

Metakognition und Lernen in Chemie

Studien zur Domänengeneralität versus Domänenspezifität
und Förderung der Metakognition beim Lernen in Chemie

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Philosophischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel

vorgelegt von
Kirsten Brüchner

Kiel
2007

Erstgutachter: Prof. Dr. Jens Möller

Zweitgutachter: Prof. Dr. Manfred Prenzel

Tag der mündlichen Prüfung: 21.06.2007

Durch den zweiten Prodekan Prof. Dr. Ludwig Steindorff

zum Druck genehmigt am: 25.07.2007

Danksagung

Viele Menschen haben mich bei dieser Arbeit sowohl fachlich als auch emotional unterstützt. Einigen möchte ich hier ganz besonders herzlich danken.

Professor Dr. Jens Möller und **Professor Dr. Manfred Prenzel** danke ich für die fachlichen Anregungen sowie konstruktiven Gespräche und die freundliche, unkomplizierte Betreuung dieser Arbeit. **Professor Dr. Reinhard Demuth** für seine Unterstützung und insbesondere für die ganz konkrete Hilfe bei der Umsetzung der Studie II.

Den **Mitarbeitern der Abteilung für Chemiedidaktik des IPN** möchte ich für die Anregungen bezüglich chemiespezifischer Inhalte danken. Besonders danke ich meiner Schreibtischnachbarin **Ivana Weber**, die in den letzten Monaten nicht nur viel Rücksicht auf mich genommen hat, sondern auch immer aufmunternde, freundliche Worte für mich bereit hatte. **Dr. Iris Stracke** möchte ich für die Durchführung der Studie I mit Schülern in Baden-Württemberg danken. Ganz besonders möchte ich mich bei den **Lehrerinnen und Lehrern**, die mir bei der Werbung von Teilnehmern für Studie I und Studie II behilflich waren und zahlreichen **Schülerinnen und Schülern** die an beiden Studien teilgenommen haben, bedanken. **Annina Gall** möchte ich für ihre Hilfe bei der Durchführung der Studie II danken.

Auch in meinem privaten Umfeld gibt es viele Unterstützer. **Meiner Familie** danke ich dafür, dass es sie gibt und dass sie mich alle immer in meinem Vorhaben unterstützt haben. Besonders danke ich **Ulf Brüchner** für sein engagiertes Korrekturlesen. Allen **meinen Freunden** danke ich für die emotionale Unterstützung, Ablenkung und Entspannung. **Simone Goebel** danke ich für unermüdliches Korrekturlesen und die konstruktive inhaltliche Kritik. Meiner Mitstreiterin in Sachen Dissertation **Anja Neumann** danke ich für die hilfreichen Gespräche und den gemeinsamen Stressabbau beim Sport. **Verena Frohnes** danke ich für erfolgreiche Ablenkung von der Arbeit. Mein Dank an **Jane Eggers** geht für schnelles, genaues Korrekturlesen. **Christian Bruckbauer** danke ich schließlich für seine Liebe und für die vielen „kleinen“ Dinge wie Korrekturlesen, Einkaufen, Dasein, Zuhören, Erzählen, die zusammen ganz groß sind.

Zusammenfassung

Die Fähigkeit über das eigene Denken nachzudenken und zu reflektieren ist eine urmenschliche Eigenschaft. Unter Metakognition wird in der Psychologie das Wissen und die Kontrolle über eigene kognitive Funktionen verstanden (z. B. Hasselhorn, 2001). Für die Pädagogische Psychologie ist die Metakognition besonders deswegen interessant, da sie eine lernförderliche Wirkung verspricht (z. B. Haller, Child, & Walberg, 1988). Nachdem die Metakognition zunächst primär als domänenübergreifendes Konstrukt angesehen wurde, wird in letzter Zeit immer häufiger hinterfragt, ob die Metakognition, wie andere Denkfunktionen auch, domänenspezifisch betrachtet werden müsste (z. B. Veenman, 2006). Da Metakognition traditionell vor allem im Kontext des Lernens mit Texten erforscht wurde, ergibt sich ein Bedarf an Untersuchungen, die sich mit anderen Domänen beschäftigen. Besonders für das Lernfeld der Naturwissenschaften und insbesondere für das Lernen in Chemie liegen noch wenige Studien vor, die die eventuellen Besonderheiten der Metakognition in diesem Bereich berücksichtigen. Die Chemie wird unter anderem deswegen in dieser Arbeit als einzelne Naturwissenschaft betrachtet, da in deutschen Schulen die naturwissenschaftlichen Disziplinen zumeist getrennt unterrichtet werden und daher explizit die Besonderheiten der Metakognition beim Lernen in Chemie analysiert werden sollen. Ziel dieser Arbeit ist somit die Analyse und Förderung der Metakognition beim Lernen in Chemie.

In Studie I dieser Arbeit wird gezeigt, dass sich ein selbstentwickelter chemiespezifischer metakognitiver Wissenstest durch inkrementelle Validität bezüglich des Kriteriums Chemiewissen auszeichnet. Auch die Konstruktvalidität dieses Tests kann anhand seiner Beziehungen zu anderen Variablen in einem theoretisch hergeleiteten Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie bestätigt werden. Weiterhin wird die Vermittlerrolle des chemiespezifischen metakognitiven Wissens zwischen Lernervoraussetzungen und dem Kriterium Chemiewissen deutlich.

Im Rahmen der Studie II dieser Arbeit werden Oberstufenschüler mit einem Kurztraining exekutiver Metakognition trainiert. Die trainierte Gruppe wird mit einer Kontrollgruppe bezüglich des Lernens chemischer Inhalte mit einem Hypertext verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die trainierten Schüler in drei der vier Bereiche der exekutiven Metakognition, die mit Hilfe Protokollen lauten Denkens operationalisiert werden, mehr Aktivitäten zeigen als die Kontrollgruppe. Auch in den lernzielkompatiblen Skalen eines Wissenstests schneiden die trainierten Schüler besser ab als die untrainierten. In einer explorativen Analyse der Verlaufsprotokolle zeigt sich, dass sich die Trainingsgruppe länger auf den für die Lernziele unmittelbar relevanten Hypertextseiten aufhielt. Es wird gefolgert, dass das verwendete aufgabenspezifische metakognitive Kurztraining sowohl die exekutive Metakognition als auch den Lernerfolg positiv beeinflusst; offenbar auch durch die Anregung der metakognitiven Verarbeitung von Lernzielen.

Zusammengefasst können für die untersuchte Altersgruppe der Oberstufenschüler domänenspezifische Anteile der Metakognition in Chemie angenommen werden. Eine aufgaben- und damit domänenspezifisches Training der exekutiven Metakognition scheint laut Studie II empfehlenswert.

Abstract

The ability to think about and reflect upon one's own thoughts is a primal human characteristic. Psychology understands metacognition as the knowledge and the control of one's own cognitive functions (e. g. Hasselhorn, 2001). Metacognition is especially interesting for educational psychology as it promises an effect conducive to learning (e. g. Haller, Child, & Walberg, 1988). Because metacognition was primarily seen as a mainly domain-spanning construct, the question in recent times has often been whether metacognition also has to be considered domain-specific like other mental functions (e. g. Veenman, 2006). As metacognition has traditionally been mainly researched in the context of learning with texts, there is a need for studies treating other domains. In the subject area of science and especially chemistry there are few studies that take the possibly special features of metacognition in this area into consideration. One of the reasons chemistry is treated as an individual science in this work is that the sciences are usually taught as individual subjects in German schools. The special features of metacognition are then to be analyzed when learning chemistry. The goal of this work is, thus, the analysis and the advancement of metacognition in learning chemistry.

Study I of this work shows that a self-developed, chemistry-specific, metacognitive test of knowledge is characterized by incremental validity with regard to the criterion knowledge of chemistry. The construct validity of the test can also be confirmed by means of its relationship to other variables in a theoretically derived model of metacognition when learning chemistry. Furthermore, the mediator role of chemistry-specific metacognitive knowledge between student premises and the criterion knowledge of chemistry becomes clear.

Within the framework of study II, the upper secondary students are briefly trained in executive metacognition. The trained group is compared with a control group with regard to learning chemistry contents with a hypertext. The results indicate that the trained students show more activity than the control group in three of the four areas of executive metacognition which is operationalized with the help of thinking aloud protocols. The trained students also do better than the untrained ones in knowledge test scales compatible to the learning goals. An explorative analysis of the log files shows that the training group spent more time on the hypertext pages directly relevant for the learning goals. It is assumed that the applied task-specific metacognitive short training session as well as the executive metacognition positively influence learning success; apparently through the metacognitive treatment of the learning goals.

In summary, domain-specific portions of metacognition in chemistry may be assumed for the upper secondary age group studied. The task-specific and, thus, domain-specific training of executive metacognition is, according to study II, to be recommended.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Einleitung | 13 |
| THEORETISCHER TEIL | | |
| 2 | Metakognitionsforschung | 17 |
| 2.1 | Das Konzept der Metakognition in Theorien des selbstregulierten Lernens | 17 |
| 2.2 | Theorien der Metakognition | 24 |
| 2.2.1 | Zwei-Komponenten-Sichtweise der Metakognition | 24 |
| 2.2.2 | Verhältnis der Metakognition zu Kognition und Motivation | 26 |
| 2.2.3 | Neuere Modelle der Metakognition | 28 |
| 2.3 | Zusammenfassung | 32 |
| 3 | Domänengeneralität versus Domänenspezifität der Metakognition | 34 |
| 3.1 | Domänengeneralität der Metakognition | 35 |
| 3.2 | Domänenspezifität der Metakognition | 38 |
| 3.2.1 | Theoretisches Umfeld einer möglichen Domänenspezifität der Metakognition: Transfer, Expertise, Situiertes Lernen | 39 |
| 3.2.1.1 | Transfer | 39 |
| 3.2.1.2 | Expertise | 40 |
| 3.2.1.3 | Situiertes Lernen | 42 |
| 3.2.2 | Untersuchungen zur Domänenspezifität der Metakognition | 44 |
| 3.2.3 | Zusammenfassung | 46 |
| 3.3 | Mögliche Synthese der beiden Positionen | 47 |
| 3.4 | Zusammenfassung und Schlussfolgerungen im Hinblick auf Untersuchung und Instruktion von Metakognition | 49 |
| 4 | Metakognition beim Lernen in Chemie | 52 |
| 4.1 | Bereiche metakognitiven Wissens in der Chemie | 53 |
| 4.2 | Bedingungsgefüge des chemiespezifischen metakognitiven Lernens | 58 |
| 4.2.1 | Kognitiver Einflussfaktor: Vorwissen in Chemie | 59 |
| 4.2.2 | Motivationale Einflussfaktoren: Chemiespezifisches Selbstkonzept und Chemieinteresse | 60 |
| 4.2.2.1 | Chemiespezifisches Selbstkonzept | 60 |
| 4.2.2.2 | Chemieinteresse | 62 |
| 4.2.3 | Zusammenhänge der Einflussfaktoren im erweiterten Erwartungs-Wert-Modell der Leistungsmotivation | 65 |
| 4.2.4 | Domänenspezifisches Kriterium: Chemiewissen | 67 |
| 4.2.5 | Domänenübergreifendes Kriterium: Problemlösefähigkeit | 68 |
| 4.3 | Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie | 70 |
| 4.4 | Lerngelegenheiten für Metakognition im Chemieunterricht: Situation des Chemieunterrichts in Deutschland | 71 |
| 5 | Möglichkeiten der Operationalisierung | 82 |
| 5.1 | Unabhängige Indikatoren | 83 |
| 5.1.1 | Fragebögen | 83 |
| 5.1.2 | Retrospektive Interviews | 86 |
| 5.2 | Konkurrente Indikatoren | 88 |
| 5.2.1 | Indirekte konkurrente Indikatoren: Ease of Learning (EOL), Feeling of Knowing (FOK), Postdiktationen und Logfiles | 88 |
| 5.2.2 | Protokolle lauten Denkens | 89 |
| 5.3 | Zusammenfassung | 93 |

| | | |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6 | Förderung von Metakognition | 94 |
| 7 | Fragestellungen und Hypothesen | 101 |
| 7.1 | Fragestellungen der Studie I: Chemiespezifisches metakognitives Wissen | 102 |
| 7.2 | Fragestellungen der Studie II: Exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie | 105 |
| EMPIRISCHER TEIL | | |
| 8 | Studie I: Chemiespezifisches metakognitives Wissen | 107 |
| 8.1 | Methode | 107 |
| 8.1.1 | Design, Durchführung und Stichprobenbeschreibung | 107 |
| 8.1.2 | Erhebungsinstrumente | 108 |
| 8.1.2.1 | Vorwissen in Chemie | 108 |
| 8.1.2.2 | Skalen zum chemiespezifischen Selbstkonzept und zum Chemieinteresse | 109 |
| 8.1.2.3 | Textbezogenes metakognitives Wissen | 110 |
| 8.1.2.4 | Chemiespezifisches metakognitives Wissen | 111 |
| 8.1.2.5 | Wissenstest Chemie | 114 |
| 8.1.2.6 | Problemlösetest | 115 |
| 8.1.3 | Auswertungsmethoden | 116 |
| 8.2 | Ergebnisse | 120 |
| 8.2.1 | Konkurrente Validität des entwickelten Tests zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen | 121 |
| 8.2.2 | Inkrementelle Validität des Tests zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen | 121 |
| 8.2.3 | Einflussfaktoren auf das chemiespezifische metakognitive Wissen | 124 |
| 8.2.4 | Pfadanalyse über das Modell der chemiespezifischen Metakognition | 126 |
| 8.2.5 | Post-Hoc-Analyse: Mediatorfunktion des metakognitiven Wissens in den einfachen Mediatormodellen | 130 |
| 8.3 | Zusammenfassung und Diskussion | 132 |
| 9 | Studie II: Exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie | 138 |
| 9.1 | Methode | 138 |
| 9.1.1 | Versuchspersonen | 138 |
| 9.1.2 | Versuchsablauf und Design | 139 |
| 9.1.3 | Der Hypertext CHEMnet | 141 |
| 9.1.4 | Kurztraining exekutiver Metakognition | 143 |
| 9.1.5 | Operationalisierung der exekutiven Metakognition mit Protokollen lauten Denkens | 145 |
| 9.1.5.1 | Vorgehen bei Instruktion und Aufnahme des lauten Denkens | 145 |
| 9.1.5.2 | Transkription | 145 |
| 9.1.5.3 | Kodierung | 146 |
| 9.1.5.4 | Reanalyse der Kategorien | 149 |
| 9.1.6 | Weitere Erhebungsinstrumente | 152 |
| 9.1.6.1 | Kurzskalen zum chemiespezifischen Selbstkonzept und zum Chemieinteresse | 153 |
| 9.1.6.2 | Vorwissenstest und Wissenstest | 153 |
| 9.1.6.3 | Kognitive Belastung | 155 |
| 9.1.6.4 | Kurzes Abschlussinterview | 156 |
| 9.1.7 | Auswertungsmethoden | 156 |

