-212.

Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., van Gerven, P.W.M. (2003). *Cognitive Load Measurement as a means to advance cognitive load theory*, *Educational Psychologist*, 38, 63-71.

Pajares, F. (2008). Motivational role of self-efficacy beliefs in self-regulated learning. In D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Eds.), *Motivation and self-regulated learning: Theory, research, and applications* (pp. 111–139). New York: Lawrence Erlbaum Associates.

Paris, S.G., Lipson, M.Y. & Wixon, K.K. (1983). Becoming a strategic reader. *Contemporary Educational Psychology*, 8, 293-316.

Perels, F., Gürtler, T. & Schmitz, B. (2005). Training of self-regulatory and problem-solving competence. *Learning and Instruction*, 15, 123-139.

Perkins, D. (1998). What is understanding? In M.S. Wiske (Ed.), *Teaching for understanding: Linking research with practice* (pp. 39-58). San Francisco: Jossey-Bass.

Phan, T.T.H. (2007) Testing levels of competencies in biological experimentation. Kiel, (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Dissertation. Verfügbar unter: URL:

http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_2130

[abgerufen am: 20.08.2012]

Popper, K.R. (1935). *Logik der Forschung*. 2. Aufl., Wien, Tübingen.

Preksy, M. (2001a). Digital natives, digital immigrants. *On the Horizon*, 9, 5, 1–6.

Preksy, M. (2001b). Digital natives, digital immigrants, part II. Do they really think differently? *On the Horizon*, 9, 6, 1–6.

Preksy, M. (2005a). Engage me or enrage me. *EDUCASE Review*, 40, 5, September/October, 61–64.

Pressley, M., Borkowski, J.G. & Schneider, W. (1987). Cognitive strategies: Good strategy users coordinate metacognition and knowledge. In R. Vasta & G. Whilehurst (Eds.), *Annals of child development* (Vol. 4, pp. 80-129). Greenwich, CT: JAI Press.

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.

Quilici, J.L., Mayer, R.E. (1996). *Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems*, *Journal of Educational Psychology*, 88, 144-161.

Rammstedt, B., & John, O. P. (2005). Kurzversion des Big Five Inventory (BFI-K): Entwicklung und Validierung eines ökonomischen Inventars zur Erfassung der fünf Faktoren der Persönlichkeit. *Diagnostica*, 51, 195–206.

Rammstedt, B., Kemper, C.J., Klein, M.C, Beierlein, C. & Kovaleva, A. (2012). *Eine kurze Skala zur Messung der fünf Dimensionen der Persönlichkeit: Big-Five-Inventory-10 (BFI-10)*. Verfügbar unter: URL:

http://www.gesis.org/fileadmin/upload/forschung/publikationen/gesis_reihen/gesis_arbeitsberichte/WorkingPapers_2012-23.pdf

[abgerufen am: 20.08.2012]

Ramseger, J. (2009): Experimente, Experimente! Was lernen Kinder im naturwissenschaftlichen Unterricht? In: *Die Grundschulzeitschrift*. 225.226 / 2009

Verfügbar unter: URL: <http://tinyurl.com/Ramseger-Experimente>

[abgerufen am: 20.08.2012]

Reed, S.K., Bolstad, C.A. (1991). *The use of examples and procedures in problem solving*, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 17, 753-766.

Reimann, P. (1997). *Lernprozesse beim Wissenserwerb aus Beispielen. Analyse, Modellierung, Förderung*, Verlag Hans Huber, Bern.

Renkl, A. (1996). *Lernen durch Erklären – oder doch besser durch Zuhören?* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 28, 148-168.

Renkl, A. (1997a). *Learning from worked-out examples: A study on individual differences*, Cognitive Science, 21, 1-29.

Renkl, A. (1997b). *Lernen durch Lehren. Zentrale Wirkmechanismen beim kooperativen Lernen*, DUV, Wiesbaden.

Renkl, A. (1997c). *Lernen durch Erklären: Was, wenn Rückfragen gestellt werden?* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 11, 41-51.

Renkl, A. (2002). *Worked-out examples: Instructional explanations support learning by self-explanations*, Learning and Instruction, 12, 529-556.

Renkl, A., Atkinson, R.K. (2002). *Learning from examples: Fostering self-explanations in computer-based learning environments*, Interactive learning environments, 10, 105-119.

Renkl, A., Gruber, H., Weber, S., Lerche, T., Schweizer, K. (2003). *Cognitive Load beim Lernen aus Lösungsbeispielen*, Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 17 (2), 93-101.

Renkl, A., Stark, R., Gruber, H., Mandl, H. (1998). *Learning from worked-out examples: The effects of example variability and elicited self-explanations*, Contemporary Educational Psychology, 23, 90-108.

Renkl, A., Schworm, S. (2002). *Lernen mit Lösungsbeispielen zu lehren*, in Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, na-

turwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft, S. 259-270.

Rost, D.H., Narciss, S. (2006). Informatives Feedback: Entwicklung- und Evaluations-Prinzipien auf der Basis instructions-psychologischer Erkenntnisse. Waxmann: Münster.

Roth, G. (2004). Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? *Zeitschrift für Pädagogik* 50, 4, S. 496-506

Roth, G. (2009). Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? In U. Herrmann, *Neurodidaktik: Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. Weinheim, Basel: Beltz.

Sadler, R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. *Instructional Science*, 18, 119-144.

Schaper, N. (2004). Förderung und Evaluation von Transfer bei computer- und netzbasierten Lernszenarien. In D. Meister (Hrsg.), *Online- Lernen und Weiterbildung* (S. 105-136). Leverkusen: Leske + Budrich.

Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K. & Reiner, M. (1991a). Causal models and experimentation strategies in scientific reasoning. *The Journal of the Learning Sciences*, 1, 201-239.

Schauble, L., Klopfer, L.E. & Raghavan, K. (1991b). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 859-882.

Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R.A., Schulze, S. & John, J. (1995). Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 131-166.

Schiefele, U. & Pekrun, R. (1996). Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In F.E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Pädagogische Psychologie: Bd. 2. Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 249-278). Göttingen: Hogrefe.

Schmitz, B. (2003). Selbstregulation - Sackgasse oder Weg mit Forschungsperspektive? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 221-232.

Schmitz, B. (2001). Self-monitoring zur Unterstützung des Transfers einer Schulung in Selbstregulation für Studierende. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 181-197.

Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, 26, 113-125.

Schreiber, B. (1998). *Selbstreguliertes Lernen. Entwicklung und Evaluation von Trainingsansätzen für Berufstätige*. Münster: Waxmann.

Schulmeister, R. (2002). Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie – Didaktik – Design, Oldenbourg Verlag, München.

Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (Hrsg.) (1999). *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen*. Berlin: Freie Universität Berlin.

Verfügbar unter: URL: <http://userpage.fu-berlin.de/~health/germscal.htm>

[Abgerufen am 10.09.2009]

Schwarzer, R., Mueller, J. & Greenglass, E. (1999). Assessment of perceived general self-efficacy on the Internet: Data collection in cyberspace. *Anxiety, Stress, and Coping*, 12, 145-161.

Schworn, S. & Renkl, A. (2006). Computer-supported example-based learning: When instructional explanations reduce self-explanations. *Computers and Education*, 46, 426-445.

Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78, 153–189.

Spitzer, M. (2002). *Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Spörer, N. & Brunstein, J. C. (2006). Erfassung selbstregulierten Lernens mit Selbstberichtsverfahren: Ein Überblick zum Stand der Forschung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20, 147-160.

Spychiger, M., Oser, F., Hascher, T., Mahler, F. (1999). *Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule*. In: Althof, W. (Hg.), Fehlerwelten. Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern. Opladen.

Spychiger, M., Kuster, R., & Oser, F. (2006). Dimensionen von Fehlerkultur in der Schule und deren Messung. Der Schülerfragebogen zur Fehlerkultur im Unterricht für Mittel- und Oberstufe. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften* 28 (2006) 1, 87-110.

Staudinger, U. M. (2000). Eine Expertise zum Thema "lebenslanges Lernen" aus der Sicht der Lebensspannen-Psychologie. In F. Achtenhagen & W. Lempert (Hrsg.), *Lebenslanges Lernen im Beruf - seine Grundlegung im Kindes- und Jugendalter. Band 3: Psychologische Theorie, Empirie und Therapie* (S. 90- 110). Opladen: Leske + Budrich.

Staemmler, D. (2006). *Lernstile und interaktive Lernprogramme*. Deutscher Universitätsverlag.

Stark, R. (1999). *Lernen mit Lösungsbeispielen*, Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen.

Stern, E. (2004). Wie viel Hirn braucht die Schule? Chancen und Grenzen einer neuropsychologischen Lehr-Lern-Forschung. *Zeitschrift für Pädagogik* 50 (2004) 4, S. 531-538

Streblow, L. & Schiefele, U. (2006). Lernstrategien im Studium. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 352-364). Göttingen: Hogrefe.

Sweller, J. (1988). *Cognitive Load during problem solving: Effects on learning*, *Cognitive Science*, 12, 257-285.

Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.

Sweller, J., Cooper, G.A. (1985). *The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra*, *Cognition and Instruction*, 2, 59-89.

Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G., PAAS, F. (1998). *Cognitive Architecture and Instructional Design*, *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.

Tarmizi, R.A., Sweller, J. (1988). *Guidance during mathematical problem solving*, *Journal of Educational Psychology*, 80, 424-436.

Teigen, K.H. (1994). Yerkes-Dodson: A law for all seasons, *Theory and Psychology*, 4,

Thillmann, H. (2008). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung*. Diss. Universität Duisburg-Essen.

Verfügbar unter: URL: http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-18970/Dissertation_Thillmann_online-Version.pdf

[abgerufen am: 20.08.2012]

Thorndike, E. L. (1898). *Animal Intelligence: An Experimental Study of the Associative Processes in Animals* (Psychological Review, Monograph Supplements No. 8). New York, NY: Macmillan.

Thorndike, E. L. (1911). *Animal intelligence*. New York, NY: Macmillan.

Thorndike, E. L. (1932). *The fundamentals of learning*. New York, NY: Teachers College.

Tuten, T. L., Urban, D. J., & Bosnjak, M. (2002). Internet surveys and data quality: A review. In B. Batinic, U-D. Reips and M. Bosnjak (Eds.), *Online social sciences* (pp. 7–26). Seattle: Hogrefe and Huber.

Tyroller, M. (2005). Effekte metakognitiver Prompts beim computerbasierten Statistikkennen. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München.

Verfügbar unter: URL: http://edoc.ub.uni-muenchen.de/5514/1/Michael_Tyroller.pdf

[Abgerufen am: 10.03.2012]

Vasilyeva, E., Puuronen, S., Pechenizkiy, M. & Räsänen, P. (2007). Feedback adaptation in web-based learning systems. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 17, 337-357.

van den Boom, G., Paas, F., van Merriënboer, J.J.G. & van Gog, T. (2004). Reflection prompts and tutor feedback in a web-based learning environment: effects on students' self-regulated learning competence. *Computers in Human Behavior*, 20, 551-567.

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 Merriënboer, J. J. G. & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17, 147–177.

Veenman, M.V.J. (1993). *Metacognitive ability and metacognitive skill: Determinants of discovery learning in computerized learning environments*. Amsterdam: University of Amsterdam.

Veenman, M.V.J., Elshout, J.J. & Busato, V.V. (1994). Metacognitive mediation in learning with computer-based simulations. *Computers in Human Behavior*, 10, 93-106.

Veenman, M.V.J., Elshout, J.J. & Meijer, J. (1997). The generality vs domain specificity of metacognitive skills in novice learners across domains. *Learning and Instruction*, 7, 187-209.

Veenman, M.V.J., Kerseboom, L. & Imthorn, C. (2000). Test anxiety and metacognitive skilfulness: Availability versus production deficiencies. *Anxiety, Stress, and Coping*, 13, 391-412.

Veenman, M.V.J., Kok, R. & Blöte, A.W. (2005). The relation between intellectual and metacognitive skills in early adolescence. *Instructional Science*, 33, 193-211.

Veenman, M.V.J., van Hout-Wolters, B.H.A.M. & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1, 3-14.

Veenman, M.V.J., van Hout-Wolters, B.H.A.M. & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1, 3-14.

Ward, M., Sweller, J. (1990). *Structuring effective worked examples*, Cognition and Instruction, 7, 1-39.

Wason, P.C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.

Wehner, T. (1992). Sicherheit als Fehlerfreundlichkeit. Arbeits- und sozialpsychologische Befunde für eine kritische Technikbewertung. Opladen: Westdeutscher Verlag.

Weinert, F. E. (2001a). Concept of competence: a conceptual clarification. In D. S. Rychen & L. H. Salganik (Eds.), *Defining and selecting key competencies* (pp. 45-65). Seattle: Hogrefe & Huber Publishers.

Weinert, F. E. (2001b). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen: Eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 17-31). Weinheim: Beltz.

Weinert, F. E. [Hrsg.]. (2001c). *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.

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., & Perry, N.E. (2000). Measuring self-regulated learning. In M. Boekaerts & P.R. Pintrich (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 531-566). San Diego: Academic Press.

Winters, F.I., Greene, J.A. & Costich, C.M. (2008). Self-regulation of learning within computer-based learning environments: A critical analysis. *Educational Psychology Review*, 20, 429-444.

Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen*. Münster: Waxmann.

Wirth, J. (2009). Promoting self-regulated learning through prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 91-94.

Wirth, J. & Leutner, D. (2008). Self-regulated learning as a competence. Implications of theoretical models for assessment methods. *Zeitschrift für Psychologie/Journal of Psychology*, 216, 102-110.

Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In H. Mandl & H.F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien*, 172-184, Göttingen: Hogrefe.

Wirth, J., Leutner, D. & Fischer, H. E. (2006). TP 3: Diagnose und Förderung von Lernprozessen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In H. E. Fischer et al., *Forschergrup-*

pe & Graduiertenkolleg Naturwissenschaftlicher Unterricht NWU Essen – Anträge zur Fortsetzung 2006-2009.