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.2 | Ergebnisse | 157 |
| 9.2.1 | Zur Äquivalenz der Untersuchungsgruppen | 157 |
| 9.2.2 | Unterschiede der Untersuchungsgruppen bezüglich der exekutiven Metakognition | 158 |
| 9.2.3 | Unterschiede der Untersuchungsgruppen bezüglich des Lernerfolgs | 159 |
| 9.2.4 | Zusammenhang zwischen exekutiver Metakognition und Lernerfolg | 160 |
| 9.2.5 | Explorative Untersuchung der Verlaufsprotokolle | 161 |
| 9.2.5.1 | Hintergrund | 161 |
| 9.2.5.2 | Hypothesen | 162 |
| 9.2.5.3 | Methode | 162 |
| 9.2.5.4 | Ergebnisse | 163 |
| 9.2.6 | Kontrollvariablen: Kognitive Belastung, Ergebnisse des Abschlussinterviews | 165 |
| 9.3 | Zusammenfassung und Diskussion | 167 |
| 9.3.1 | Methodenkritische Diskussion der Operationalisierung der exekutiven Metakognition | 168 |
| 9.3.2 | Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse | 171 |
| 10 | Integration und Ausblick | 178 |
| 10.1 | Integration der Ergebnisse der Studien I und II | 178 |
| 10.2 | Schlussfolgerungen für den Chemieunterricht | 181 |
| 10.3 | Ausblick | 183 |
| 11 | Literatur | 187 |
| | | |
| Anhang A: | Gesamtfragebogen der Studie I | 205 |
| Anhang B: | Beispiele für Schülerantworten aus der Vorstudie zur Entwicklung des chemiebezogenen metakognitiven Wissenstests in Studie I | 227 |
| Anhang C: | Itemanalysen der verwendeten Leistungstests und Fragebögen in Studie I | 229 |
| Anhang D: | Sobel-Test auf Signifikanz der indirekten Effekte in den einfachen Mediatormodellen für die Einflussvariablen Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept und Vorwissen in Chemie | 235 |
| Anhang E: | Informationsblatt zur Werbung der Versuchspersonen | 237 |
| Anhang F: | Instruktionskarten aus Studie II | 238 |
| Anhang G: | Instruktionen für die Trainingsgruppe im Kurztraining zur exekutiven Metakognition | 241 |
| Anhang H: | Arbeitsblatt Lernfragen | 245 |
| Anhang I: | Transkribierregeln für Studie II | 246 |
| Anhang J: | Kodiersystem für die Bereiche exekutiver Metakognition | 247 |
| Anhang K: | Itemanalysen der neugebildeten Variablen „Planung“ und „Verständnisregulation“ | 250 |
| Anhang L: | Vorwissenstest und Wissenstest zum Chemischen Gleichgewicht | 251 |
| Anhang M: | Kodierschema für die offenen Antworten Wissenstest und Vorwissenstest mit Bestimmung der Interraterreliabilität | 256 |
| Anhang N: | Itemanalysen der verwendeten Leistungstests und Fragebögen in Studie II | 257 |
| Anhang O: | Seiten des CHEMnet-Kapitels zum „Chemischen Gleichgewicht“ und Klassifizierung ihrer Relevanz hinsichtlich der Aufgabe | 260 |
| Anhang P: | Lebenslauf von Kirsten Brüchner | 262 |

„Ich denke, also bin ich“
Descartes (1596-1650)

„Zugleich damit, dass jemand etwas weiß,
weiß er nämlich eben dadurch, dass er das weiß,
und zugleich weiß er, dass er weiß, was er weiß.“
Spinoza (1632-1677)

1 Einleitung

Die Möglichkeit, über eigene Gedanken zu reflektieren, ist eine urmenschliche Eigenschaft. Diese menschliche Fähigkeit des Nachdenkens über das eigene Denken hat Wissenschaftler vermutlich schon immer fasziniert, wie z. B. in den oft zitierten Aussagen der beiden Philosophen Descartes und Spinoza deutlich wird. In Psychologie und Pädagogik erwuchs das Interesse an übergeordnetem Denken unter anderem aus der Annahme, dass solche Prozesse das Lernen effektiver machen könnten. So gab es z. B. schon am Anfang des letzten Jahrhunderts Überlegungen von John Dewey zu einem „verständigen Lernen“ (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2001). In der gegenwärtigen Pädagogischen Psychologie werden übergeordnete Kognitionen auch mit dem Begriff „Metakognition“ bezeichnet. Neuerliche Beachtung fand die Reflexion über eigene Lernprozesse durch das Forschungsparadigma des Konstruktivismus. In der gemäßigten Form des Konstruktivismus in der Pädagogischen Psychologie und empirischen Pädagogik wird angenommen, dass Wissen nicht unanhängig von Individuen existiert, sondern von Lernern selbst konstruiert und in Kooperation mit anderen sozial ausgehandelt wird. Metakognitiven Kompetenzen zur Reflexion und Kontrolle eigenen Lernhandelns kommt dabei eine besondere Bedeutung zu (Gerstenmaier & Mandl, 1995). Hauptmerkmal einer so ausgerichteten Forschung ist, dass nicht mehr nur versucht wird, Instruktionsformen zu untersuchen und zu verbessern, sondern vielmehr der Lerner als ein aktives, sich seine Umwelt selbst-konstruierendes Wesen in den Mittelpunkt des Forschungsinteresses gerückt wird (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1997). Besonders die Theorien zum selbstregulierten Lernen weisen eine Nähe zum gemäßigten Konstruktivismus auf und haben in jüngerer Zeit große Beachtung erfahren (Baumert et al., 2000; Boekaerts, 1997; Zimmerman, 1998). Diese Theorien des selbstregulierten Lernens entstanden unter dem Eindruck einer Welt mit rasant wachsenden Wissensbeständen, in der die Fähigkeit zum lebenslangen Lernen immer wichtiger wird (Friedrich & Mandl, 1997). So wurde in der internationalen Schulleistungsstudie PISA 2000 (PISA steht für Programme for International Student Assessment) das selbstregulierte Lernen als fächerübergreifende Kompetenz untersucht (Baumert et al., 2000) und hierfür auf existente Theorien selbstregulierten Lernens zurückgegriffen (z. B. Boekaerts, 1997; Zimmerman, 1989a; Zimmerman & Martinez-Pons, 1990). In diesen Ansätzen des selbstregulierten Lernens stellt das nun schon seit drei Dekaden beforschte Konstrukt der Metakognition eine Schlüsselkompetenz dar, die nach wie vor als wünschenswert und förderungswürdig angesehen wird. Zunächst nur

grob definiert, wird unter der Metakognition in der Psychologie das Wissen und die Kontrolle über eigene kognitive Funktionen verstanden (Hasselhorn, 2001). In den meisten Theorien wird das Konstrukt der Metakognition unterteilt in das metakognitive Wissen über eigene kognitive Funktionen und in die exekutive Metakognition, zu der die Planung, Überwachung und Kontrolle von Lernprozessen gehört (z. B. Borkowski & Muthukrishna, 1992; Brown, 1984; Hasselhorn, 1992).

Das metakognitive Wissen (auch Metagedächtnis genannt) von Lernenden wird häufig als eine Lernvoraussetzung betrachtet, die einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Wissen haben soll (z. B. Artelt, Schiefele & Schneider, 2001; Flavell, 1977; Hasselhorn, 1992; Schneider, Schlagmüller & Visé, 1998). So wird z. B. angenommen, dass der Lerner durch das Wissen über Lernstrategien in die Lage versetzt wird, geeignete Lernstrategien auszuwählen und so zu einem besseren Lernergebnis zu kommen. Jedoch auch die andere Wirkungsrichtung scheint eine gewisse Bedeutung zu haben: Metakognition und Lernstrategien scheinen ihrerseits zu einem gewissen Grade abzuhängen von dem Vorwissen des Lernenden in einem Fachgebiet (Friedrich & Mandl, 1992). Bereichsspezifisches Vorwissen, so scheint es, ist manchmal Voraussetzung für den Erwerb und die Nutzung effektiver Strategien (Lind & Sandmann, 2003; Perkins & Salomon, 1989). Diese Überlegung ist eine Ursache für eine grundlegende Diskussion innerhalb der Metakognitionsforschung über die Domänenspezifität von Lernstrategien und Metakognition. Ein anderer Grund für die domänenspezifische Betrachtung der Metakognition ist eine Bandbreite von situierten Forschungsansätzen, wie z. B. des Ansatzes der „situated cognition“ (z. B. Greeno, 1997) und der Expertiseforschung (z. B. Gruber & Mandl, 1996). In den Ansätzen situierten Lernens wurden Zweifel an der Übertragbarkeit domänenspezifischen Wissens auf neue Situationen geäußert. Ein solch mangelnder Transfer auf neue Domänen könnte prinzipiell auch für metakognitives Wissen vorliegen. In der Expertiseforschung konnte gezeigt werden, dass sich Experten nicht nur in ihrem Wissensumfang, sondern auch in anderen Merkmalen (wie z. B. Verarbeitungsgeschwindigkeit) von Novizen unterscheiden (Gruber & Mandl, 1996). Es könnte also auch ein Unterschied in den metakognitiven Fähigkeiten von Experten und Novizen vorliegen.

Ausgehend von der Forschung zum Textverständnis, bezogen sich zunächst viele Arbeiten der Metakognitionsforschung auf das Lernen mit Texten. Auch die entwickelten diagnostischen Instrumente zur Erfassung des metakognitiven Wissens basierten auf dieser Textlernforschung (z. B. Paris, Cross & Lipson, 1984; Schlagmüller, Visé & Schneider, 2001). Dass die Erforschung der Metakognition sich vorerst häufig auf das Lernen mit Texten beschränkte, ist sicherlich darauf zurückzuführen, dass das Lernen mit Texten ein wichtiges Gebiet der Pädagogischen Psychologie ist (Schnotz, 2001). In der PISA-Studie des Jahres 2003 wurde jedoch erstmals einer vermuteten

Domänenspezifität der Metakognition Rechnung getragen und neben einem Metagedächtnistest für Lesestrategien von Schneider und Schlagmüller (Kunter et al., 2002) ein auf die Mathematik zugeschnittener Test verwendet (Ramm et al., 2006). Der Metagedächtnistest für Lesestrategien wurde in PISA 2000 jedoch noch als allgemeiner Metagedächtnistest eingesetzt. Es stellt sich die Frage, ob ein allgemeiner Metagedächtnistest für Lesestrategien als Prädiktor ausreicht, um den Lernerfolg auch in den sogenannten „nichtsprachlichen“ Unterrichtsfächern wie Mathematik oder den Naturwissenschaften vorherzusagen. Wegen der vermuteten eingeschränkten Vorhersagekraft von Lesestrategietests für Lernfelder außerhalb der Domäne des rein sprachlichen Lernens ergibt sich ein Bedarf an Untersuchungen, die sich mit anderen Domänen beschäftigen. Besonders das Lernfeld der Naturwissenschaften rückt dabei ins Blickfeld, da in diesem Bereich noch fast keine Studien vorliegen, die die eventuellen Besonderheiten der Metakognition im naturwissenschaftlichen Bereich berücksichtigen. Dabei wäre besonders hinsichtlich des Vorgehens beim naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten die Annahme einer naturwissenschaftsspezifischen Metakognition plausibel. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit der Metakognition beim Lernen in Chemie. Die Chemie wird als einzelne Naturwissenschaft in dieser Arbeit betrachtet, da in Deutschland im schulischen Kontext eine Trennung der Naturwissenschaften in die Einzelfächer vorherrscht. Außerdem müssen beim Experimentieren in der Chemie im Gegensatz zur Biologie oder Physik häufig Phänomene gedeutet werden, die auf nicht direkt beobachtbare Ursachen zurückzuführen sind. Dies macht den Schritt zwischen Beobachtung und Deutung in der Chemie besonders schwierig. Metakognitive Reflexionen des Prozesses des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens könnten daher in der Chemie besonders interessant und wichtig für den Lernerfolg sein.

Die Arbeit verfolgt im Wesentlichen zwei übergreifende Zielstellungen: Zum einen wird das metakognitive Wissen in der Domäne Chemie untersucht (übergreifende Zielstellung I), zum anderen wird innerhalb einer Interventionsstudie versucht, die exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie zu fördern (übergreifende Zielstellung II).

Übergreifende Zielstellung I: Untersuchung des chemiespezifischen metakognitiven Wissens

In dieser Arbeit wird ein zu den Metagedächtnistests in PISA 2003 analoger Test für die Chemie entwickelt und untersucht. Der Test wird speziell für die Chemie und nicht etwa für die Naturwissenschaften im Allgemeinen entwickelt, da im deutschen Schulsystem die Naturwissenschaften in den meisten Schulformen getrennt voneinander unterrichtet werden und daher anzunehmen ist, dass sich das metakognitive Wissen, soweit es als domänenspezifisch anzunehmen ist, für jede Naturwissenschaft getrennt entwickelt. Der entwickelte Test wird in der vorliegenden Arbeit hinsichtlich seiner prädiktiven

Eigenschaften bezüglich der chemiespezifischen Lernleistung und der allgemeinen Problemlösefähigkeit untersucht. Des Weiteren soll, um Hinweise über das Konstrukt der chemiespezifischen Metakognition zu erhalten, das Testergebnis mit weiteren wichtigen domänenspezifischen Konstrukten des Lernens in Chemie in Beziehung gesetzt werden. Als domänenspezifische Konstrukte kommen dabei das Chemieinteresse und das chemiespezifische Selbstkonzept sowie das Vorwissen in Chemie zum Tragen.

Übergreifende Zielstellung II: Förderung der exekutiven Metakognition beim Lernen in Chemie

Schon seit den Anfängen der Metakognitionsforschung war ein Ziel auch immer die Förderung von Metakognition (z. B. Paris et al., 1984). In jüngerer Zeit wird immer mehr versucht, Methodenkompetenzen und inhaltliches Wissen nicht getrennt voneinander zu vermitteln. Hasselhorn (2001, S. 470) plädiert daher auch dafür, dass „Metakognition im Kontext bereichsspezifischer Fertigkeiten bzw. Leistungsbereiche vermittelt“ werden solle. Die exekutive Metakognition wird in der vorliegenden Arbeit mittels einer Kurzintervention gefördert, die theoretische Überlegungen des Modelllernens verwertet.

Gliederung der Arbeit

Aus diesen beiden übergreifenden Fragestellungen resultiert die Gliederung der Arbeit. Zunächst wird das allgemeine Konzept der Metakognition im zweiten Kapitel der Arbeit genauer beschrieben. Den Stand der Forschung bezüglich der Domänenspezifität der Metakognition darzulegen, wird Aufgabe des dritten Kapitels sein. Im vierten Kapitel werden die aus den in Kapitel zwei und drei dargestellten Theorien resultierenden eigenen Überlegungen zur Metakognition beim Lernen in Chemie dargelegt und in einem Modell zusammengefasst. Hierbei wird auch darauf eingegangen, welche Lerngelegenheiten für Metakognition sich im Chemieunterricht ergeben. Das fünfte Kapitel beschäftigt sich mit Möglichkeiten der Operationalisierung der Metakognition; innerhalb dieses Kapitels wird die Entscheidung begründet, in dieser Arbeit das chemiespezifische metakognitive Wissen per Fragebogen, die exekutive Metakognition jedoch mit Hilfe der konkurrenten Methode des lauten Denkens zu erheben. Im darauf folgenden sechsten Kapitel werden Ansätze zur Förderung der Metakognition beschrieben. Der theoretische Teil der Arbeit endet im siebten Kapitel mit der Ableitung der Fragestellungen und Hypothesen für den empirischen Teil. Im achten und neunten Kapitel (empirischer Teil) werden die beiden übergreifenden Zielstellungen in empirische Studien überführt, deren Ergebnisse im zehnten Kapitel zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Chemieunterricht und für Folgestudien diskutiert werden.

2 Metakognitionsforschung

In diesem Kapitel über Theorien der Metakognition soll zunächst in Abschnitt 2.1 ihre Einbettung in allgemeinere Theorien des selbstregulierten Lernens betrachtet und dann auf Theorien der Metakognition als solche eingegangen werden. Hierdurch soll eine Strategie verfolgt werden, in der von den makroskopischeren Lerntheorien zu den spezifischeren Theorien vorgegangen wird. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass dieses Vorgehen im Kontrast zur Forschungschronologie steht, da die Anfänge der Metakognitionsforschung (Flavell, 1977; 1979) zeitlich früher liegen als die der Theorien des selbstregulierten Lernens (z. B. Zimmerman & Martinez-Pons, 1986). In Abschnitt 2.2 werden „reine“ Metakognitionstheorien vorgestellt. Aus diesem Abschnitt resultiert ein Zugrundelegen der klassischen Aufspaltung der Metakognition in metakognitives Wissen und exekutive Metakognition für diese Arbeit. Metakognitives Wissen stellt hierbei deklaratives Wissen über eigene kognitive Funktionen dar, während die exekutive Metakognition metakognitive Steuerungsprozesse, wie Planung, Monitoring und Regulation beinhaltet.