Wulf, G., Shea, C.H. (2002). *Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skills learning*, *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 185-211.

Zimmerman, B. J. (1989a). A social cognitive view of self-regulated learning. *Journal of Educational Psychology*, 82, 297–306.

Zimmerman, B. J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: An overview. *Educational Psychologist*, 25, 3–17.

Zimmerman, B. J. (1995b). Self-regulation involves more than metacognition: A socialcognitive perspective. *Educational Psychologist*, 29, 217–221.

Zimmerman, B.J. (1998). Developing self-fulfilling cycles of academic regulation: An analysis of exemplary instructional models. In D.H. Schunk & B.J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulated learning - From teaching to self-reflective practice* (pp. 1-19). New York: The Guilford Press.

Zimmerman, B. J. (2000a). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13-39). San Diego, CA: Academic Press.

Zimmerman, B. J. (2000b). Self-regulatory cycles of learning. In G. A. Straka (Ed.), *Conceptions of self-directed learning* (pp. 221-234). Munster: Waxmann.

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: an overview. *Theory into Practice*, 41, 64-70.

Zimmerman, B. J. (2008). Investigating self-regulation and motivation: historical background, methodological developments, and future prospects. *American Educational Research Journal*, 45, 166-183.

A Anhang

10.1 A.0 Tabellen

Tabelle zu den Regressionsschritten 3 und 4 (Aufgabenebene (prozessbezogene methodische Kompetenzen))

Tabelle 18: Regressionsschritte 3 und 4 zum Aufzeigen von Kovariaten und Moderatorvariablen auf der Aufgabenebene (prozessbezogene methodische Kompetenzen)

Kovariate	Step	be- ta_ CoV	wo bleibt null	warum bleibt null	IA bleibt minus (p2s<.10)	UV1*Co v	UV2*Co v	UV1*UV 2*Cov	Erläuterung
BIG5_G	als COV (3)	.148	j	j	j				
	als MOD (4)					0	0	0	
BIG5_O	als COV (3)	.120	j	j	j				
	als MOD (4)					0	0	0	
sex (2=w)	als COV (3)	.041	j	j	j				
	als MOD (4)					0	0	0	
Bionote (hoch= schlecht)	als COV (3)	-.149	j	j	j				
	als MOD (4)					0	beta= +.089 p2s=.08 6	0	Gute Schüler lernen in „Warum“ weniger
Hamm_I	als COV (3)	.062	j	j	j				
	als MOD (4)					0	0	0	
Hamm_W	als COV (3)	.053	j	j	j				
	als MOD (4)					beta= - .102 p2s=.04 3	0	0	
Hamm_F	als COV (3)	.067	j	j	j				
	als MOD (4)					beta= -.085 p2s=.09	0	beta= - .098 p2s=.05 1	Fs in Was & in KG&Kombi weniger als erwartet
SRLGesamt	als COV (3)	.211	j	j	j				
	als MOD (4)					0	0	0	
KFT_IQ	als COV (3)	.152	j	j	j				

	als MOD (4)					beta= -.124 p2s=.01 2	beta= - .085 p2s=.09	0	IQ`s weniger gain...
T2UMFehl	als COV (3)	.176	j	j	j				
	als MOD (4)					0	0	0	
Selbst- wirksam- keit	als COV (3)	-.007	j	j	j				
	als MOD (4)					0	0	beta= - .090 p2s=.07 7	SWS in KG/Kombi weniger als erwartet
Interventions-Lesezeit, pro Zelle z-standardisiert, daher keine Cov-Funktion									
	als MOD (4)	.200*	j	j	j	0	0	0	
		niemand				nie konform, HAMM W & F und IQ schwächen wo-treatment auf AV1			

Tabelle zu den Regressionsschritten 3 und 4 (strategische Ebene)

Tabelle 19: Regressionsschritte 3 und 4 zum Aufzeigen von Kovariaten und Moderatorvariablen

Co- variate	Step	be- ta_C oV	wo bleibt Null	warum bleibt Null	IA bleibt Null	UV1 *Cov	UV2*Co v	UV1*UV2* Cov	Kommentare
BIG5_G	als COV (3)	- .001	j	j	j				
	als MOD (4)					0	beta= +.09, p2s=.09 4	0	Gewissenhafte sind in den zwei „Warum“- Bedingungen nicht schlechter, Spontane schon.
BIG5_O	als COV (3)	.115	j	j	j				
	als MOD (4)					0	0	0	
sex (2=w)	als COV (3)	.058	j	j	j				

als MOD (4)	.178	j	j	j	0	0	beta - .096, p2s=.057	lange Lesende in KG/Kombi weni- ger Gain
-------------------	------	---	---	---	---	---	-----------------------------	--

10.2 A.1 Ideen bei der Entwicklung von Distraktoren

10.2.1 Aufgabentyp: Hypothesenbildung (zweifaktoriell)

Level 1. Ziel des Experiments ist es, Effekte zu erzielen (Samen zum Auskeimen bringen) etc. anstatt Ursachen zu erklären.

Level 2 Es werden zwar Faktoren benannt, aber die Faktoren lassen sich mit dem Experiment nicht überprüfen. Es können ausschließlich Faktoren benannt worden sein, die sich in dem Experiment nicht testen lassen (2a) oder zusätzlich zu den Faktoren, die getestet werden können, auch Faktoren, die nicht getestet werden können (2b).

Level 3: Es werden die beiden richtigen Faktoren benannt, die in dem vorliegenden zweifaktoriellen Experiment getestet werden können.

10.2.2 Aufgabentyp Datenanalyse in zweifaktoriellen Experimenten

Level 1. Die Datenanalyse erfolgt effektgeleitet, das heißt das Experiment wird als gescheitert dargestellt, da ein vermutlich erwünschter Effekt nicht eintrat.

Level 2. Die Datenanalyse erfolgt in unlogischer Art und Weise. Es werden beispielsweise Faktoren benannt, die gar nicht getestet wurden. Es können auch irrelevante Faktoren für das Phänomen verantwortlich gemacht werden; relevante Faktoren können als irrelevant angesehen werden. Wird keiner der Faktoren richtig interpretiert, liegt 2a vor. Wird hingegen ein Faktor richtig erkannt, der andere hingegen nicht, liegt 2b vor.

Level 3 Die Datenanalyse erfolgt logisch korrekt. Es werden die beiden Faktoren richtig erkannt.

10.2.3 Aufgabentyp Planung zweifaktorieller Experimente

Level 1 Es werden ausschließlich Ansätze gewählt, bei denen keine der vorgegebenen Hypothesen getestet werden kann.

Level 2 Es werden Ansätze gewählt, bei denen lediglich eine der vorgegebenen Hypothesen getestet werden kann.

Level 3 Es werden Ansätze gewählt, bei denen beide vorgegebenen Hypothesen getestet werden können.

10.3 A.2 Fragebögen

10.3.1 Erfahrungen mit dem Biologie-Unterricht

Instruktion:

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf deine persönlichen Erfahrungen mit dem Biologieunterricht. Bitte kreuze auf der Skala an, wie sehr jede Aussage für dich persönlich zutrifft oder nicht.

	Trifft genau zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
Ich kenne den Begriff Kontrollansatz.		④ ③	② ①	
Ich kann einen Kontrollansatz selbständig (ohne die Hilfe anderer) planen.		④ ③	② ①	
Ich kenne den Begriff Versuchsreihe.		④ ③	② ①	

Ich kann eine Versuchsreihe selbständig planen.	④ ③ ② ①
Ich kenne den Begriff Testvariable.	④ ③ ② ①
Ich kann Testvariablen selbständig identifizieren.	④ ③ ② ①
Ich kenne den Begriff Hypothese.	④ ③ ② ①
Ich kann eine Hypothese selbständig aufstellen.	④ ③ ② ①
Ich kann nach einem Experiment neue Hypothesen aufstellen.	④ ③ ② ①
Ich erkenne Fehler in einem Experiment.	④ ③ ② ①
Im Unterricht machen wir häufig selber Experimente.	④ ③ ② ①
Ich kann die Ergebnisse eines Experiments selbständig erklären.	④ ③ ② ①
Ich kann ein Experiment selbständig planen.	④ ③ ② ①
Meistens machen wir Experimente im Unterricht selbst.	④ ③ ② ①
Ich weiß immer, was mit einem Experiment untersucht wird.	④ ③ ② ①
Wir sprechen im Unterricht viel über Experimente.	④ ③ ② ①
Unsere Lehrkraft lässt uns meistens Experimente selbständig planen.	④ ③ ② ①
Unsere Lehrkraft sagt uns immer, warum wir ein Experiment machen.	④ ③ ② ①

Nach einem Experiment gibt unsere Lehrkraft uns viel Zeit, um über Ergebnisse zu diskutieren.	④ ③ ② ①
Im Unterricht wird auf die Unterscheidung von Beobachtung und Interpretation beim Experimentieren geachtet.	④ ③ ② ①

Hier sind noch ein paar Aussagen zum Experimentieren. Gib auch hier an, inwiefern du diesen Aussagen zustimmst.

	Trifft genau zu Trifft eher zu Trifft eher nicht zu Trifft gar nicht zu
Im Unterricht wird darauf geachtet, dass wir vor der Durchführung von Experimenten Vorhersagen machen.	④ ③ ② ①
Im Unterricht wird darauf geachtet, dass wir beim Experimentieren genau beobachten.	④ ③ ② ①
Im Unterricht wird darauf geachtet, dass wir Daten sorgfältig analysieren.	④ ③ ② ①
Im Unterricht wird darauf geachtet, dass Fehler beim Experimentieren beachtet und diskutiert werden.	④ ③ ② ①
In Unterricht wird darauf geachtet, dass wir Daten aus Experimenten grafisch darstellen.	④ ③ ② ①

10.3.2 Selbstwirksamkeitserwartung

	stimmt nicht	stimmt kaum	stimmt eher	stimmt genau
Wenn sich Widerstände auftun, finde ich Mittel und Wege, mich durchzusetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In unerwarteten Situationen weiß ich immer, wie ich mich verhalten soll.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch bei überraschenden Ereignissen glaube ich, dass ich gut mit ihnen zurechtkommen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwierigkeiten sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Was auch immer passiert, ich werde schon klarkommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für jedes Problem kann ich eine Lösung finden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn eine neue Sache auf mich zukommt, weiß ich, wie ich damit umgehen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ein Problem auftaucht, kann ich es aus eigener Kraft meistern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10.3.3 EEST-2

Darstellung des EEST-2 (Marschner, 2010) in der dem computerbasierten Lernprogramm zugrunde liegenden Papiervariante.

<p>1. Du hast zwei Gesichtscremes, Creme A und Creme B. Nur eine der beiden Cremes wirkt gegen Pickel. Du möchtest herausfinden, welche Creme gegen Pickel wirkt.</p> <p><i>Dir fallen dazu folgende Ideen ein, die du experimentell überprüfen möchtest. Bewerte die Ideen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p>	
A.	<p>Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel. <input type="checkbox"/></p> <hr/> <p>Creme A wirkt besser gegen Pickel als Creme B. <input checked="" type="checkbox"/></p>
B.	<p>Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel. <input checked="" type="checkbox"/></p> <hr/> <p>Weder Creme A noch Creme B wirkt gut gegen Pickel. <input type="checkbox"/></p>
C.	<p>Creme A wirkt besser gegen Pickel als Creme B. <input checked="" type="checkbox"/></p> <hr/> <p>Weder Creme A noch Creme B wirkt gut gegen Pickel. <input type="checkbox"/></p>

<p>2. Du hattest ursprünglich die Idee, dass alle Metalle von Magneten angezogen werden. Nun hast du bei mehreren Experimenten beobachtet, dass das Metall Aluminium nicht von Magneten angezogen wird. Welche Schlussfolgerung ziehst du daraus?</p> <p><i>Dir fallen folgende Schlussfolgerungen ein. Bewerte die Schlussfolgerungen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p>	
<p>A. Ich bleibe bei meiner ursprünglichen Idee. Bei der Durchführung der Experimente habe ich bestimmt nur einen Fehler gemacht.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Ich bleibe bei meiner ursprünglichen Idee. Nur wenn ich noch mehr Metalle neben Aluminium finde, die nicht angezogen werden, ändere ich sie.</p>	<input type="checkbox"/>
<p>B. Ich bleibe bei meiner ursprünglichen Idee. Bei der Durchführung der Experimente habe ich bestimmt nur einen Fehler gemacht.</p>	<input type="checkbox"/>
<p>Ich ändere meine Idee. Die Ergebnisse der Experimente sprechen gegen meine ursprüngliche Idee.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>C. Ich bleibe bei meiner ursprünglichen Idee. Nur wenn ich noch mehr Metalle neben Aluminium finde, die nicht angezogen werden, ändere ich sie.</p>	<input type="checkbox"/>
<p>Ich ändere meine Idee. Die Ergebnisse der Experimente sprechen gegen meine ursprüngliche Idee.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>

<p>3. Du möchtest durch Experimente herausfinden, wie die Stromstärke mit dem Durchmesser und der Länge eines Kupferdrahtes zusammenhängt. (Die Spannung ist dabei in jedem Experiment konstant.) Wie gestaltest du deine Experimente?</p> <p><i>Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein. Bewerte die Vorgehensweisen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p>	
<p>A.</p> <p>Ich messe die Stromstärke bei gleich langen Kupferdrähten mit verschiedenen Durchmessern und dann bei verschieden langen Kupferdrähten mit gleichem Durchmesser.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Ich messe die Stromstärke bei verschiedenen Kupferdrähten, die sich in ihrer Länge und ihrem Durchmesser unterscheiden. Aus den Ergebnissen versuche ich Zusammenhänge zu erkennen.</p>	<input type="checkbox"/>
<hr/>	
<p>B.</p> <p>Ich messe die Stromstärke bei gleich langen Kupferdrähten mit verschiedenen Durchmessern und dann bei verschieden langen Kupferdrähten mit gleichem Durchmesser.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Ich messe die Stromstärke bei einem dünnen langen Kupferdraht und dann messe ich die Stromstärke bei einem dicken kurzen Kupferdraht.</p>	<input type="checkbox"/>
<hr/>	
<p>C.</p> <p>Ich messe die Stromstärke bei verschiedenen Kupferdrähten, die sich in ihrer Länge und ihrem Durchmesser unterscheiden. Aus den Ergebnissen versuche ich Zusammenhänge zu erkennen.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Ich messe die Stromstärke bei einem dünnen langen Kupferdraht und dann messe ich die Stromstärke bei einem dicken kurzen Kupferdraht.</p>	<input type="checkbox"/>