2.1 Das Konzept der Metakognition in Theorien des selbstregulierten Lernens

In den Theorien des selbstregulierten Lernens werden immer auch dem metakognitiven Wissen sowie der exekutiven Metakognition ein wichtiger Stellenwert eingeräumt. Da die Theorien des selbstregulierten Lernens in der Regel makroskopischer sind und ganze Lernsettings mitsamt Person, Aufgabe, physikalischer und sozialer Umgebung beschreiben (z. B. Kluwe, 1987), soll auf diese Theorien kurz und beispielhaft eingegangen werden. Hierdurch soll das Konzept der Metakognition in allgemeinere Lerntheorien eingebettet werden. Veenman, Van Hout-Wolters und Afflerbach (2006) verweisen allerdings darauf, dass es auch Autoren gibt, die den Begriff Selbstregulation enger fassen als das Konzept der Metakognition und ihn als ein der Metakognition untergeordnetes Konzept im Rahmen der exekutiven Metakognition begreifen.

Die Forschung zum selbstregulierten Lernen ist gekennzeichnet von dem Gebrauch einer Vielzahl von Begriffen, die in irgendeiner Weise selbständiges Lernen bezeichnen sollen. Autodidaktisches Lernen, selbstorganisiertes Lernen, self-directed-learning, selbstreguliertes Lernen, selbstgesteuertes Lernen oder selbstbestimmtes Lernen sind nur einige der verwendeten Begriffe. Für diese Begriffe existieren eine Vielzahl von Definitionen. Im englischsprachigen Raum wird in letzter Zeit recht dominierend der Begriff selbstreguliertes Lernen verwendet (z. B. Boekaerts, 1997; Zimmerman, 1994; Zimmerman, 1998; Zimmerman & Martinez-Pons, 1986), im deutschsprachigen Raum hat auch der Begriff selbstgesteuertes Lernen eine große Bedeutung. Teilweise wird im

deutschsprachigen Raum zwischen den Begriffen selbstgesteuertes und selbstreguliertes Lernen unterschieden. Selbstreguliertes Lernen ist demnach in der Tradition kybernetischer Modelle zu sehen und bezeichnet ein Lernen, welches sich ständig an einer vorher festgelegten Regelgröße ausrichtet. Selbstgesteuertes Lernen wird in dieser Unterscheidung als eine freiere Lernform angesehen, in der der Lerner selbstgewählte Lernziele „ansteuert“ (Konrad, 2005; Schreiber, 1998).

In der englischsprachigen Literatur hingegen werden unter dem Begriff Selbstregulation beim Lernen auch Inhalte gefasst, die im deutschsprachigen Raum vielleicht eher unter der Überschrift des selbstgesteuerten Lernens abgehandelt werden würden. Da in dieser Arbeit jedoch englischsprachige Ansätze eine wichtige Rolle spielen, soll auch die Begrifflichkeit des selbstregulierten Lernens für diese Arbeit übernommen werden. Damit ist das inklusive Verständnis des Begriffes gemeint, der auch selbstgesteuertes Lernen mit einschließt. Diese Tendenz, die beiden Begriffe zusammenzufassen, lässt sich inzwischen auch in der deutschen Literatur beobachten (Brunstein & Spörer, 2001).

Eine allgemeine Definition des selbstregulierten Lernens ist, dass Personen ihr Lernen selbst regulieren, indem sie metakognitiv, motivational und behavioral aktiv sind. Diese Definition findet sich bei Zimmerman (1989). Auch Weinert (Weinert, 1982; 1996) unterscheidet verschiedene Komponenten des selbstregulierten Lernens, die jedoch nicht nur auf die Aktivitäten des Lerners eingegrenzt, sondern auch als Voraussetzung und Ziel des Lernens begriffen werden. Zu unterscheiden sind dieser Definition nach die kognitiven, metakognitiven und motivationalen Komponenten des selbstregulierten Lernens.

Unter der kognitiven Komponente des selbstgesteuerten Lernens werden häufig prozedurales und deklaratives Wissen gefasst. Hierbei wird dem domänenspezifischen Vorwissen eine entscheidende Rolle zugesprochen (Boekaerts, 1997). Die motivationale Komponente ist notwendig für die Initialisierung und Aufrechterhaltung des Lernens (Schunk, 1994). Aus motivationalen Tendenzen resultiert ein aktiver Lerner, der sich angemessene Ziele setzt, nach Rückmeldung sucht, seine Lernergebnisse realistisch aber selbstwertdienlich attribuiert (Weinert, 1996). Die metakognitive Komponente enthält als Lernervoraussetzung Wissen über Aufgaben und Strategien; im Lernprozess kommen metakognitive Strategien wie das Planen, Überwachen und Kontrollieren zum Einsatz (Weinert, 1982).

Im Folgenden sollen exemplarisch zwei wichtige, neuere und vor allem umfassende Theorien des selbstregulierten Lernens dargestellt werden, und zwar die Modelle von Zimmerman (1989b; 1998; Zimmerman & Martinez-Pons, 1992) und das von Boekaerts (1997). Hierbei soll die Rolle der Metakognition in beiden Theorien herausgearbeitet und verglichen werden.

Zimmerman beschrieb zunächst eine sozial-kognitive Perspektive auf das selbstregulierte Lernen (Zimmerman, 1989b; Zimmerman, Bandura & Martinez-Pons, 1992; Zimmerman & Martinez-Pons, 1992). Aus dieser Perspektive spielt neben dem Einsatz von Lernstrategien beim selbstregulierten Lernen, die Wahrnehmung der instrumentellen Wirksamkeit solcher Lernstrategien und die Wahrnehmung der eigenen Selbstwirksamkeit eine entscheidende Rolle. Obwohl alle Lerner in irgendeinem Ausmaß Strategien benutzen, unterscheiden sie sich darin, inwieweit sie sich über die benutzten Strategien bewusst werden. Die Nutzung von Lernstrategien wird hierdurch von dem Wissen über Strategien getrennt. Zimmerman stellt auf Grund der Beobachtung von individuellen Unterschieden Lernender ein triadisches System der Selbstregulation auf (siehe Tabelle 1).

In diesem Modell werden personale, behaviorale und Umgebungseinflüsse auf das selbstregulierte Lernen zusammengefasst. Diese Einteilung geht auf Banduras (1986) sozial-kognitive Theorie des Lernens zurück.

Tabelle 1: Triadische Einflüsse in einem selbstregulierten Lernstrategiensystem (Zimmerman & Martinez-Pons, 1992, übersetzt durch die Verfasserin)

| Einflüsse der Person | Behaviorale Einflüsse | Umgebungseinflüsse |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| Ziele | Selbstbeobachtung * Monitoring von Strategien | Akademische Ergebnisse |
| Selbstwirksamkeit | Selbstbeurteilung * Attribution von Strategien | |
| Metakognition * Bewusstsein über Strategien | Selbstreaktion * Strategienutzung | |
| Wissen * Strategiewissen | | |
| Affekt | | |
| * Strategische Komponenten der akademischen Selbstregulation | | |

Unter den *personalen Einflüssen* findet sich neben den Zielen, die sich eine Person setzt, der wahrgenommenen Selbstwirksamkeit und der Emotion auch das Bewusstsein über Strategien, welches laut Zimmerman und Martinez-Pons (1992) eine Art Metakognition ist. Auch das Strategiewissen könnte man als metakognitives Wissen klassifizieren, obwohl Zimmerman und Martinez-Pons es als rein kognitive Wissenskomponente einordnen. Auf das Verhältnis der Begriffe Kognition und Metakognition wird in Abschnitt 2.2.2 genauer eingegangen.

Unter die *behavioralen Einflüsse* auf das selbstregulierte Lernen fassen die Autoren die Selbstbeobachtung, die Selbstbeurteilung und die Selbstreaktion. Unter die behaviorale

Kategorie der Selbstbeobachtung wird das Verhalten des Strategiemonitorings gefasst, welches das Monitoring der eigenen kognitiven Aktionen, der situationalen Faktoren und der Effektivität von Strategien umfasst. Dieses Monitoring wird von den Autoren auch als metakognitives Monitoring bezeichnet und kann daher der exekutiven Metakognition zugeordnet werden. Unter die Selbstbeurteilung fällt die Attribution von Strategien. Selbstbeurteilung wird von Selbstbeobachtung unterschieden, da Lerner mit ähnlichen Selbstbeobachtungen diese Beobachtungen ganz unterschiedlich attribuieren können. Die Selbstbeobachtung und die Selbstbeurteilung der Person kann nun zu einer Selbstreaktion des Lerners führen, die sich in der tatsächlichen Strategienutzung ausdrückt.

In die dritte Einflusskategorie auf das selbstgesteuerte Lernen fallen schließlich *Umgebungseinflüsse*, diese können z. B. Schulnoten oder soziales Ansehen sein.

Die drei Einflussgruppen (Verhaltens-, Umgebungs- und Personenfaktoren) unterliegen laut Zimmerman und Martinez-Pons (1992) einer wechselseitigen Abhängigkeit, die bei Schunk (1989) und bei Zimmerman (1989b) genauer dargestellt wird.

In einer neueren Theorieentwicklung beschreibt Zimmerman (1998) ein zyklisches Lernmodell (siehe Abbildung 1). Eine Annahme ist hierbei wieder, dass die Prozesse, die in diesem Lernmodell zusammengefasst werden, im Prinzip von allen Lernern ausgeführt werden, aber die Güte der Ausführung dramatisch schwankt.

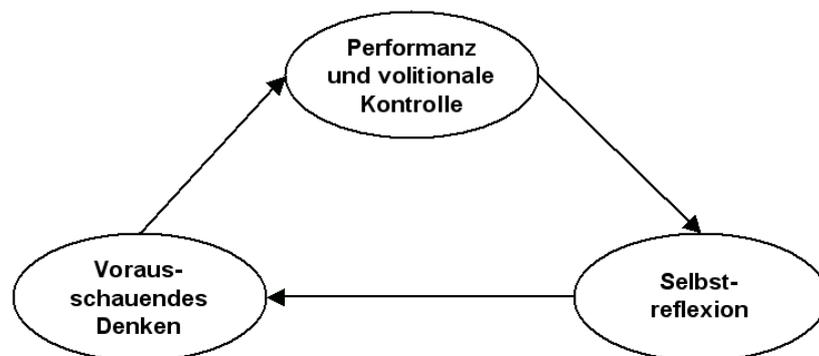


Abbildung 1: Zyklische Phasen akademischen Lernens (Zimmerman, 1998, übersetzt durch die Verfasserin)

Unter der Kategorie des *vorausschauenden Denkens* werden folgende Konstrukte zusammengefasst: Zielsetzung, strategische Planung, Selbstwirksamkeitsüberzeugung, Zielorientierung und intrinsisches Interesse (siehe Tabelle 2). Erfahrene Lerner und unerfahrene Lerner unterscheiden sich in der Qualität der Prozesse des selbstgesteuerten Lernens. Unerfahrene Lerner wählen sich eher unspezifische und weit entfernte Ziele, während erfahrene Lerner hierarchische Zielstrukturen aufbauen. Erfahrene Lerner haben dabei eher eine *mastery goal orientation*, d.h. sie sehen den Lernprozess als eine

Chance, ihr Können zu verbessern, während unerfahrene Lerner eher eine *performance goal orientation* auszeichnet, d. h. sie richten ihr Lernen an der Erwartung einer Bewertung ihrer Lernperformanz aus. Erfahrene selbstregulierte Lerner unterscheiden sich außerdem von unerfahrenen Lernern durch eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung, ein eher intrinsisches Interesse am Lernen sowie eine geringere Abhängigkeit von externen sozialen Einflüssen und Belohnungen (vgl. auch Deci & Ryan, 1993). Aus Sicht der Metakognitionsforschung fallen insbesondere die Prozesse der Zielsetzung und strategischen Planung dieses Phasenmodells unter den Begriff der exekutiven Metakognition.

Tabelle 2: Teilprozesse der Selbstregulation (nach Zimmerman, 1998, übersetzt durch die Verfasserin)

| Vorausschauendes Denken | Performanz/volitionale Kontrolle | Selbstreflexion |
|--------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| Zielsetzung | Fokussierung der Aufmerksamkeit | Selbstevaluation |
| Strategische Planung | Selbstinstruktion | Attributionen |
| Selbstwirksamkeitsüberzeugung | Selbstmonitoring | Selbstreaktionen |
| Zielorientierung | | Adaptivität |
| Intrinsisches Interesse | | |

Auch bei den Prozessen der *Performanz, oder volitionalen Kontrolle* (siehe Tabelle 2) zeigen sich Unterschiede in der Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit zwischen Lernern mit unterschiedlichen Expertisegraden. Es hat sich gezeigt, dass unerfahrene Lerner eher lageorientiert sind, d. h. sich eher auf Umgebungsvariablen oder emotionale Zustände konzentrieren, während der fortgeschrittene selbstregulierte Lerner handlungsorientiert agiert und auf die eigene Performanz achtet. Eine der wichtigsten Unterschiede zwischen fortgeschrittenen und naiven Selbstregulierern ist laut Zimmerman (1998) der Grad des Selbstmonitorings. Auch dieses Konstrukt kann unter die exekutive Metakognition gefasst werden. Selbstmonitoring bedeutet die ständige Beobachtung des eigenen Lernverhaltens. Aus dieser Selbstbeobachtung kann der Lerner Informationen über seine Lernperformanz ableiten. Weniger gut selbstregulierte Lerner beobachten sich nicht systematisch.

Während der Phase der Selbstreflexion beziehen sich die fortgeschrittenen Selbstregulierer direkt auf die Informationen, die sie aus dem Selbstmonitoring abgeleitet haben, indem sie z. B. neue Lernergebnisse mit früheren vergleichen. Unerfahrene Lerner nehmen eine Selbstbewertung eher auf der Basis eines sozialen Vergleichs mit anderen vor, was dysfunktional sein kann. Diese Form der Selbstevaluation kann ebenfalls unter das Konzept der exekutiven Metakognition gefasst werden. Auch in der Attribution unterscheiden sich die unerfahrenen Lerner von den erfahreneren. Während erfahrene Lerner Misserfolge eher auf mangelnden

Strategieeinsatz oder Lernmethoden attribuieren, neigen unerfahrene Lerner eher zu einer Attribution auf Begabung.

Wie beschrieben sind viele der Prozesse, die Zimmerman (1998) in seinem zyklischen Modell des selbstregulierten Lernens darstellt, der exekutiven Metakognition zuzurechnen; der Einfluss des metakognitiven Wissens wird jedoch im Gegensatz zum Modell von 1992 (siehe Tabelle 1) nicht mehr explizit beschrieben. Die Rolle des metakognitiven Wissens wird deutlicher, wenn man den zuerst beschriebenen sozialkognitiven Ansatz des selbstregulierten Lernens betrachtet. Hier werden das Bewusstsein über den Strategieeinsatz und das Strategiewissen als Personenvariablen aufgeführt. Beide Variablen lassen sich unter dem Begriff des metakognitiven Wissens zusammenfassen.

Im Gegensatz zu Zimmerman, der sich auf den gesamten Lernprozess bezieht, konzeptualisiert Boekaerts (1997) zunächst nur die Voraussetzungen, beschreibt dann aber Interventionsmöglichkeiten, die sowohl bei den Lernervoraussetzungen als auch im Lernprozess greifen sollen. Ihr Sechs-Komponenten-Modell des Vorwissens für das selbstregulierte Lernen möchte sie als ein heuristisches Modell verstanden wissen, welches unterschiedliche Typen von Lernervoraussetzungen systematisiert. Ihr Modell umfasst drei Ebenen: die Ebene des domänenspezifischen Wissens, die Ebene der Strategienutzung und die Ebene der Ziele. Auf jeder Ebene lassen sich Komponenten der kognitiven und motivationalen Selbstregulation unterscheiden (siehe Tabelle 3).