<p>4. Du hast Staub- und Zahnpastaflecken in der Kleidung. Du willst durch Experimente herausfinden, welcher Fleck sich durch warmes Wasser und welcher sich durch Seife entfernen lässt.</p> <p><i>Dir fallen dazu folgende Ideen ein, die du experimentell überprüfen möchtest. Bewerte die Ideen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p>	
<p>A. Staub- oder Zahnpastaflecken können entweder durch warmes Wasser oder durch Seife entfernt werden.</p>	<input type="checkbox"/>
<p>Staubflecken können durch warmes Wasser und Zahnpastaflecken durch Seife entfernt werden.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<hr/>	
<p>B. Staub- oder Zahnpastaflecken können entweder durch warmes Wasser oder durch Seife entfernt werden.</p>	<input type="checkbox"/>
<p>Staubflecken können durch warmes Wasser entfernt werden, Zahnpastaflecken entweder durch warmes Wasser oder Seife.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<hr/>	
<p>C. Staubflecken können durch warmes Wasser und Zahnpastaflecken durch Seife entfernt werden.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Staubflecken können durch warmes Wasser entfernt werden, Zahnpastaflecken entweder durch warmes Wasser oder Seife.</p>	<input type="checkbox"/>

<p>5. Du möchtest durch Experimente herausfinden, wie Brennweite, Bildgröße und Gegenstandsweite einer Sammellinse zusammenhängen. Wie gehst du vor, um möglichst viel über diesen bestimmten Zusammenhang zu lernen?</p> <p><i>Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein. Bewerte die Vorgehensweisen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p>	
<p>A.</p> <p>Ich notiere die Ergebnisse meiner Experimente. Dann ziehe ich daraus eine Schlussfolgerung und halte diese schriftlich fest.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Ich notiere die Ergebnisse nicht, sondern mache zusätzlich Experimente zu Hohlspiegeln. Vielleicht finde ich ja noch mehr heraus.</p>	<input type="checkbox"/>
<hr/>	
<p>B.</p> <p>Ich notiere die Ergebnisse meiner Experimente. Dann ziehe ich daraus eine Schlussfolgerung und halte diese schriftlich fest.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Ich notiere die Ergebnisse meiner Experimente. Dann schaue sie mir immer wieder an, damit ich sie mir merke.</p>	<input type="checkbox"/>
<hr/>	
<p>C.</p> <p>Ich notiere die Ergebnisse nicht, sondern mache zusätzlich Experimente zu Hohlspiegeln. Vielleicht finde ich ja noch mehr heraus.</p>	<input type="checkbox"/>
<p>Ich notiere die Ergebnisse meiner Experimente. Dann schaue sie mir immer wieder an, damit ich sie mir merke.</p>	<input checked="" type="checkbox"/>

<p>6. Du möchtest durch Experimente herausfinden, ob sich die Raumtemperatur verändert, wenn die Kühlschranktür offen stehen bleibt.</p> <p><i>Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein, um die Frage zu beantworten. Bewerte die Vorgehensweisen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p>					
A.	<table border="1"> <tr> <td>Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.	<input type="checkbox"/>	Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.	<input checked="" type="checkbox"/>
Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.	<input type="checkbox"/>				
Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.	<input checked="" type="checkbox"/>				
B.	<table border="1"> <tr> <td>Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.	<input type="checkbox"/>	Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.	<input checked="" type="checkbox"/>
Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.	<input type="checkbox"/>				
Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.	<input checked="" type="checkbox"/>				
C.	<table border="1"> <tr> <td>Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.	<input type="checkbox"/>	Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.	<input checked="" type="checkbox"/>
Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.	<input type="checkbox"/>				
Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.	<input checked="" type="checkbox"/>				

10.3.4 Big Five Inventory-10 (BFI-10)

Reliable und valide Messung der Big Five (vgl. B. Rammstedt, O.P. John/Journal of Research in Personality 41 (2007) 203–212)

Dauer des Tests: ca. eine Minute

Der Test besteht aus folgenden Items:

Inwieweit treffen die folgenden Aussagen auf Sie zu?

Einschätzung der Items auf einer 5-stufigen Likert-Skala mit folgenden Ausprägungen:

(1) trifft überhaupt nicht zu, (2) trifft eher nicht zu, (3) weder noch, (4) eher zutreffend, (5) trifft voll und ganz zu

- | | |
|--|---------------------|
| Ich bin eher zurückhaltend, reserviert. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich schenke anderen leicht Vertrauen, glaube an das Gute im Menschen. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich bin bequem, neige zur Faulheit. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich bin entspannt, lasse mich durch Stress nicht aus der Ruhe bringen. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich habe nur wenig künstlerisches Interesse. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich gehe aus mir heraus, bin gesellig. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich neige dazu, andere zu kritisieren. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich erledige Aufgaben gründlich. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich werde leicht nervös und unsicher. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich habe eine aktive Vorstellungskraft, bin phantasievoll. | (1) (2) (3) (4) (5) |
| Ich bin rücksichtsvoll zu anderen, einfühlsam. | (1) (2) (3) (4) (5) |

10.3.5 Skalen Selbstregulationsfragebogen

(Perels, Gürtler & Schmitz 2005)

OVERALL-SELBSTREGULATION ($\alpha = .88$)

Antwortformat: 4 stufig: „Stimmt genau“, stimmt eher“, stimmt eher nicht“, „stimmt gar nicht“

Bei den übernommen Skalen wurden z. T. leichte Umformulierungen vorgenommen, um die Items an die Zielgruppe (Schüler) anzupassen.

Skala Selbstregulation (REG) ($\alpha = .81$) (Schwarzer, 1999; Antwortformat der ursprünglichen Skala ist vierstufig: stimmt nicht (1) - stimmt kaum (2) - stimmt eher (3) - stimmt genau (4))

- o Ich kann mich lange Zeit auf eine Sache konzentrieren, wenn es nötig ist.
- o Wenn ich von einer Sache abgelenkt werde, komme ich schnell wieder zum Thema zurück.
- o Wenn es nötig ist, kann ich meine Gefühle unter Kontrolle bringen.
- o Wenn störende Gedanken auftreten, kann ich sie nur schwer von mir weg schieben.
- o Ich kann es verhindern, dass meine Gedanken ständig von der Aufgabe abschweifen.
- o Wenn ich Sorgen habe, kann ich mich nicht auf eine Tätigkeit konzentrieren.
- o Nach einer Unterbrechung kann ich mich leicht wieder konzentrieren.
- o Alle möglichen Gedanken lassen mir einfach keine Ruhe zum Arbeiten.
- o Ich behalte mein Ziel im Auge und lasse mich nicht vom Weg abbringen.