Boekaerts unterscheidet bei jeder der sechs Komponenten zwischen dem prinzipiellen Vorhandensein eines Lernermerkmals und der Zugänglichkeit in einer domänenspezifischen, gegebenen Situation. Vorhandene Strategien oder Wissensbestände werden also nicht automatisch auf neue Aufgabensituationen übertragen.

In der vierten Komponente fasst sie alles Wissen über Kognition (also metakognitives Wissen) und Motivation zusammen, plädiert jedoch dafür, die Metakognition und die motivationalen Überzeugungen zu trennen, um die Erklärungskraft der Konstrukte nicht zu schmälern: „Metacognitive knowledge allows students to better comprehend, monitor or assess conceptual and procedural knowledge related to a domain, whereas motivational beliefs help them to sustain motivation“ (Boekaerts, 1997, S. 166). Hier wird auch deutlich, dass Boekaerts diese Wissenskomponenten als domänenspezifisch einstuft, dementsprechend ist die vierte Komponente, die metakognitives Wissen beinhaltet, auch auf der Ebene des domänenspezifischen Vorwissens zu finden.

Auch die exekutive Metakognition wird in dem Modell von Boekaerts (1997) abgebildet. Sie verortet die exekutive Metakognition in der dritten Komponente, den kognitiven Regulationsstrategien. Auch das Generieren von Fragen und die

Korrekturstrategien der zweiten Komponente könnten zumindest als durch exekutive Metakognition eingeleitete Strategien angesehen werden.

Tabelle 3: Sechs-Komponenten-Modell des selbstregulierten Lernens (modifiziert nach Boekaerts, 1997)

| | Kognitive Selbstregulation | Motivationale Selbstregulation |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Domänen-spezifisches Wissen | <p>1) <i>Inhaltliches Wissen</i> Begriffliches und prozedurales Wissen Fehlkonzepte Träges Wissen</p> | <p>4) <i>Metakognitives Wissen und motivationale Überzeugungen</i> Domänenspezifische, aufgabenbezogene Überzeugungen, Einstellungen und Werte Überzeugungen über Strategien Überzeugungen über die eigene kognitive Kapazität Zielorientierung</p> |
| Strategienutzung | <p>2) <i>Kognitive Strategien</i> Selektive Aufmerksamkeit Dekodierung Wiederholung Elaboration Strukturierung Generierung von Fragen Aufrufen und Anwenden von Regeln Korrektur: Wiederverwendung einer Regel, suchen nach einer neuen Regel, Entscheidung der Nicht-Verfügbarkeit einer Regel Automatisierung einer Fertigkeit</p> | <p>5) <i>Motivationale Strategien</i> Bildung einer Lernintention Coping-Prozesse Prospektive und retrospektive Attributionen Anstrengungsvermeidung Nutzung sozialer Ressourcen</p> |
| Ziele | <p>3) <i>Kognitive Regulationsstrategien</i> Mentale Repräsentation der Lernziele Erstellen eines Handlungsplans Monitoring des Lernfortschritts und Evaluation der Lernzielerreichung</p> | <p>6) <i>Motivationale Regulationsstrategien</i> Mentale Repräsentation der Verhaltensintention Verbindung der Verhaltensintention mit dem Handlungsplan Aufrechterhalten des Handlungsplans bei Auftreten von Störungen und alternativen Handlungstendenzen Sich aus Handlungsplan und Verhaltensintention zurückziehen.</p> |

Sowohl bei Boekaerts als auch bei Zimmerman und Mitarbeitern spielen metakognitives Wissen und exekutive Metakognition in ihrem Verständnis des selbstregulierten Lernens also eine wichtige Rolle. In beiden Theorien werden diese beiden Komponenten der Metakognition getrennten Funktionen zugeordnet. Metakognitives Wissen fällt bei

Zimmermans sozial-kognitiver Theorie des selbstregulierten Lernens (Zimmerman, 1989b) unter die Personenfaktoren. Boekaerts konzeptualisiert das metakognitive Wissen als domänenspezifisches Vorwissen, welches in einer gegebenen Lernsituation mehr oder weniger zugänglich sein kann. Beide Autoren sehen das metakognitive Wissen also als einen deklarativen Wissensbestand an, welchen der Lerner in eine Lernsituation mitbringt und mehr oder weniger anwenden kann. Elemente der exekutiven Metakognition finden sich bei Zimmerman in seiner sozial-kognitiven Theorie des selbstregulierten Lernens unter den behavioralen Einflüssen. In seinem zyklischen Phasenmodell sind diese Elemente in allen drei Phasen zu finden. Bei Boekaerts sind Verhaltensweisen der exekutiven Metakognition unter andere, eher kognitive (Regulations-)strategien eingeordnet. Sowohl Boekaerts als auch Zimmerman verorten die exekutive Metakognition also direkt im Lernprozess, in dem sie mit kognitiven Lernstrategien interagiert. Zimmerman legt dabei durch die Formulierung unterschiedlicher Phasen des Lernens einen größeren Schwerpunkt auf den zeitlichen Ablauf des Lernprozesses, während Boekaerts die Lernstrategien, die im Lernprozess wirksam werden, zunächst innerhalb der Lernvoraussetzungen systematisiert.

2.2 Theorien der Metakognition

2.2.1 Zwei-Komponenten-Sichtweise der Metakognition

Die Art der Verwendung des Begriffes Metakognition in der Forschung zum selbstregulierten Lernen zeigt schon, dass das Konzept ein vielschichtiges ist. Konstrukte wie metakognitive Überzeugungen, metakognitive Bewusstheit, metakognitives Wissen, exekutive Fertigkeiten, Metagedächtnis, Monitoring oder Lernstrategien werden in diesem Forschungsfeld zusammengeführt (Veenman et al., 2006). Brown (1984, S. 60) bezeichnete daher auch manche der in der Literatur auffindbaren Konzeptionen der Metakognition als „recht geheimnisvoll und rätselhaft“. Eine grundlegende Definition der Metakognition, die von viele Forschern geteilt wird, ist, dass es sich um eine Form des Denkens handelt, die sich selbst zum Gegenstand hat oder sich auf kognitive Aspekte des Tuns richtet (Fischer & Mandl, 1983).

Wie schon beschrieben, ist eine häufige Systematisierung des Konzeptes der Metakognition eine Aufteilung in zwei Komponenten: die des metakognitive Wissens und die der exekutiven Metakognition. Diese grundlegende Aufteilung geht auf die Anfänge der Metakognitionsforschung zurück und ist bis heute bei vielen Autoren zu finden. Brown (1984, S. 63) bezeichnet diese beiden unterscheidbaren Klassen mit *Wissen über Kognition* und *Steuerung der Kognition*, die eng miteinander verknüpft sind, „da sie sich gegenseitig verstärken; Versuche sie auseinanderzuhalten führen jedoch zu allzu starken Vereinfachungen“.

Flavell hat besonders den Aspekt des metakognitiven Wissens weiter ausdifferenziert (Flavell, 1977). Metakognitives Wissen besteht demnach aus Wissen oder Überzeugungen über verschiedene Variablen (Person, Aufgabe und Strategien), die miteinander interagierend einen kognitiven Prozess beeinflussen können. Das *metakognitive Wissen über Personen* umfasst alles Wissen über sich und andere in einem Informationsverarbeitungsprozess. Es kann Wissen über intraindividuelle Unterschiede (z. B., dass man selbst besser durch Hören als durch Lesen lernt), interindividuelle Unterschiede (z. B., dass ein Freund besser arithmetische Probleme lösen kann als man selbst) und allgemeingültiges Wissen über Kognition (z. B., dass es viele unterschiedliche Arten und Stufen des Verständnisses gibt) enthalten. *Metakognitives Wissen über Aufgaben* kann z. B. Überzeugungen enthalten, welche Herausforderungen und Ziele bestimmte Arten von Aufgaben mit sich bringen. *Metakognitives Wissen über Strategien* bezeichnet sowohl das Wissen über kognitive als auch über metakognitive Strategien. Diese dritte Wissenskategorie enthält auch Vorstellungen darüber, welche Strategien besonders erfolgreich sind. Bei der Anwendung der drei Wissenskategorien interagieren diese miteinander, indem der Lernende z. B. Annahmen darüber anstellt, welche Strategien, bei einer bestimmten Aufgabe, von seiner eigenen Person erfolgreich angewendet werden können.

Die zweite Komponente der Metakognition, die exekutive Metakognition oder Steuerung der Kognition, ist laut Brown (1984) gekennzeichnet durch Aktivitäten der Planung, Überwachung und Kontrolle. In der Planung des Lernens werden Entscheidungen über Vorgehen und passende Strategien getroffen, die Überwachung oder Monitoring sichert den erfolgreichen Einsatz von Lernstrategien, durch Kontrollprozesse wird der Lernfortschritt überprüft (z. B. Hasselhorn, 1992; Seel, 2003). Manchmal wird noch unterschieden zwischen der Kontrolle während des Lernprozesses und der abschließenden Bewertung oder Evaluation, die am Ende der Aufgabe vorgenommen wird (Konrad, 2005; Seel, 2003).

Ein anderes Beispiel für die Unterteilung des Konzeptes der Metakognition liefert Schneider (2001). In Anlehnung an die Gedächtnisforschung unterteilt er das Konstrukt in das deklarative und das prozedurale Metagedächtnis. Hinter den Begriffen findet sich wie bei anderen Autoren beim deklarativen Metagedächtnis das metakognitive Personen-, Aufgaben- und Strategiewissen und beim prozeduralen Metagedächtnis die Überwachungs- bzw. Kontrollfunktion der Metakognition. Schneider und Pressley (1998) bezeichnen das prozedurale Metagedächtnis als implizites und unbewusstes Wissen, das deklarative Metagedächtnis als explizites, bewusstes Wissen. Butterfield, Albertson und Johnson (1995) unterscheiden zwischen den Komponenten metakognitive Überwachung und metakognitives Verständnis und ordnen diese, ähnlich wie Schneider und Pressley, qualitativ unterschiedlichen Teilen des Gedächtnisses zu. Während die metakognitive Überwachung im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sei,

befinde sich das metakognitive Verständnis im Langzeitgedächtnis. Diese Annahme hat auch einen Einfluss auf die Operationalisierung der verschiedenen Komponenten der Metakognition (siehe Kapitel 5).

Als dritte Komponente führten Paris und Mitarbeiter (Paris et al., 1984; Paris & Jacobs, 1984) das konditionale Metawissen ein, welches das Wissen darüber bezeichnet, welche Strategien in bestimmten Aufgabensituationen besonders passend sind. Insofern weist das konditionale Metawissen einige Ähnlichkeit mit dem metakognitiven Aufgabenwissen von Flavell (1977) auf.

Die Benennung der gängigen beiden Unterklassen des Konstrukts sind häufig recht unterschiedlich. In dieser Arbeit sollen die eher deklarativen Inhalte der Metakognition *metakognitives Wissen* genannt werden, während die prozedurale Steuerung des Lernprozesses als *exekutive Metakognition* bezeichnet wird. Diese beiden Komponenten werden in letzter Zeit häufig unter dem Begriff *metakognitive Kompetenz* zusammengefasst (z. B. Weinert, 1996).

2.2.2 Verhältnis der Metakognition zu Kognition und Motivation

Da die Metakognition ein vielschichtiges Konzept ist, ist die Abgrenzung von anderen Konstrukten der Pädagogischen Psychologie teilweise schwierig und diskutierbar. Daher ist eine Abgrenzung gegenüber anderen Konstrukten aber umso wichtiger. Im Folgenden sollen die Abgrenzungen zur Kognition und Motivation erörtert werden.

Eine grundlegende Definition der Metakognition ist, dass sie sich durch das Denken über das eigene Denken auszeichnet, woraus sich die Frage ableiten lässt, wie sich Kognition und Metakognition zueinander verhalten. Veenman et al. (2006) sieht in dieser Frage das klassische Homunculus-Problem: „There is a higher-order agent overlooking and governing the cognitive system, while simultaneously being part of it“ (S. 5). Die Metakognition ist also durch die Kognition determiniert, es ist schwer metakognitives Wissen in einer Domäne anzuwenden, in der man über zu wenig deklaratives Wissen verfügt (siehe auch Abschnitt 3.2.1.2). Die Kognition ist als ein Vehikel der Metakognition anzusehen, z. B. müssen metakognitive Selbstinstruktionen kognitiv ausgeführt werden. Das Ergebnis der kognitiven Aktivität wiederum kann metakognitiv bewertet werden, das Verhältnis von Kognition und Metakognition kann also häufig ein zirkuläres sein. Auch Flavell (1979) weist darauf hin, dass metakognitives Wissen sich nicht qualitativ von anderem Wissen unterscheidet, welches im Langzeitgedächtnis gespeichert ist. Metakognition kann z. B. als Ergebnis einer Suche nach einer geeigneten Strategie aktiviert werden oder einfach automatisch auf Grund eines Hinweisreizes in der Lernsituation. Flavell hält also einen unbewussten Einsatz der Metakognition für möglich. Auch Boekaerts (1997) beschreibt, dass

selbstregulierte Lernprozesse mit wachsendem Expertentum in einer Domäne automatisiert werden können. Strategien, zu denen sicher auch die metakognitiven Strategien zu zählen sind, werden zunächst bewusst angewandt und dann mit wachsender Expertise automatisiert eingesetzt. Man kann hierbei auch von einer Bewusstseinsfähigkeit, jedoch nicht -pflichtigkeit, der Metakognition sprechen (Artelt, 2000a). Schnotz (1992) lehnt es ab, unter dem Konzept der Metakognition auch unbewusste Prozesse zu fassen, da höhere Denkprozesse wie die Metakognition bewusst ablaufen müssten. Es ergibt sich durch das Zulassen unbewusster oder automatisierter Prozesse auch ein Problem für die Forschung: beforcht werden können nur potentiell bewusstseinsfähige Denkinhalte. Auf dieses Problem wird in Abschnitt 5.2.2 näher eingegangen. Trotzdem ist davon auszugehen, dass z. B. metakognitive Kontrollprozesse von Lernexperten automatisiert angewandt werden können. Bewusst darüber wird sich der Lerner häufig erst dann, wenn ein Fehler oder ein ungewöhnliches Ereignis im Lernprozess auftritt. Auch für Inhalte des Metagedächtnisses nahm schon Flavell (1979) an, dass es in vielen Fällen nur implizit vorhanden ist und gewöhnlich nur durch bestimmte *cues* aktiviert wird.

Hinsichtlich der Frage der Abgrenzung von Kognition und Metakognition können auch neuropsychologische Erkenntnisse zu Rate gezogen werden. Während in der Neuropsychologie lange Zeit strategische Fähigkeiten nicht genau definiert und daher auch nicht weiter unterteilt wurden, zeigt sich in einer neueren Arbeit mit Hilfe der funktionellen Magnet-Resonanz-Tomografie (fMRT) ein qualitativer Unterschied zwischen kognitiven und metakognitiven Strategien (Goebel, 2007).

Ein weiteres Argument dafür, Metakognition als ein eigenes Konzept neben der Kognition zu untersuchen, ist die Qualität metakognitiver Variablen als Prädiktor. Schneider (1985) konnte in einer Metaanalyse einen substantiellen Zusammenhang von $r = .41$ zwischen Metakognition und Lernleistung zeigen. Auch in Regressionsanalysen erwiesen sich metakognitive Variablen sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen als beste Prädiktoren (Weinert, 1984). In einer neueren Publikation (Veenman, Wilhelm & Beishuizen, 2004) finden sich Hinweise, dass die intellektuellen und metakognitiven Fähigkeiten zwar korreliert sind, aber Faktoren, die metakognitive Fähigkeit messen, noch zusätzliche Varianz gegenüber kognitiven Fähigkeitsfaktoren bezüglich Lernerfolgsriterien aufklären. Im Mittel klären kognitive Faktoren 10% der Varianz in dieser Studie auf, während metakognitive Fähigkeiten 17% der Varianz des Lernerfolgs aufklären; die gemeinsame aufgeklärte Varianz beider Faktoren liegt in diesen Untersuchungen bei 20%. Veenman et al. (2006) vermuten daher, dass Metakognition fehlende kognitive Fähigkeiten sogar kompensieren kann. Diese Sicht wird von Wang, Haertel und Walberg (1990) bestätigt. In ihrem Reviewartikel stellte sich die Metakognition als der wichtigste Prädiktor des Lernens, weit vor kognitiven Variablen,

heraus. Weitere Studien zum Einfluss der Metakognition auf die Lernleistung finden sich in Kapitel 6, in dem es um die Trainierbarkeit von Metakognition geht.

Nachdem nun die Abgrenzung zwischen Metakognition und Kognition diskutiert wurde, soll das Verhältnis der Metakognition zur Motivation näher betrachtet werden. Eine Möglichkeit zur Untersuchung der exekutiven Metakognition ist die Erfassung der Prognosegenauigkeit. Die Probanden sollen hierbei einschätzen, wieviel sie bei einer Gedächtnisaufgabe behalten können (Schneider, 1989). Dasselbe Paradigma wird jedoch auch in motivationspsychologischen Arbeiten zur Leistungserwartung angewandt (Weinert, 1984). Variablen der Leistungsmotivation, wie z. B. Kausalattributionen oder das Anspruchsniveau, können Leistungsprognosen nachhaltig beeinflussen. Hasselhorn (2001) spricht daher von einem komplementären Zusammenhang von motivationalen Prozessen und der Metakognition; Weinert (1984, S. 17) konstatiert eine offensichtliche Überlappung „bei den jeweils berücksichtigten Modellvariablen und deren Operationalisierungen“ der Metakognitions- und Motivationsforschung. Die Metakognition scheint im Allgemeinen also nicht unabhängig von Motivationseinflüssen. Einige Autoren fassen daher unter das Konzept des metakognitiven Wissens auch motivationale Überzeugungen wie die Selbstwirksamkeitserwartung, Kontrollüberzeugungen oder Begabungsselbstkonzepte (Seel, 2003). Trotzdem sollten nicht voreilig motivationale Variablen unter dem Konzept der Metakognition subsummiert werden. In den Arbeiten zum selbstregulierten Lernen (siehe Abschnitt 2.1.) gelingt es inzwischen recht schlüssig, beide Konstrukte miteinander in Beziehung zu setzen, ohne sie gleichzusetzen. Als Argument hierfür sei ein analoges angeführt wie auch schon für die Trennung von Kognition und Metakognition: Eine Vermischung der Konstrukte der Metakognition und Motivation birgt die Gefahr eines Einbüßens von Erklärungskraft beider Konstrukte (siehe auch Boekaerts, 1997).

2.2.3 Neuere Modelle der Metakognition

Neuere Modelle der Metakognition sind häufig komplexer als die traditionelle Zwei-Komponenten-Sichtweise. Es sollen nun zwei neuere Metakognitionsmodelle oder -systematisierungen von Hasselhorn (1992) und Borkowski und Mitarbeitern (Borkowski, Millstead & Hale, 1988; Borkowski & Muthukrishna, 1992; Borkowski & Turner, 1990) vorgestellt werden. Im Anschluss daran soll die Reflexion, die als Bindeglied zwischen exekutiver Metakognition und metakognitiven Wissen fungiert, als zentrales Element metakognitiver Lernprozesse beschrieben werden (Ertmer & Newby, 1996).

Hasselhorn (1992) unterscheidet in seinem integrativen Klassifikationsschema fünf Subkategorien der Metakognition:

- *Systemisches Wissen:* Hierunter wird Wissen über das eigene kognitive System und seine Funktionsgesetzmäßigkeiten sowie Wissen über Lernanforderungen und Strategien gefasst.
- *Epistemisches Wissen:* Hiermit ist sowohl das Wissen über aktuelle kognitive Zustände bzw. Lernbereitschaften gemeint als auch das Wissen über Inhalte, Verwendungsmöglichkeiten und Grenzen des eigenen Wissens.
- *Exekutive Prozesse (Kontrolle):* Darunter fallen bei Hasselhorn die Planung, Überwachung und Steuerung von Lernprozessen.
- *Sensitivität:* Hier werden Erfahrungswissen und Intuition subsummiert.
- *Metakognitive Erfahrungen:* Bewusste kognitive und affektive Zustände.

Hasselhorn integriert mit dieser Systematisierung verschiedene theoretische Ansätze, die teilweise vorher schon erwähnt wurden. Mit der Unterteilung der Wissenskomponente in systemisches und epistemisches Wissen bezieht er sich auf Cavanaugh (1989; zitiert nach Hasselhorn, 1992). Allgemeines Wissen über kognitive Funktionen und Gesetzmäßigkeiten fällt dabei unter den systemischen Wissensaspekt, während das Wissen über aktuelle Gedächtniszustände und das Wissen über das eigene Wissen und seine Lücken dem epistemischen Wissen zugeordnet wird. Die Kategorisierung der exekutiven Metakognition entspricht der von Brown (1984). Die letzten beiden Kategorien der Sensitivität und der metakognitiven Erfahrung sind schon in den Arbeiten von Flavell (1977; 1979) zu finden. Hasselhorn legt mit seiner Systematisierung ein umfassendes, weit aufgefüchertes Konzept der Metakognition vor, in das die Ideen verschiedenster Autoren eingegliedert werden. Er macht jedoch keine systematischen Aussagen darüber, wie sich die einzelnen Kategorien zueinander verhalten und beeinflussen.

Diese Lücke versuchen Borkowski und Mitarbeiter zu schließen, indem sie Modelle aufstellen, die Einflüsse verschiedener metakognitiver Komponenten auf das Lernen beschreiben sollen. Im Folgenden soll auf ein Modell von Borkowski und Muthukrishna (1992; 1995) genauer eingegangen werden, welches auf dem Modell von Borkowski und Turner (1990) aufbaut. In diesem Modell beschreiben die Autoren besonders die Zusammenhänge zwischen Metakognition, strategischem Lernen und Lernleistung näher (siehe Abbildung 2). Eine wichtige Variable ihres Modells ist das *spezifische Strategiewissen*, welches das Wissen über spezifische Strategien und ihre Anwendbarkeit, Möglichkeiten und Grenzen in bestimmten Aufgabensituationen beschreibt. Dieses strategische Wissen wird vom Lerner während seiner Lernerfahrungen in den verschiedensten Aufgabensituationen erworben und modifiziert. Das spezifische Strategiewissen steht also in einer bidirektionalen Beziehung zur

Strategieanwendung. Das Wissen um Strategien führt nicht nur zur *Strategieanwendung*, sondern kann umgekehrt auch durch die Erfahrung der Strategieanwendung modifiziert werden. Der Lerner lernt durch die Strategieanwendung auch, verschiedene Strategien hinsichtlich ihrer Wirksamkeit in bestimmten Aufgabensituationen zu unterscheiden. Dieses Wissen über die Differenzierung von Strategien nannten Borkowski und Turner (1990) in ihrem früheren Modell relationales Strategiewissen, welches im neueren Modell jedoch mit unter das spezifische Strategiewissen gefasst wird. Das spezifische Strategiewissen hängt in seiner Entstehung und seiner Nutzung entscheidend von den *exekutiven Prozessen* ab. Die exekutiven Prozesse führen zur Initiierung, Durchführung und Bewertung von Lernstrategien und tragen dadurch zum Ausbau des Strategiewissens bei (siehe Abbildung 2). Die exekutiven Prozesse werden durch die Art der *Aufgabe* beeinflusst. So sind in verschiedenen Phasen der Aufgabenbearbeitung verschiedene Arten von exekutiven Prozessen oder Metakognitionen prominent. Während anfangs die Planung eine große Rolle spielt, kommt im weiteren Lernprozess der Kontrolle der Lernzielerreichung eine größere Bedeutung zu; tauchen bei der Lernzielerreichung Probleme auf, erfolgen Regulationsaktivitäten und am Ende des Lernprozesses steht eine abschließende Evaluation.

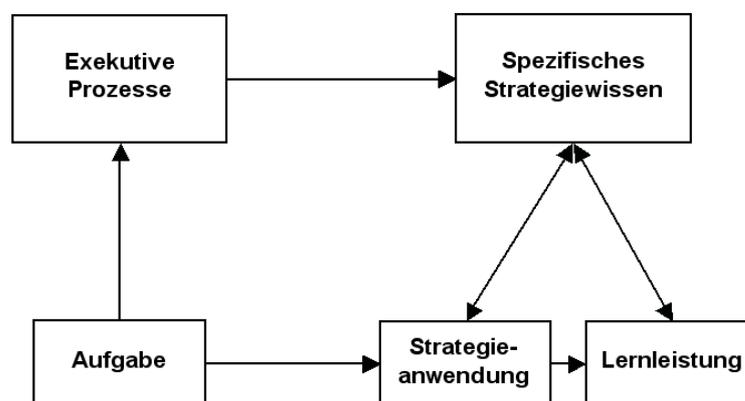


Abbildung 2: Exekutive Funktionen und Strategienutzung (modifiziert nach Borkowski & Muthukrishna, 1992; 1995)

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Modells ist die Beeinflussung der *Lernleistung*. Sowohl die Strategieanwendung als auch das spezifische Strategiewissen beeinflussen die Lernleistung. Auch umgekehrt gibt die erzielte Lernleistung dem Lerner Informationen über den Erfolg bestimmter Lernstrategien und beeinflusst so das spezifische Strategiewissen.

Im Modell von Borkowski und Muthukrishna werden verschiedene Komponenten der Metakognition in überzeugender Weise miteinander in Beziehung gesetzt. Doch auch hier bildet das traditionelle Zwei-Komponenten-Modell der Metakognition mit

metakognitivem Wissen und exekutiver Metakognition den Kern. Den Zusammenhang zwischen diesen beiden Komponenten näher zu beschreiben, ist die Zielrichtung einer weiteren neueren Theorie, die die Reflexion als Bindeglied zwischen exekutiver Metakognition und metakognitivem Wissen betrachtet (Ertmer & Newby, 1996; Seel, 2003). Die Annahme dieser Theorie, dass die Reflexion als Bindeglied zwischen dem metakognitiven Wissen und der exekutiven Metakognition fungiert, ist in Abbildung 3 veranschaulicht. Auch das Modell von Borkowski und Muthukrishna (1992) beschreibt eine Beeinflussung des metakognitiven Wissens durch die exekutive Metakognition; Brown (1984) warnte davor, die beiden Komponenten zu isolieren. Es muss vielmehr davon ausgegangen werden, dass das Nachdenken des Lerners über die eigenen Lernprozesse zu Veränderungen der künftigen Informationsverarbeitung führt und zu zunehmendem metakognitiven Wissen über das Lernen (Seel, 2003). Umgekehrt ermöglicht die Reflexion über den Lernprozess dem Lernenden, sein metakognitives Wissen über Aufgaben, verfügbare Strategien und die eigene Person während der verschiedenen Phasen exekutiver Metakognition (Planung, Monitoring, Regulation) anzuwenden.

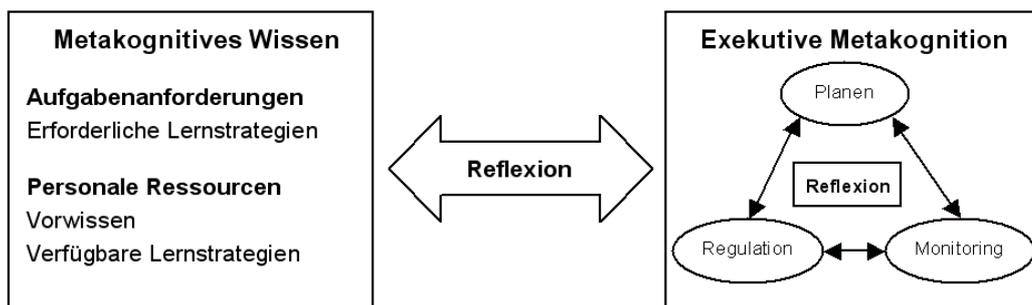


Abbildung 3: Reflexion als Bindeglied zwischen metakognitivem Wissen und exekutiver Metakognition (modifiziert nach Ertmer & Newby, 1996)

Dieses Modell der Metakognition verbindet die verschiedenen Komponenten der Metakognition in recht einfacher Weise, hat aber dabei eine hohe Erklärungskraft. Es betont die Rolle des aktiven Lerners bei der Steuerung des eigenen Lernprozesses. Dieses Modell schafft letztendlich die Verbindung zwischen exekutiven Prozessen mit deklarativen und vielleicht auch „trägen“ metakognitiven Wissensbeständen. Reflexion, die effektives Problemlösen und eine Verbesserung der Lernwirksamkeit bewirkt, ist ein Gütezeichen intelligenten Verhaltens (Seel, 2003).

2.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden zunächst Theorien des selbstregulierten Lernens hinsichtlich ihrer metakognitiven Komponenten untersucht. Hierbei konnte gezeigt werden, dass Metakognition neben Motivation und Kognition ein konstituierendes Element der betrachteten Theorien selbstregulierten Lernens ist. Sowohl in den Modellen von Zimmerman als auch in der Konzeptualisierung von Boekaerts werden Elemente der Metakognition als essentiell beschrieben. Das metakognitive Wissen wird dabei von Zimmerman und Boekarts eher als eine relativ stabile Personenvariable und damit als Lernervoraussetzung beschrieben. Dieses Wissen kann je nach Lernsituation mehr oder weniger zum Einsatz kommen. Auch die exekutive Metakognition spielt als eher dynamischer Anteil der Metakognition in beiden Theorien eine Rolle: Bei Boekaerts unter den kognitiven oder Regulationsstrategien, bei Zimmerman sind alle Phasen des zyklischen Lernens durch exekutive Metakognition geprägt. Die Art, wie mit dem Thema Metakognition in den Theorien des selbstregulierten Lernens umgegangen wird, zeigt, dass sie immer auch in Interaktion mit anderen psychischen Merkmalen einer Person sowie Verhaltens- und Umgebungsvariablen steht (Schunk, 1989; Zimmerman, 1989b). Daher soll die Metakognition in dieser Arbeit als ein Konstrukt betrachtet werden, welches durch Personen- und Umweltmerkmale beeinflusst wird. So ergibt sich die Frage, in welcher Beziehung die später betrachtete Metakognition beim Lernen in Chemie zu motivationalen und kognitiven Personenmerkmalen steht. Dieser Frage wird in Kapitel 4 in den Abschnitten 4.2 und 4.3 genauer nachgegangen. Die empirische Überprüfung dieser Frage ist eine der Hauptfragestellungen der Studie I (siehe Abschnitt 7.1).

Bei der Beschäftigung mit den Theorien der Metakognitionsforschung fällt zunächst auf, dass viele Autoren die Zwei-Komponenten-Sichtweise einnehmen. Hasselhorn (1992) erweitert diese Kategorisierung so, dass sich fünf verschiedene Komponenten der Metakognition ergeben. Zur Abgrenzung des Konstrukts ist zu sagen, dass die Metakognition ein Teil des kognitiven Apparates ist, aber z. B. Tests, die Metakognition messen, zusätzliche Varianz bezüglich eines Lernerfolgskriteriums gegenüber einem kognitiven Fähigkeitstest aufklären können. Aus diesem Grund scheint die Förderung von Metakognition besonders interessant, da sie eventuell sogar Schwächen im kognitiven Bereich kompensieren kann (Veenman et al., 2006). Auf Ansätze der Förderung von Metakognition wird in Kapitel 6 genauer eingegangen; die Möglichkeit der aufgabenspezifischen Förderung von exekutiver Metakognition beim Lernen in Chemie ist Fragestellung der zweiten empirischen Studie dieser Arbeit (siehe Abschnitt 7.2). Auch eine Abgrenzung gegenüber motivationalen Konstrukten wie Selbstkonzepten oder Attributionen erscheint sinnvoll, um die Erklärungskraft der Einzelkonstrukte nicht zu schmälern.