Skala Ziele ($\alpha = .84$)

Tenazität bei der Zielverfolgung, (Brandstätter & Renner, 1988; ergänzt von Perels, 2000)

- o Ich kann sehr hartnäckig sein, wenn ich etwas erreichen möchte.
- o Wenn bei der Lösung eines Problems Schwierigkeiten auftreten, strengt ich mich mehr an.

- o Wenn ich eine neuartige Aufgabenstellung bearbeite, finde ich meist Mittel und Wege, diese zu lösen. (Item von Flexibilität nach Tenazität geholt).
- o Wenn ich mir einmal etwas in den Kopf gesetzt habe, lasse ich mich auch durch große Schwierigkeiten nicht davon abbringen. (Brandstätter & Renner, 1988)

Zielumsetzung → Schwierigkeitsfokus (Selbststeuerungs- Inventar: SSI- K (Kurzversion), Kuhl & Fuhrmann, 1999, Antwortformat Ursprungsinstrument: trifft auf mich zu: gar nicht/ etwas/ überwiegend/ ausgesprochen

- o Bei schwierigen Aufgaben kann ich eine große Ausdauer entwickeln.
- o Ich verfolge oft Ziele, die besonders anspruchsvoll sind.
- o Wenn ich mir einmal ein Ziel gesetzt habe, lasse ich mich nicht leicht davon abbringen.

Skala Motivation/Volition ($\alpha = .91$)

Skala 6. Realisierung von Lernintentionen (Volition) (Schiefele & Moschner, 1997, Antwortformat Ursprungsinstrument: sechsstufige Ratingskala mit den Polen „stimmt gar nicht“ und „stimmt genau“)

- o Wenn ich mir vorgenommen habe zu lernen, beginne ich damit so schnell wie möglich.
- o Wenn ich etwas für die Schule zu erledigen habe, fällt es mir oft schwer anzufangen.
- o Wenn ich etwas Schwieriges zu lernen habe, beginne ich lieber gleich damit, anstatt es aufzuschieben.
- o Wenn ich für die Schule etwas Unangenehmes zu erledigen habe, bringe ich es schnell hinter mich.
- o Schwierige Aufgaben schiebe ich oft lange vor mir her.
- o Gewöhnlich dauert es nicht lange, bis ich mich dazu entschließe, mit dem Lernen anzufangen.

Aufmerksamkeit (LIST, Antwortformat Ursprungsinstrument: sehr selten – selten – manchmal – oft – sehr oft

- o Beim Lernen merke ich, dass meine Gedanken abschweifen.

- o Es fällt mir schwer, mich aufs Lernen zu konzentrieren.
- o Beim Lernen bin ich unkonzentriert.
- o Wenn ich lerne, bin ich leicht abzulenken.
- o Ich kann mich nicht lange konzentrieren.

Umgang mit lernhinderlichen Gedanken (Skala 23: negative Emotionalität/Grübeln, VCQ, Kuhl & Fuhrmann, 1998)

- o Nach einem Misserfolg komme ich oft über eine ganze Zeit nicht mehr aus dem Grübeln heraus.
- o Wenn ich in eine schlechte Stimmung gerate, komme ich da ganz schwer wieder heraus.
- o Traurige Gedanken werde ich schlecht wieder los, wenn sie einmal da sind.
- o Nach einem Misserfolg muss ich lange darüber nachdenken, wie es dazu kommen konnte, bevor ich mich auf etwas anderes konzentrieren kann.

Positive Selbstmotivierung (Perels, 2000)

- o Wenn ich bei der Bearbeitung einer Aufgabe die Lust verliere, überlege ich mir etwas, das mich wieder zum Arbeiten bringt.
- o Wenn ich keine Lust habe, eine Aufgabe zu bearbeiten, lasse ich es bleiben.
- o Bei der Bearbeitung einer schwierigen Aufgabe, führe ich mir vor Augen, was ich schon alles geschafft habe.
- o Ich versuche mich dazu zu bringen, Hausaufgaben zu erledigen, auch wenn ich keine Lust habe.
- o Ich versuche mich dazu zu bringen, die Hausaufgaben zu erledigen, auch wenn Schwierigkeiten auftreten.

Extrinsische Motivation (Items des Fragebogens zur Erfassung der Lernmotivation, Skala 2 Leistungsorientierte Extrinsische Motivation nach Schiefele & Moschner, 1997; Antwortformat Ursprungsinstrument: sechsstufige Ratingskala mit den Polen „stimmt gar nicht“ und „stimmt genau“)

- o Ich lerne für die Schule, weil ich sie erfolgreich abschließen möchte.

- o Ich lerne für die Schule, weil ich gute Leistungen zeigen möchte.
- o Ich lerne für die Schule, weil ich erfolgreich sein möchte.
- o Ich lerne für die Schule, weil ich bei den Klassenarbeiten möglichst gut abschneiden möchte.

Erfassung des Sach- und des Fachinteresses (nach Prenzel, 2000, Antwortformat Ursprungsinstrument: Antworten: (1) trifft voll und ganz zu (...) (4) trifft überhaupt nicht zu

- o An einem mathematischen Problem zu knobeln, macht mir (einfach) Spaß.
- o Wenn ich an einem mathematischen Problem sitze, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.

Interesse am Fach (Perels, 2000)

- o Mir ist es wichtig, im Fach Mathematik viel zu wissen.
- o Ich freue mich auf eine Stunde im Fach Mathematik.
- o Mir liegt viel daran, den Stoff des Faches Mathematik zu behalten.

Anstrengung (LIST, Antwortformat Ursprungsinstrument: sehr selten – selten – manchmal – oft – sehr oft)

- o Wenn ich mir etwas zu Lernen vorgenommen habe, bemühe ich mich, es auch zu schaffen.
- o Ich strenge mich auch dann an, wenn mir das Fach überhaupt nicht liegt.
- o Ich gebe nicht auf, auch wenn die Aufgabe sehr schwierig ist.
- o Vor einer Klassenarbeit nehme ich mir genug Zeit, um den ganzen Stoff noch einmal durchzugehen.
- o Ich lerne so lange, bis ich mir sicher bin, eine Klassenarbeit gut bestehen zu können.

Anstrengungsbereitschaft (Wild, Antwortformat Ursprungsinstrument: 4-stufige Skala: stimmt gar nicht – stimmt wenig – stimmt ziemlich – stimmt völlig)

- o Ich mache meine Hausaufgaben so gut wie möglich.
- o Auch wenn meine Hausaufgaben langweilig und eintönig sind, höre ich erst auf, wenn ich fertig bin.
- o Wenn ich bei den Hausaufgaben eine Aufgabe nicht gleich verstehe, gebe ich mir immer viel Mühe, sie doch noch zu verstehen.
- o Bei Hausaufgaben versuche ich immer, so gründlich wie möglich zu arbeiten.