Borkowski und Muthukrishna (1992; 1995) setzen in ihrem Modell der Metakognition verschiedene Aspekte der Metakognition in Beziehung. In diesem Modell wird vor allem die Rolle der exekutiven Metakognition für den Aufbau von Strategiewissen deutlich. Andere Autoren gehen weiter und sehen eine Wechselwirkung zwischen exekutiver Metakognition und metakognitivem Wissen, die durch die Reflexion des Lerners zustande kommt. Reflexion wird damit zum Kern des Konzeptes der Metakognition. Metakognitives Wissen entsteht durch eine Reflexion des Lerners über den Lernprozess, während eine Reflexion über das metakognitive Wissen einen adäquaten Einsatz der exekutiven Metakognition gewährleistet. Auch in dieser Arbeit wird angenommen, dass metakognitives Wissen aus der Reflexion über tatsächliche Lernprozesse entsteht. Daher soll das später zu betrachtende chemiespezifische metakognitive Wissen (siehe Abschnitt 8.1.2.4) auch mit Hilfe möglichst realistischer Aufgabensituationen erfragt werden, über die der Lerner gegebenenfalls schon einmal reflektiert hat.

3 Domänengeneralität versus Domänenspezifität der Metakognition

In der Metakognitionsforschung wurde die Metakognition zunächst als ein domänenüberspannendes Konstrukt angesehen. Metakognition wurde dabei als eine Fähigkeit beschrieben, sich über Lernprozesse in verschiedenen Domänen bewusst zu werden und diese zu regulieren (Schraw, Dunkle, Bendixen & DeBacker Roedel, 1995; Schraw & Nietfeld, 1998).

Situierte und kontextbasierte Ansätze der Kognitionsforschung (Glaser & Chi, 1988; Lave & Wenger, 1991; Suchman, 1987) hinterfragten diese Sicht für alle Denkprozesse. Dieser Wechsel der Sichtweisen kann mit einem wahrgenommenen mangelnden Transfer von institutionell erworbenem Wissen auf Alltagsprobleme begründet werden (Billet, 1996, vgl. Abschnitt 3.2.1.1). Auch für die Metakognition wird seit den 90ern diskutiert, ob sie als ein domänenspezifisches oder –generelles Konstrukt angesehen werden sollte. Anzeichen für die Diskussion der Domänenspezifität von Metakognition ist auch die Verwendung domänenspezifischer Tests in PISA 2003, wo neben einem Metagedächtnistest für Lesestrategien von Schneider und Schlagmüller (Kunter et al., 2002) ein auf die Mathematik zugeschnittener Test verwendet wurde (Ramm et al., 2006). Die Diskussion über die Frage der Domänenspezifität vs. –generalität der Metakognition ist gegenwärtig nicht abgeschlossen (Veenman et al., 2006), doch scheint einiges dafür zu sprechen, dass eine Synthese beider Positionen angemessen ist. So ist z. B. denkbar, dass eine generelle metakognitive Fähigkeit sich erst innerhalb eines entwicklungspsychologischen Prozesses herausbildet.

Für Lehrende ist diese Diskussion besonders interessant, da sie letztendlich entscheiden müssen, ob Metakognition und Lernstrategien eher kontextbasiert in den verschiedenen Fächerdomänen zu unterrichten sind oder ob eher ein domänenübergreifender Ansatz der Förderung metakognitiver Fähigkeiten gewählt werden sollte (Georghiades, 2004; Schraw, 1998).

Im folgenden Kapitel sollen zunächst Theorien und Befunde für beide Positionen, die der Domänengeneralität (Abschnitt 3.1) und die der Domänenspezifität (Abschnitt 3.2), zusammengetragen werden und soll dann diskutiert werden, wie die unterschiedlichen Positionen zusammengeführt werden könnten (Abschnitt 3.3).

Aus dem Kapitel resultiert die Entscheidung, Metakognition in dieser Arbeit als domänenspezifisches Konstrukt anzunehmen.

3.1 Domänengeneralität der Metakognition

Bis in die 70er Jahre ging man davon aus, Denken und Problemlösen sei auf einige wenige allgemeine Strategien zurückführbar. Diese Orientierung der Kognitionsforschung zeigt sich z. B. auch in Konstrukten der „allgemeinen Intelligenz“ (Spearman, 1904). Im Bereich des Problemlösens wurde ein Computerprogramm namens „General Problem Solver“ entwickelt (Newell & Simon, 1972), das mit relativ wenigen Algorithmen (z. B. Mittel-Ziel-Analyse, Dekompositionsstrategie, Hypothesen-Testen) einfachere logische Probleme lösen konnte.

So galt auch die Metakognition, wie sie von Flavell (1976; 1979) beschrieben wurde, zunächst als ein domänenübergreifendes Konstrukt. Domänenspezifische Ansätze kamen erst Ende der 70er Jahre in den Kognitionswissenschaften auf (z. B. Chi, Feltovich & Glaser, 1978) und wurden dann auch für Lernstrategien und Metakognition diskutiert (siehe Abschnitt 3.2). Im Folgenden soll jedoch zunächst auf Arbeiten eingegangen werden, die eher für eine Domänengeneralität der Metakognition sprechen.

Schraw und Kollegen versuchen in verschiedenen Arbeiten, ihre Hypothese einer domänenübergreifenden Überwachungsfertigkeit (General Monitoring Skill Hypothesis) zu untermauern. In einer Studie von Schraw et al. (1995) wurden Collegestudierende gebeten, Multiple-Choice-Items für sieben verschiedene Domänen, wie z. B. Entfernungen zwischen amerikanischen Städten, Kalorienwerte von gängigen Lebensmitteln, Laufgeschwindigkeit verschiedener Tiere zu beantworten. Es wurden vier Indikatoren (Testleistung, Konfidenz, Diskrimination und Bias) korreliert. Die Konfidenz wird mit einem Paradigma der retrospektiven Messung von Monitoring gemessen, in der die Probanden angeben sollen, wie sicher sie sich ihrer Antwort auf einer sechsstufigen Skala von *0% Sicherheit* bis *100% Sicherheit* sind. Neben der Testleistung und der Konfidenz als direkte Messwerte werden noch zwei weitere Indikatoren berechnet. Der Diskriminationsindikator wird als Differenz der mittleren Konfidenz für richtige und falsche Antworten berechnet. Ein Wert höher als Null zeigt hierbei an, dass sich die Versuchspersonen bei den tatsächlich richtigen Antworten sicherer waren als bei den tatsächlich falschen. Die Diskrimination soll dabei das eigentlich zu untersuchende Konstrukt der Überwachungsfertigkeit messen. Der Indikator für Bias wird berechnet, indem die mittleren Testleistungswerte von den mittleren Konfidenzwerten abgezogen werden. Ein Wert über Null zeigt hierbei an, dass eine Versuchsperson ihre Leistung eher überschätzt hat, ein Wert unter Null spricht für eine Unterschätzung der eigenen Leistung. Die Autoren erwarteten, im Falle einer Bestätigung der Domänengeneralitätshypothese hohe Korrelationen der verschiedenen Messwerte in den unterschiedlichen getesteten Domänen; die Domänenspezifitätshypothese wird hingegen im Falle niedriger Korrelationen der unterschiedlichen Messwerte in den verschiedenen Domänen bestätigt. In einem ersten Experiment waren alle 28 Pearson-Interkorrelationen der Konfidenzwerte signifikant, auch die

Interkorrelationen der Biaswerte waren alle bis auf zwei signifikant. Demgegenüber waren jedoch nur zwei der 28 möglichen Interkorrelationen zwischen den Diskriminationswerten signifikant. Auch die Korrelationen zwischen den Testleistungen sind niedrig, woraus die Autoren folgerten, dass die Testleistungen nicht auf einen einzigen Leistungsfaktor zurückgehen und tatsächlich unterschiedliche Domänen repräsentieren. Hauptkomponentenanalysen ergaben, dass Bias- und Konfidenzwerte am Besten durch eine Hauptkomponente repräsentiert werden, während die Testleistung und der Diskriminationswert drei bzw. vier Hauptkomponenten mit einem Eigenwert höher 1 aufweisen.

Die Autoren sehen in den hohen Interkorrelationen der Messwerte für Bias und Konfidenz die Domänengeneralitätshypothese teilweise bestätigt. Die Hauptforschungsfrage betraf jedoch die Überwachungsfertigkeit, die in der Diskrimination abgebildet wird. Hinsichtlich dieses Messwerts wird jedoch eher die Domänenspezifitätshypothese bestätigt. Die Autoren führen dieses auf die verschiedenen Testlängen und Schwierigkeitsindizes der verwendeten Tests zurück.

In einem zweiten Experiment beseitigten die Autoren diese möglichen Fehlerquellen und senkten die Anzahl der unterschiedlichen Wissenstests auf fünf. In diesem Experiment waren die Hälfte der Interkorrelationen der Diskriminationswerte signifikant; nach einer Herauspartialisierung der Testleistungen (die in diesem Experiment moderate Interkorrelationen aufwiesen) sank diese Anzahl auf drei signifikante von zehn möglichen Interkorrelationen. Hauptkomponentenanalysen ergaben in diesem Experiment Generalfaktoren für alle vier verwendeten Indikatoren. Die Autoren sehen auf Grund der Datenlage Unterstützung für beide Hypothesen: „In our view, these findings suggest that discrimination depends on both domain-general confidence processes and domain-specific performance“ (S. 441).

Es können hinsichtlich dieser Untersuchung von Schraw et al. (1995) Zweifel aufkommen, ob die verwendeten „domänenspezifischen“ Tests eine ausreichende externe Validität aufweisen. Es ist fraglich, ob Collegestudierende mit Themen wie „Entfernungen zwischen amerikanischen Großstädten“ tatsächlich einen domänenspezifischen Lernkontext verbindet. Dass die untersuchte Gruppe vermutlich über eine gewisse Lernerfahrung in den untersuchten Bereichen, die einem bestimmten Kontext zuzuordnen sind, verfügt, ist aber für die externe Validität einer Untersuchung domänenspezifischen Wissens wichtig. Im zweiten Experiment von Schraw et al. (1995) fanden sich hohe Korrelationen zwischen der Performanz in den einzelnen Domänen, was darin begründet sein könnte, dass die verwendeten Domänen eben nicht ausreichend unterschiedlich sind und eventuell einen gemeinsamen Ursprung im allgemeinen Wissen haben. Ein zweiter Kritikpunkt ist die Verwendung der Konfidenz als einen Indikator, der Monitoring messen soll. Zu vermuten ist, dass bei der Angabe der Konfidenz durch die Versuchspersonen motivationale Faktoren wie Attribution,

Leistungsmotivation oder akademisches Selbstkonzept eine wichtige Rolle spielen. Hasselhorn (2001) spricht in diesem Zusammenhang von einem Abgrenzungsproblem der Metakognition von motivationalen Variablen (vgl. Abschnitt 2.2.2 und 5.2.1).

In einer weiteren Studie unterziehen Schraw und Nietfeld (1998) ihre „General Monitoring Skill Hypothesis“ einem weiteren Test. Hierbei setzten sie neben allgemeinen Wissenstests, die eher kristalline Intelligenz messen, drei Tests zur Messung der fluiden Intelligenz ein (z. B. einen Teil des Raven Progressive Matrices Tests). Statt des Diskriminationsindikators wurde diesmal ein Genauigkeitsindikator berechnet. Hierfür wurde die Differenz zwischen den Konfidenz- und den Testleistungswerten für jedes Item berechnet und über alle Testitems für jeden Test aufsummiert. Das Hauptgewicht der Auswertung lag diesmal auf Hauptkomponentenanalysen. Die Domänengeneralitätshypothese sehen die Autoren bestätigt, wenn die Bias-, Konfidenz- und Genauigkeitswerte weniger Hauptkomponenten aufweisen als die Testleistungswerte. Die Autoren finden in ihren Hauptkomponenten eine 3-Komponentenlösung für die Testleistung und jeweils 2-Komponentenlösungen für die anderen Messwerte. Die Ladungsmatrizen spiegeln dabei eine Aufteilung der Faktorladungen auf die kristallinen und fluiden Tests wieder. Für die Testleistung sind die fünf kristallinen Tests noch einmal zu unterteilen in zwei Faktoren, die „generelle Informationen“ bzw. „verbale Informationen“ widerspiegeln. In diesen Ergebnissen sehen die Autoren ihre Domänenspezifitätshypothese teilweise bestätigt, da die Konfidenz- Bias- und Genauigkeitswerte weniger Hauptkomponenten aufweisen als die Testleistung und daher generelle Regulationsstrategien am Werk sein müssten. Andererseits postulieren sie auf Grund der Ergebnisse eine Aufteilung der allgemeinen Überwachungsfertigkeiten auf zwei Faktoren, die jedoch auf ein gemeinsames „Reservoir metakognitiven Wissens“ (S. 245) Bezug nähmen.

Ein Problem der zuletzt dargestellten Untersuchung scheint zu sein, dass bei der Verwendung recht allgemeiner Intelligenztests, die sich so auch fast in einer Intelligenztestbatterie befinden könnten, die Verwendung allgemeiner Monitoringstrategien fast auch aus Sicht der kontextualisierten Ansätze, wie der Expertiseforschung, zu erwarten wären. Die Aufteilung von Intelligenztests in eher fluide und eher kristalline Bestandteile ist ein Klassiker der Intelligenzdiagnostik und findet sich ähnlich in vielen Intelligenztests wieder. Eine Unterscheidung von kristallinen und fluiden Monitoringfertigkeiten erscheint daher sinnvoll. Es stellt sich die Frage, ob eine weitere Unterteilung auch aus einer domänenspezifischen Sichtweise überhaupt zu erwarten wäre. Das für die kristallinen Wissenstests zu nutzende allgemeine Wissen wird nicht in den eng abgegrenzten Fächerdomänen der Schule, sondern eher in alltäglichen Kontexten, wie z. B. durch die Beschäftigung mit Medien oder Alltagsgesprächen, erworben. Es ist daher möglich, dass dieses Allgemeinwissen, ähnlich wie die eng abgegrenzten Fächerdomänen der Schule, eine eigene

Wissensdomäne darstellt. Die Interkorrelationen der Messwerte untereinander könnten dann sogar mit einer domänenspezifischen Sichtweise in Einklang gebracht werden.

Veenman, Wilhelm, & Beishuizen (2004) untersuchten Domänengeneralität von exekutiver Metakognition bei Schülern der 4., 6. und 8. Klasse und bei Studierenden. Als Lernaufgaben dienten vier verschiedene computergestützte Lernumgebungen mit geographischen und biologischen Themen („Otter“, „Altern“, „Pflanzen“ und „Nahrungsmittel“). Die exekutive Metakognition wurde mit Hilfe von Verlaufsprotokollen gemessen. Eine Hauptkomponentenanalyse mit allen teilnehmenden Versuchspersonen ergab hohe Ladungen der vier Aufgaben auf einer Hauptkomponente, woraus auf einen Generalfaktor für die Metakognition in dieser Untersuchung geschlossen werden kann.

In den zitierten Studien wurde die Domänengeneralitätshypothese mit Hilfe von korrelativen Designs untersucht. Dabei wurden hohe Korrelationen von Metakognitionsmaßen in verschiedenen Domänen erwartet. Die Ergebnisse ergeben ein gemischtes Bild: Teilweise wurden hohe Korrelationen gefunden (z. B. Veenman et al., 2004), teilweise wurden Korrelationsmuster gefunden, die eher eine domänenspezifische Sichtweise unterstützen (Schraw et al., 1995, Experiment 1).