Skala Lernstrategien ($\alpha = .90$)

Kognitive Lernstrategie (LIST, Antwortformat Ursprungsinstrument: sehr selten – selten – manchmal – oft – sehr oft)

Zusammenhänge

- o Bei einem neuen Thema stelle ich mir praktische Anwendungsmöglichkeiten vor.
- o Ich stelle mir manche Sachverhalte bildlich vor.
- o Ich versuche das Gelernte mit dem zu verbinden, was ich schon darüber weiß.
- o Ich denke mir konkrete Beispiele zu bestimmten Lerninhalten aus.
- o Ich beziehe das, was ich lerne, auf meine eigenen Erfahrungen.

Metakognitive Strategien (LIST, Antwortformat Ursprungsinstrument: sehr selten – selten – manchmal – oft – sehr oft)

Planung

- o Ich versuche, mir vor einer Klassenarbeit genau zu überlegen, was ich lernen muss und was nicht.
- o Ich lege vor dem Lernen fest, wie weit ich kommen möchte.
- o Vor dem Lernen überlege ich mir, wie ich am besten vorgehen kann.
- o Ich überlege mir vorher, in welcher Reihenfolge ich die Hausaufgaben durcharbeite.

Überwachung/Selbstaufmerksamkeit/Selbstreflexion (Perels)

Selbstreflexion

- o Ich denke häufig über mein Lernverhalten nach.
- o Ich denke oft darüber nach, wie ich mich in bestimmten Situationen anders verhalten könnte.
- o Ich denke darüber nach, was ich an meinem Lernverhalten ändern könnte.
- o Ich denke bei den Hausaufgaben darüber nach, ob ich die Aufgaben auch richtig verstanden habe.

Überwachung (im Sinne von reinem Monitoring, Registrieren)

- o Beim Lösen einer Aufgabe achte ich darauf, ob ich mich noch konzentriere.
- o Wenn ich auf ein Ziel hinarbeite, überprüfe ich währenddessen, wie weit ich bisher gekommen bin.
- o Wenn ich ein Ziel noch nicht erreicht habe, dann mache ich mir den momentanen Stand bewusst.
- o Ich finde es oft schwierig einzuschätzen, wie weit ich von meinem Ziel noch entfernt bin.
- o Während ich auf ein Ziel hinarbeite, überprüfe ich, ob mein Vorgehen mich dem Ziel näher bringt.
- o Wenn ich nicht weiterkomme, kenne ich bestimmte Fragen, die mir weiterhelfen können.

Skala Selbstreflexion: Umgang mit Fehlern ($\alpha = .71$) (Perels)

- o Fehler zu machen ist nutzlos.
- o Fehler zeigen mir, was ich anders machen könnte.
- o Fehler versuche ich schnell wieder zu vergessen.
- o Ich überlege mir nach einem Fehler, was ich verändern kann.

Skala Selbstwirksamkeit ($\alpha = .86$) Wirk- All

- o Wenn ich etwas noch nicht kann, dann übe ich mit Geduld und Ausdauer.
- o Wenn viele Probleme auf mich zukommen, dann kann ich mich nicht mehr konzentrieren.
- o Wenn eine Sache kompliziert wird, gebe ich auf.

- o Wenn sich mir etwas in den Weg stellt, gebe ich mir die größte Mühe, es zu überwinden.
- o Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.
- o Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.
- o Wenn ich etwas mache, kann ich mich immer gut darauf konzentrieren.
- o Wenn es einmal Probleme gibt, dann werde ich sie schon bewältigen.
- o Auch schwierige Aufgaben stellen für mich keine unüberwindbaren Hindernisse dar.
- o Für jedes Problem habe ich eine Lösung.
- o Wenn ich etwas Neues mache, weiß ich, wie ich damit umgehe.
- o Wenn ich mit einem Problem konfrontiert werde, habe ich meist mehrere Ideen, wie ich damit fertig werde.

10.3.6 Selbstregulations-Items im Lern-Programm

(nach Perels, Gürtler & Schmitz, 2005)

Die Darstellung der Fragebogenitems orientiert sich an der Aufteilung der Fragen auf die Bildschirmseiten. Pro Bildschirmseite wurden ca. 6-8 Fragebogen-Items gleichzeitig präsentiert, um eine gute Übersichtlichkeit gewährleisten zu können.

Die Fragebogenitems wurden zwischen den Biologie-Aufgaben der Intervention eingebettet und bildeten so einen gewissen optischen Gegensatz zu den Aufgaben-, Feedback- und Lösungs-Seiten.

Die Items sind angelehnt an Perels et al. (2005) jeweils vierstufig mit den Abstufungen: „stimmt gar nicht“, „stimmt eher nicht“, „stimmt eher“ und „stimmt genau“.

1. Messzeitpunkt

Selbstregulation 1

Ich kann mich lange Zeit auf eine Sache konzentrieren, wenn es nötig ist.

Wenn es nötig ist, kann ich meine Gefühle unter Kontrolle bringen.

Wenn störende Gedanken auftreten, kann ich sie nur schwer von mir weg schieben.

Ich kann es verhindern, dass meine Gedanken ständig von der Aufgabe abschweifen.

Wenn ich von einer Sache abgelenkt werde, komme ich schnell wieder zum Thema zurück.

Selbstregulation 2

Wenn ich Sorgen habe, kann ich mich nicht auf eine Tätigkeit konzentrieren.

Alle möglichen Gedanken lassen mir einfach keine Ruhe zum Arbeiten.

Ich behalte mein Ziel im Auge und lasse mich nicht vom Weg abbringen.

Nach einer Unterbrechung kann ich mich leicht wieder konzentrieren.

Positive Selbstmotivation

Wenn ich bei der Bearbeitung einer Aufgabe die Lust verliere, überlege ich mir etwas, das mich wieder zum Arbeiten bringt.

Bei der Bearbeitung einer schwierigen Aufgabe, führe ich mir vor Augen, was ich schon alles geschafft habe.

Ich versuche mich dazu zu bringen, die Hausaufgaben zu erledigen, auch wenn Schwierigkeiten auftreten.

Ich versuche mich dazu zu bringen, Hausaufgaben zu erledigen, auch wenn ich keine Lust habe.

Lernstrategien

Bei einem neuen Thema stelle ich mir praktische Anwendungsmöglichkeiten vor.

Ich stelle mir manche Sachverhalte bildlich vor.

Ich versuche das Gelernte mit dem zu verbinden, was ich schon darüber weiß.

Ich denke mir konkrete Beispiele zu bestimmten Lerninhalten aus.

Ich beziehe das, was ich lerne, auf meine eigenen Erfahrungen.

2. Messzeitpunkt

Selbstreflexion

Ich denke manchmal über mein Lernverhalten nach.

Ich denke oft darüber nach, wie ich mich in bestimmten Situationen anders verhalten könnte.

Ich denke darüber nach, was ich an meinem Lernverhalten ändern könnte.

Ich denke bei den Hausaufgaben darüber nach, ob ich die Aufgaben auch richtig verstanden habe.