Zudem treten bei den vorgestellten Untersuchungen zwei methodische Hürden zu Tage: zum einen scheint die Art der Messung der Metakognition starken Einfluss auf die Ergebnisse zu haben (so unterschieden sich die Ergebnisse für den Diskriminationsindikator und den Biasindikator in den Untersuchungen von Schraw et al. deutlich), zum anderen ist die Auswahl geeigneter „Domänen“ für die externe Validität entscheidend. Auf das Problem der Operationalisierungen von Metakognition wird im fünften Kapitel genauer eingegangen.

3.2 Domänenspezifität der Metakognition

Um sich der Frage zu nähern, ob und inwieweit Metakognition als domänenspezifisch anzusehen ist, soll zunächst das theoretische Umfeld einer solchen Domänenspezifität betrachtet werden. Theorien der Pädagogischen Psychologie und Kognitionspsychologie zum Thema Domänenspezifität, die besonders interessant erscheinen, sind in den Gebieten des Transfers, der Expertise und den Ansätzen situierten Lernens zu finden. Innerhalb dieser Forschungsgebiete werden jeweils schon implizite oder explizite Aussagen über die Rolle von Metakognition oder etwas allgemeiner Denk- und Problemlösestrategien gemacht, auf die an passender Stelle eingegangen werden soll.

Im Anschluss daran soll über Forschungsarbeiten berichtet werden, deren Hauptfragestellungen sich mit der Domänenspezifität von Metakognition und Lernstrategien beschäftigen

3.2.1 Theoretisches Umfeld einer möglichen Domänenspezifität der Metakognition: Transfer, Expertise, Situiertes Lernen

3.2.1.1 *Transfer*

Die Frage der Domänenspezifität von Metakognition ist an die allgemeinere Frage des Transfers von Wissensbeständen überhaupt und die schon etwas fokussierte Frage des Transfers von Problemlöse- und Denkstrategien gekoppelt.

In der Transferforschung spricht man ganz allgemein von Transfer, wenn Inhalte, die in einem Zusammenhang gelernt wurden, auf einen neuen Zusammenhang übertragen werden (Mandl, Prenzel & Gräsel, 1992). Die ursprüngliche Lernsituation wird dabei auch Quelle („source“), die Anwendungssituation auch Ziel („target“) genannt.

Ein Grundproblem der Pädagogischen Psychologie ist nun zu bestimmen, wann ein solcher Transfer stattfindet und wann nicht. Dies ist in Hinblick auf schulisches Lernen entscheidend, denn das Konzept von Schule fußt darauf, dass in einer Situation Gelerntes später in neuen Situationen abgerufen werden kann. Die Sorge um den geringen Transfer von Wissen, das in Bildungsinstitutionen erworben wurde, ist auch die Triebfeder des Situierteitsansatzes auf den weiter unten noch eingegangen wird.

In der Literatur werden verschiedene Arten des Transfers unterschieden. Eine mögliche Dimension, auf der Transfer beschrieben werden kann, ist positiver vs. negativer Transfer (Mähler & Hasselhorn, 2001). Unter positivem Transfer wird dabei eine Erleichterung des Lernens und Problemlösens durch das Lernen in anderen Situationen verstanden. Negativer Transfer bedeutet, dass die in Quellsituation erworbene Kompetenz in der Anwendungssituation beeinträchtigend oder störend wirkt.

Eine andere Dimension, auf der man Transfer betrachten kann, ist der horizontale vs. vertikale Transfer. Beim horizontalen Transfer wird die erworbene Fähigkeit von einer Situation in eine andere übertragen, beim vertikalen Transfer lernt die Person, aufbauend auf der transferierten Grundfähigkeit oder Schlüsselqualifikation, in der neuen Situation sogar noch dazu und verfeinert oder erweitert diese (Mandl et al., 1992).

Eine etwas allgemeinere Beschreibung des Transferkonstrukts auf einer einzigen Dimension ist die Unterscheidung von distalem und proximalem Transfer, die auf die Annahme zurückgeht, dass es einen qualitativen Unterschied zwischen Transfer in unähnlichen und ähnlichen Situationen gibt (Mähler & Hasselhorn, 2001).

Eine der klassischen Transfertheorien (die Theorie der „identischen Elemente“ nach Thorndike) besagt daher auch, dass Transfer wahrscheinlicher wird, je ähnlicher Lernsituation und Anwendungssituation sind. Kritisiert wird an dieser Theorie, dass noch nicht beantwortet ist, welche Elemente zwischen Source und Target identisch sein

müssen, welche folgenlos variieren dürfen und welche vielleicht sogar zur Unterstützung des Lernerfolgs variieren müssen (Mandl et al., 1992).

Eine zweite klassische Transfertheorie in der Tradition von Judd (1908; zitiert nach Mähler & Hasselhorn, 2001) geht davon aus, dass Transfer durch allgemeine, bereichsunabhängige Strategien gefördert wird. Adams (1989) unterscheidet darauf aufbauend zwischen abstraktem Wissen, welches kontextgebunden ist und zwar prinzipiell übertragen werden kann, häufig aber nicht übertragen wird, und abstrahiertem Wissen, welches Strategien- oder Regelwissen ist, das durch die Person selbst aus verschiedensten Lernsituationen abstrahiert wurde.

Diese Theorien weisen eine gewisse Nähe zum Ansatz einer domänenübergreifenden Metakognition auf. Viele Autoren zweifeln jedoch inzwischen an einem spontanen Strategietransfer (z. B. Friedrich & Mandl, 1992; Mandl et al., 1992; Perkins & Salomon, 1989). Dieser Strategietransfer müsste vielmehr durch eine explizite Lehre gefördert werden (Perkins & Salomon, 1989). Aus dieser Einsicht entwickelten sich Ansätze, die besagen, dass Metakognition und Lernstrategien zunächst in verschiedenen Situationen trainiert werden sollten und darauf aufbauend ein Transfer hergestellt werden kann (Brown & Palinscar, 1989; Brown, Collins & Duguid, 1989).

Mähler und Hasselhorn (2001) stufen einen Ansatz, in dem ausschließlich Metakognition vermittelt wird, als überholt ein und schlagen vor, bereichsspezifische Kenntnisse und Fertigkeiten zusammen mit einem Training metakognitiver Fertigkeiten einzuüben, um Metakognition als Transfervehikel wirksam werden zu lassen. „Inhalte sind direkt zu vermitteln, der Gebrauch von Hilfsmitteln und Arbeitstechniken sollte erläutert werden, Beispiele und Anwendung in Realsituationen sollten ausprobiert werden, in möglichst vielseitigen Übungsvarianten sollten die Lernschritte und Vorgehensweisen explizit gemacht werden“ (Mähler & Hasselhorn, 2001, S. 726).

Diese Überlegungen stehen auch im Zusammenhang mit der Expertiseforschung, die herausgearbeitet hat, dass sich Experten von Novizen nicht nur durch ihren Wissensbestand, sondern auch durch bereichsspezifische Strategien unterscheiden, die erst ein Problemlösen in realen Situationen möglich machen.

3.2.1.2 Expertise

Gruber und Mandl (1996) unterscheiden folgende Dichotomien, in die sich die theoretischen Ansätze der Expertise einordnen lassen:

- *Dispositionale Konstrukte vs. umfangreiche Übung*: Ein Beispiel von dispositionalen Konstrukten sind Expertisetheorien über künstlerische Bereiche, in denen das Begabungskonzept eine herausragende Rolle spielt, demgegenüber

stehen informationstheoretische Ansätze, nach denen jeder mit ausreichender Übung in einem Gebiet Experte werden kann.

- *Generelle Kompetenz vs. Domänenspezifität:* Die Ansätze genereller Kompetenz gehen von domänenübergreifender Expertise, z. B. im Sinne einer allgemeinen Problemlösekompetenz, aus. Solche allgemeinen Problemlösestrategien erwiesen sich jedoch nicht als effektiv. Für komplexere Aufgaben ist domänenspezifisches Wissen notwendig. Hieraus folgt, dass ein und dieselbe Person auf einem Gebiet ein Experte, auf einem anderen jedoch ein Novize sein kann; Problemlösefähigkeiten werden nicht unbedingt übertragen.
- *Wissen vs. Können:* Viele Ansätze beschäftigten sich zunächst vor allem mit dem Wissen bzw. dem Gedächtnis von Experten (Chi et al., 1978). Gerade in komplexen Situationen muss jedoch auch das kompetente Handeln, also ihr tatsächliches Können, miteinbezogen werden.

Befunde der Expertiseforschung betreffen vor allem das Gedächtnis und das Problemlösen von Experten (Gruber, 2001). Experten haben die Fähigkeit, domänenspezifische Informationen, die nur kurz (5 bis 10 Sekunden) dargeboten wurden, rasch wahrzunehmen und nahezu fehlerfrei wiederzugeben. Novizen schneiden dabei schlechter ab, da sie den Beschränkungen des Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnisses unterworfen sind. Dementsprechend wird auch das gute Abschneiden von Experten bei solchen einfachen Gedächtnisaufgaben in ihrer Domäne durch ein effektiveres „Chunking“ (Aggregieren der präsentierten Information, bevor diese abgespeichert wird) erklärt (vgl. Miller, 1956).

Inzwischen geht man davon aus, dass sich Experten und Novizen nicht nur quantitativ in ihrem Gedächtnis, also der bloßen Wissensakkumulation, unterscheiden, sondern auch qualitativ in ihrer Wissensrepräsentation und ihren Problemlöseprozessen. Experten verwenden z. B. mehr Zeit zur anfänglichen Problemanalyse, entwerfen jedoch dann schnell Pläne, sie verwenden häufiger die Strategie der Vorwärts-Suche und erweisen sich angesichts neuer Evidenzen als flexibel (Gruber & Mandl, 1996). Ein Kennzeichen der Problemlösestrategien von Experten ist, dass sie hochspezifisch sind und nicht unbedingt auf andere Domänen übertragbar sind oder übertragen werden (Perkins & Salomon, 1989). Solche hochspezifischen Problemlösestrategien von Experten werden auch „strong methods“ genannt, da sie besonders effizient sind; dem entgegen sind Novizen auf generelle Problemlösestrategien, die „weak methods“ angewiesen, die ihnen aus anderen Gebieten bekannt sind. Perkins und Salomon (1989, S. 19) bezeichnen den Zusammenhang, dass je genereller eine Methode ist, desto schwächer ihre Wirkung wird, auch als „power-generalizability tradeoff“.

Um diese Überlegungen mit dem Metakognitionsansatz zu verbinden, könnte man annehmen, dass sowohl das Wissen über die weak methods als auch über die strong

methods metakognitives Wissen ist. Welche Methode (oder Strategie) in einem Zusammenhang angewandt wird, wird durch Prozesse der exekutiven Metakognition gesteuert und wird durch den Expertisegrad von Personen insofern beeinflusst, welche Strategien zur Verfügung stehen. Wissen über weak methods könnte man dabei als generelles metakognitives Wissen auffassen, während Wissen über strong methods ein domänenspezifischeres metakognitives Wissen darstellen würde.

3.2.1.3 *Situiertes Lernen*

Die Expertiseforschung stellte einen Ansatzpunkt für Vertreter von Theorien situierten Lernens dar (z. B. Brown, Collins & Duguid, 1989). Wissensbestände werden in den Theorien des situierten Lernens als kontextgebunden und nur situationsspezifisch aktivierbar aufgefasst und damit zunächst gebunden an den Kontext oder die Situation des Erwerbs (Gruber, 2001).

Das Interesse an den Ansätzen des situierten Lernens kann auch auf einen wahrgenommenen mangelnden Transfer von Wissen, welches in Bildungsinstitutionen erworben wurde, auf Situationen und Umstände außerhalb dieser Institutionen zurückgeführt werden (Billet, 1996, vgl. Abschnitt 3.2.1.1). Ein solcher mangelnder Transfer von Gelerntem zwischen Situationen wurde in der Literatur mit verschiedenen Beispielen illustriert, wie z. B. durch das Beispiel brasilianischer Straßenkinder, die während ihrer Straßengeschäfte gut rechnen konnten, dieses Wissen aber nicht auf arithmetische Aufgaben im Schulkontext übertragen. Ein anderes Beispiel stammt von Reusser und Stebler (1997), die z. B. die folgende Frage stellten: „John’s best time to run 100 m is 17 sec. How long will it take him to run 1 km?“. Eine häufige Antwort hierauf ist 170 sec., wobei die Versuchspersonen einen einfachen Dreisatz anwenden, der in dieser Situation nicht realistisch ist. Renkl (2000) führt ein solches „unsinniges“ Problemlösen auf die gängige Lernkultur im Mathematikunterricht zurück, wo zu selten die Frage gestellt würde, ob eine Rechenoperation Sinn mache, sondern primär darauf geachtet würde, dass eine numerisch korrekte Antwort gefunden wird.

Solche Beispiele haben, wie oben schon angedeutet, zu einer Beschäftigung mit dem situierten Lernen geführt. Den unterschiedlichen Ansätzen zum situierten Lernen sind einige Grundsätze gemeinsam (Law & Wong, 1996; Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2001):

- Wissen stellt in einer Gesellschaft immer *geteiltes Wissen* dar, d.h. es wird von Individuen gemeinsam entwickelt und ausgetauscht.
- Denken und Handeln lassen sich nur vor dem Hintergrund von *Kontexten* verstehen.

- Lernen ist stets *situiert*, also an die inhaltliche und soziale Erfahrung der Lernsituation gebunden.
- Wissen wird nicht passiv erworben, sondern *aktiv* konstruiert.

Die Ansätze situierten Lernens wurden in den 90er Jahren sowohl in den USA als auch in Deutschland kontrovers diskutiert.

Anderson, Reder, & Simon (1996) führten in einem Artikel viele empirische Belege auf, die den von den Autoren selbst ausgemachten Grundbehauptungen der Vertreter des situierten Lernens widersprechen. Besonders für die Behauptung: „Ein Transfer von Wissen zwischen Aufgaben findet nicht statt“ finden sie viele Gegenbelege in der empirischen Forschung. Trotz dieser Kritik nehmen die Autoren selbst die Position ein, dass ein Transfer zwischen Domänen, in denen erst wenig Lernerfahrung besteht, unwahrscheinlich ist: „We do not require that students show the benefit of one day of calculus on the first day of physics. Rather, we expect that they will be better physics students at year’s end for having had a year’s study of calculus“ (Anderson et al., 1996, S. 7).

Greeno (1997) äußerte sich in einer Antwort auf diesen Artikel dahingehend, dass er nicht die Evidenz der von Anderson et. al. angeführten Studien anzweifelt. Er meint vielmehr, dass dem situierten Lernen ein anderes wissenschaftliches Paradigma oder andere grundlegende Fragestellungen zugrunde liegen als dem Kognitivismus. Er sieht dabei die kognitive und die situative Sichtweise als gegensätzliche Paradigmen an. Die von Anderson et al. (1996) präsentierten empirischen Belege könnten aber auch Antworten auf situative Fragestellungen geben. Greeno meint z. B. nicht, dass Anhänger der situierten Perspektive die Behauptung, dass Transfer nicht stattfinden würde, so aufstellen würden. Vielmehr geht es ihm aus der situierten Perspektive um ein geändertes Verständnis darüber, was Transfer überhaupt ist. Greeno sieht situiertes Lernen als eine Anpassung von Lernern an Aktivitätssysteme, die durch bestimmte Handlungseinschränkungen („constraints“) und Handlungsangebote („affordances“) geprägt sind. Erfolgreicher Transfer ist für ihn, wenn eine Aktivität erfolgreich an die constraints und affordances einer neuen Situation angepasst wird. Angewandt auf das Lernen in der Schule bedeute das nicht, dass überhaupt kein Transfer stattfinden kann, sondern dass man die Aktivitäten, die der Schüler lernen soll, berücksichtigen muss und dass Lernumgebungen dementsprechend gestaltet werden sollten.

Klauer (1999, S. 117) wendet sich gegen den von Greeno (1997) postulierten Paradigmenwechsel und sieht vielmehr „alten Wein in neuen Schläuchen“. Hiermit spielt er darauf an, dass sich der Konstruktivismus, der hinter dem situierten Lernen stehe, an schon lange rezipierten und diskutierten Theoretikern, wie z. B. Dewey, Piaget oder Wygotsky, orientiere.