Monitoring

Beim Lösen einer Aufgabe achte ich darauf, ob ich mich noch konzentriere.

Wenn ich auf ein Ziel hinarbeite, überprüfe ich währenddessen, wie weit ich bisher gekommen bin.

Wenn ich ein Ziel noch nicht erreicht habe, dann mache ich mir den momentanen Stand bewusst.

Ich finde es oft schwierig einzuschätzen, wie weit ich von meinem Ziel noch entfernt bin.

Während ich auf ein Ziel hinarbeite, überprüfe ich, ob mein Vorgehen mich dem Ziel näher bringt.

Wenn ich nicht weiterkomme, kenne ich bestimmte Fragen, die mir weiterhelfen können.

Umgang mit Fehlern

Fehler zu machen, ist nutzlos.

Ich versuche, Fehler nur ein einziges Mal zu machen.

Ich ärgere mich, wenn ich einen Fehler gemacht habe.

Fehler zeigen mir, was ich anders machen könnte.

Fehler versuche ich schnell wieder zu vergessen.

Ich freue mich, wenn ich aus einem Fehler etwas lernen kann.

Fehler helfen mir dabei, schwierige Zusammenhänge besser zu verstehen.

Ich überlege mir nach einem Fehler, was ich verändern kann.

Selbstwirksamkeit 2.1

Wenn ich etwas noch nicht kann, dann übe ich mit Geduld und Ausdauer.

Wenn viele Probleme auf mich zukommen, dann kann ich mich nicht mehr konzentrieren.

Wenn eine Sache kompliziert wird, gebe ich auf.

Wenn sich mir etwas in den Weg stellt, gebe ich mir die größte Mühe, es zu überwinden.

Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.

Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.

Selbstwirksamkeit 2.2

Wenn ich etwas mache, kann ich mich immer gut darauf konzentrieren.

Wenn es einmal Probleme gibt, dann werde ich sie schon bewältigen.

Auch schwierige Aufgaben stellen für mich keine unüberwindbaren Hindernisse dar.

Für jedes Problem habe ich eine Lösung.

Wenn ich etwas Neues mache, weiß ich, wie ich damit umgehe.

Wenn ich mit einem Problem konfrontiert werde, habe ich meist mehrere Ideen, wie ich damit fertig werde.

10.4 Definitionen der Begriffe im Programm

Beobachtung

Wenn du ganz genau hinschaust, was passiert, dann ist das deine Beobachtung. Beobachten kann man nur Dinge, die tatsächlich da sind (- man darf sich nichts dazu ausdenken, auch wenn man meint, dass das gut passen würde).

Daten analysieren

Am Ende des Experiments vergleicht man immer zwei Versuchsbedingungen (Paarvergleich).

Jeder Paarvergleich unterscheidet sich dabei in nur einem Faktor. Zur Überprüfung deiner Hypothese musst du alle Ergebnisse betrachten und dann die richtigen Schlussfolgerungen daraus ziehen.

Effekt, der (lateinisch) hervorgerufene Wirkung

Ein Effekt ist das Ergebnis einer Veränderung – die Wirkung des Faktors. Wenn du einen Faktor in der Versuchsanordnung veränderst, dann bekommst du als Ergebnis einen Effekt.

Ergebnisse erklären

Am Ende eines Experiments bekommst du ein Ergebnis für jede einzelne Versuchsbedingung.

Anhand der Faktoren, die du verändert hast, kannst du durch Paarvergleiche nachvollziehen, was die Ursache für welchen Effekt gewesen sein muss. Mit den Ergebnissen aus dem Experiment kannst du prüfen, ob die Hypothese, die du vorher aufgestellt hast, richtig war.

Experiment, das (lateinisch) Versuch

Das Ziel eines Experiments ist es, den Grund dafür herauszufinden, WARUM etwas so ist, wie wir es beobachten können.

Experiment planen

Man plant ein Experiment so, dass man durch Paarvergleiche herausfinden kann, welcher Faktor für welchen Effekt verantwortlich ist.

Man darf dabei immer nur einen Faktor pro Versuchsbedingung verändern.

Faktor, der (lateinisch) Einflussgröße

Ein Faktor ist die Eigenschaft, die in einer Versuchsbedingung verändert wird, also z. B. die Temperatur oder der Boden.

Man verändert immer nur einen Faktor pro Versuchsbedingung (siehe Paarvergleich).

Hypothese

Die Hypothese, ist eine Vermutung (Behauptung), die du mit einem Experiment untersuchen möchtest.

Sie ist eine Vermutung über einen Ursache-Wirkung Zusammenhang, der begründet und überprüfbar sein sollte.

Hypothese aufstellen

Um eine Hypothese aufzustellen, muss man sich Gedanken über die Zusammenhänge hinter einem Phänomen machen und am Ende eine Frage formulieren.

Man kann ganz unterschiedliche Hypothesen aufstellen und diese dann einzeln im Rahmen von Paarvergleichen testen.

Interpretation

Eine Interpretation ist die Schlussfolgerung, die du aus deinen Beobachtungen ziehst.

Dabei ist es wichtig, dass du die Ergebnisse aus allen Paarvergleichen beachtest. Durch die Interpretation der Ergebnisse kann man entscheiden, ob die Hypothese richtig war oder nicht.

Kontrollansatz

Der Kontrollansatz ist die Vergleichsbedingung. Man braucht bei jeder Versuchsreihe einen Kontrollansatz, mit dem man die einzelnen Versuchsbedingungen vergleichen kann (Paarvergleich). Bei dem Kontrollansatz wird der zu testende Faktor nicht verändert.

Paarvergleich

Vergleich von jeweils zwei Versuchsbedingungen. Die Versuchsbedingungen, die miteinander verglichen werden, unterscheiden sich in nur einem Faktor.

Beispiel:

1.) Vergleich von Versuchsbedingung 1 und 2:

Nur Faktor „Wasser“ wird verändert → nur Aussage über den Einfluss des Wassers möglich.

2.) Vergleich von Versuchsbedingung 1 und 3:

Nur Faktor „Dünger“ anders → nur Aussage über Dünger möglich.

Ursache

Die Ursache ist der Grund dafür, WARUM eine Wirkung aufgetreten ist.

Beispiel: Wenn du lange wach warst (Ursache), dann bist du am nächsten Morgen müde (Wirkung). Das lange Aufbleiben ist dann die Ursache für die Müdigkeit.

Versuchsbedingung

Eine Versuchsbedingung ist ein Teil eines Experiments. Bei jeder Versuchsbedingung wird nur ein Faktor verändert (siehe Paarvergleich).

Versuchsreihe

Eine Versuchsreihe besteht aus mehreren Versuchsbedingungen. In jeder Bedingung wird jeweils nur ein Faktor verändert. Dieser wird dann mit dem Kontrollansatz vergli-

chen (Paarvergleich). Eine Versuchsreihe ist dann komplett, wenn die Faktoren, der Hypothese einzeln getestet worden sind.

Ziel eines Experiments

Ziel eines Experiments ist es, einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zu verstehen, also den Grund dafür, WARUM sich etwas verändert.