Renkl (2000) dagegen sieht in den situierten Ansätzen weder einen „Paradigmenwechsel noch alten Wein“ (Renkl, 2000, S. 5). Einem Paradigmenwechsel mag er nicht folgen, da es vielmehr darum gehe, bei welcher Problemstellung welcher Ansatz erfolgsversprechender sei. Aber auch dem Argument des „Alten Weins“ widerspricht er, da die „Gestalt“ der neuen Ansätze doch eine andere sei, wie sich in dem Versuch der Einbeziehung neuer Lerntechnologien zeige.

3.2.2 Untersuchungen zur Domänenspezifität der Metakognition

Nachdem auf das theoretische Umfeld einer möglichen Domänenspezifität von Metakognition eingegangen wurde, soll nun auf empirische Untersuchungen zu diesem Thema eingegangen werden. Untersuchungen zur Domänenspezifität von Metakognition sind nur wenige zu finden, was darauf zurückgeführt werden kann, dass zunächst von einer Domänengeneralität des Konstrukts ausgegangen wurde.

Lind und Sandmann (2003) untersuchten Lernstrategien bei Experten und Novizen. Physik-Experten waren hierbei Schüler, die erfolgreich an einem Schülerwettbewerb in Physik teilgenommen hatten, gleichzeitig wurden diese als Novizen in Biologie eingestuft. Schüler, die erfolgreich an einem Schülerwettbewerb in Biologie teilgenommen hatten, waren dementsprechend in diesem Design sowohl Biologie-Experten als auch Physik-Novizen. Metakognitive Strategien (exekutive Metakognition) wurden in dieser Untersuchung allgemein per Fragebogen (LIST von Wild & Schiefele, 1994) erhoben, doch wurde ihnen in dieser Auswertung nicht so viel Gewicht beigemessen. Mehr im Vordergrund stand die handlungsnaher Erfassung der Lernstrategien mit der Methode des lauten Denkens. Die Protokolle wurden mit Hilfe eines Kategoriensystems ausgewertet. Diese Kategorisierung wurde faktorenanalytisch auf vier Faktoren reduziert: tiefe Elaboration, oberflächliche Elaboration, vorwissensbezogene Reduktion, textbezogene Reduktion. Dieses ist zwar keine direkte Erfassung von Metakognition, doch kann davon ausgegangen werden, dass der Gebrauch von Lernstrategien durch exekutive Metakognition eingeleitet wird (Konrad, 2005), zusätzlich stellt das Wissen über die eingesetzten Lernstrategien einen Teil des metakognitiven Wissens dar. Des Weiteren finden sich in der Beschreibung der Faktoren Merkmale, die als Ausdruck exekutiver Metakognition aufgefasst werden können (z. B. Streichen oder Übergehen redundanter Textpassagen, Orientierung im Text, nochmaliges Lesen).

Als wichtigstes Ergebnis ihrer Studie stellen die Autoren heraus, dass das Domänenwissen für den Gebrauch von Lernstrategien von ausschlaggebender Bedeutung ist. Dieses untermauern die Autoren mit Korrelationen zwischen Vorwissen und den Lernstrategie-Faktoren. Novizenhaftes Lernen ist dabei oberflächlicher Elaboration und textbezogener Reduktion zuzuordnen, während expertenhaftes Lernen

durch tiefe Elaboration und vorwissensbezogene Elaboration gekennzeichnet ist. Die Autoren weisen darauf hin, dass die Versuchspersonen das novizenhaftes Lernen nur in einer Domäne zeigen, in der anderen lernen sie überwiegend expertenhaft. Das novizenhafte Lernen ist also kein Persönlichkeitsmerkmal, sondern vielmehr durch den Expertisegrad beeinflusst.

Kelemen, Frost und Weaver (2000) untersuchten individuelle Unterschiede in der metakognitiven Fähigkeit. Hierbei setzten sie vier verschiedene Lernaufgaben ein, in denen verschiedene Paradigmen zur Erhebung des Monitoring des Gedächtnisses verwandt wurden: EOL (ease of learning), JOL (judgement of learning), FOK (feeling of knowing) und TCM (text comprehension monitoring). Diesen Paradigmen ist gemeinsam, dass eine subjektive Einschätzung des Erinnerns von Gelerntem erhoben wird; auf einige dieser Paradigmen wird in Abschnitt 5.2.1 näher eingegangen. Die Lernaufgaben wurden mit Abstand von einer Woche wiederholt, wobei strukturgleiche Aufgaben mit gleicher Schwierigkeit verwendet wurden. Mit diesem Design konnten sowohl die Test-Retest-Reliabilität als auch die Zusammenhänge zwischen den vier Aufgaben analysiert werden. Die subjektiven Einschätzungen der Gedächtnisleistung wurden mit der tatsächlichen Gedächtnisleistung in Wiedererkennens- und Wissenstests korreliert (mit dem nonparametrischen Korrelationskoeffizienten Kruskals G). Diese Korrelationen wurden als Maße für die „metacognitive accuracy“ herangezogen.

Zwischen diesen G-Korrelationen konnten mit Pearson-Korrelationen keine signifikanten Test-Retest-Korrelationen festgestellt werden (Experiment 2), während sich zwischen den Gedächtnisleistungen und den subjektiven Einschätzungen dieser Leistungen jeweils signifikante Test-Retest-Korrelationen ergaben. Hieraus schließen die Autoren auf eine mangelnde Stabilität der metacognitive accuracy.

Von den 24 Pearson-Korrelationen der acht verschiedenen Lernaufgaben (4 Aufgaben x Test-Retest) war für die metacognitive accuracy nur eine signifikant über Null, während zwischen den Gedächtnisleistungen und den subjektiven Einschätzungen dieser Leistungen insgesamt 32 von 48 Korrelationen signifikant über Null waren (Experiment 2). Dies weist darauf hin, dass sowohl die Gedächtnisleistung als auch die subjektive Einschätzung dieser Leistung über verschiedene Aufgaben konsistent sind, während dies für die metacognitive accuracy nicht der Fall ist.

Die Untersuchung kann also als Hinweis dafür gewertet werden, dass die metacognitive accuracy innerhalb eines Individuums nicht stabil ist, weder über die Zeit noch über verschiedene Aufgaben.

In einer Studie von Glaser, Schauble, Raghavan und Zeitz (1992) wurden metakognitive Aktivitäten beim entdeckenden Lernen in drei Simulationsumgebungen, die sich in ihrer Struktur und in ihren Themen unterschieden, untersucht. Die Aktivitäten der teilnehmenden zwölf Studierenden in Protokollen lauten Denkens wurden ausgezählt.

Die Muster dieser Aktivitäten, die auch metakognitive Merkmale enthielten, unterschieden sich nachhaltig zwischen den Domänen.

Schneider, Schlagmüller und Visé (1998) untersuchten den Zusammenhang von Expertenwissen bezüglich Fußball und Metagedächtnis bei Dritt- und Viertklässlern. Sie fanden eine Interaktion von Expertisegrad und Metagedächtnis. Experten mit hohem metakognitiven Wissen erzielten in einem Behaltenstest höhere Werte als Experten mit niedrigem metakognitiven Wissen. Diesen Einfluss metakognitiven Wissens fanden sie nicht bei Fußballnovizen. Dieses Ergebnis zusammen mit Ergebnissen anderer Studien des Erstautors, in denen teilweise andere Erinnerungsmaße verwandt wurden (Erinnerung einer Geschichte statt einer Liste), führte die Autoren zu folgendem Schluss: Der Einfluss des metakognitiven Wissens hängt von der Art der Wiedererinnerungsaufgabe ab. Soll eine Geschichte erinnert werden, profitierten Experten und Novizen von einem guten Metagedächtnis, soll eine Liste erinnert werden, hat ein besseres Metagedächtnis nur bei den Experten zusätzlich zum Expertisegrad positive Auswirkungen. Darüber hinaus berichten sie eine Kausalanalyse, in der der Pfad von Fußballwissen zum Metagedächtnis ein β -Gewicht von .32 aufweist. Schneider et al. interpretieren ihre Ergebnisse dahingehend, dass metakognitives Wissen nur dann einen Einfluss hat, wenn ein entsprechendes domänenspezifisches Wissen vorhanden ist.

3.2.3 Zusammenfassung

Im theoretischen Umfeld zur Domänenspezifität von Kognitionen beziehen sich nur wenige Autoren explizit auf die Metakognition. Die theoretischen Arbeiten zum Transfer, zur Expertise und zum situierten Lernen setzen sich jeweils allgemein mit kognitiven Funktionen auseinander. Die gewonnenen Ergebnisse können jedoch auch auf die Metakognition übertragen werden, da diese wie oben schon angeführt wurde auch als ein Teil der Kognition angesehen werden kann (siehe Abschnitt 2.2.2).

Es kann also auch für die Metakognition angezweifelt werden, dass sie ohne Weiteres von einer Situation in eine neue transferiert wird. Zwar wird sie von einigen Autoren als Transfervehikel angenommen, doch wird auch sie zunächst in bestimmten Situationen erworben und muss wahrscheinlich erst abstrahiert werden, damit sie auf andere Situationen übertragbar wird. Dementsprechend empfehlen manche Autoren inzwischen, von allgemeinen metakognitiven Trainings abzusehen (Borkowski & Muthukrishna, 1995; Hasselhorn, 2001; Hattie, Biggs & Purdie, 1996; Mähler & Hasselhorn, 2001). Kontextbasierte Trainings, die innerhalb der Fächerdomänen stattfinden, erscheinen erfolgversprechender, da Metakognition hierbei vor dem Hintergrund fachlichen Wissens gelehrt wird. Hier schließen sich thematisch die Fragestellungen der empirischen Studie II der vorliegenden Arbeit an, in der versucht

werden wird, die exekutive Metakognition innerhalb einer chemiespezifischen Lernumgebung zu fördern (siehe Abschnitt 7.2).

Auch die Theorien der Expertiseforschung zeigen auf, dass allenfalls die sogenannten *weak methods* spontan auf neue Situationen übertragbar sind. *Strong methods* müssen für jede Domäne neu entdeckt und eingeübt werden.

Der beschriebene Stand der Theorien des situierten Lernens zeigt, dass die Diskussion über die Kontextgebundenheit bzw. Generalität oder Transfer von Wissen und Kompetenzen noch nicht abgeschlossen ist. Für den Bereich der Metakognition sollen Möglichkeiten der Synthese der Positionen in Abschnitt 3.3 beleuchtet werden.

Die wenigen empirischen Arbeiten zur Domänenspezifität von Metakognition zeigen, dass intraindividuelle Unterschiede in den metakognitiven Aktivitäten bei verschiedenen Lernaufgaben gefunden werden können. Lind und Sandmann (2003) führen das auf unterschiedliche Expertisegrade in unterschiedlichen Domänen zurück. Kelemen et al. (2000) stellen die Instabilität der Metakognition im Vergleich mit Gedächtnismaßen heraus. Schneider et al. (1998) berichten eine Interaktion von domänenspezifischem und metakognitivem Wissen. Ihren Ergebnissen zu Folge muss ein gewisses domänenspezifisches Grundwissen vorhanden sein, damit sich metakognitives Wissen positiv auf das Behalten von Informationen auswirkt.

3.3 Mögliche Synthese der beiden Positionen

Da weder die Befunde zur Domänenspezifität noch die Befunde zur Domänengeneralität der Metakognition eindeutig erscheinen, sollen nun Synthesemöglichkeiten für die beiden beschriebenen Ansätze auf Basis der Literatur formuliert werden. Hierbei kommen zwei verschiedene Synthesemöglichkeiten ins Blickfeld: Zum einen die Entwicklungsperspektive und zum anderen der Ansatz der Primär- und Sekundärfaktoren.

Laut Schraw et al. (1995) ist eine Erklärungsmöglichkeit für die gemischten Befunde, dass Monitoringerfahrungen im Laufe der Entwicklung graduell generalisiert werden, bis eine metakognitive Fähigkeit entsteht, die alle kognitiven Domänen umspannt. Dies geschieht erst spät in der Entwicklung und davor existieren modularisierte metakognitive Fähigkeiten. Der Prozess geschieht zudem nicht automatisch, sondern muss durch implizite oder explizite Bemühungen hervorgerufen werden (Schraw et al., 1995). Auch Anhänger des situierten Lernens nehmen an, dass es zu einer Generalisierung zunächst situiert erworbenen Wissens kommen kann. Hierbei ist die Artikulation von Strategien beim kollaborativen Lernen und die Reflexion über diese Strategien ein wichtiger Mechanismus (Brown et al., 1989). Friedrich und Mandl (1992) beschreiben den Prozess der Generalisierung folgendermaßen: Nachdem das

Individuum aufgabenspezifische Strategien und Prozeduren erworben hat, werden diese zunächst innerhalb der Aufgabenklasse automatisiert und erst später auf neue Aufgabenbereiche ausgedehnt. Abhängig ist dieses von den kognitiven Fähigkeiten des Individuums und der Vielfalt der Übungsmöglichkeiten. Der erfahrene Strategieanwender sollte zu einem flexibleren Strategieeinsatz fähig sein.

Auch das Metakognitionsmodell von Borkowski und Muthukrishna (1992) kann als ein Entwicklungsmodell angesehen werden: Zunächst erwirbt der Lernende spezifisches Strategiewissen in einer Domäne. In der weiteren Entwicklung konstruiert er konditionales Metawissen darüber, wann und wo die erlernten Strategien eingesetzt werden können. Erst auf dieser Basis kann die Konstruktion generellen Strategiewissens erfolgen, welches in multiplen Domänen einsetzbar ist.

Eine andere Möglichkeit der Synthese ist die Annahme eines hierarchischen Modells der Metakognition mit einem Generalfaktor, der allgemeine metakognitive Fähigkeiten repräsentiert, und mehreren Sekundärfaktoren, die die metakognitiven Fähigkeiten in verschiedenen Domänen beinhalten. Veenman, Elshout, & Meijer (1997) fanden Hinweise für die Gültigkeit eines solchen Modells. Metakognitive Fertigkeiten operationalisierten sie als Arbeitsmethoden (diese beinhalteten Orientierung, Planung, Ausführung und Evaluation) und erhoben sie mit Hilfe von Protokollen lauten Denkens. Die Arbeitsmethoden wurden in drei unterschiedlichen computergestützten Simulationsumgebungen untersucht: Heat Lab, Stat Lab und Deton Lab.

Die Annahme eines Primärfaktors und mehrerer Sekundärfaktoren sahen die Autoren bestätigt durch eine Abnahme der Korrelationen zwischen den spezifischen Arbeitsmethoden und der Lernleistung, wenn zunächst die allgemeine Intelligenz und dann die spezifischen Arbeitsmethoden in den zwei anderen Lernaufgaben herauspartialisiert werden. Die Korrelationen nahmen dabei ab, aber verschwinden (bis auf einen Fall) nicht ganz. Hieraus schlossen die Autoren einen starken generellen und einen moderaten spezifischen Einfluss der Arbeitsmethoden. Dieses Ergebnis bestätigten die Autoren auch in Pfadanalysen. In einer dieser Analysen fanden sie einen starken Zusammenhang zwischen der Intelligenz und der latenten Variable „allgemeine Arbeitsmethoden“ (siehe Abbildung 4). Die Pfadanalysen basierten allerdings nur auf den Daten von 14 Versuchspersonen und sind deshalb wohl als explorativ anzusehen.

Die beiden Synthesemöglichkeiten könnten auch in einem Modell zusammengefasst werden, in dem eine Entwicklung des hierarchischen Modells angenommen wird. Hierbei würden bei jüngeren Lernern die Sekundärfaktoren der domänenspezifischen Metakognitionen einen größeren Einfluss haben, während bei älteren Lernern die Bedeutung der übergeordneten allgemeinen Metakognition immer weiter zunehmen würde.

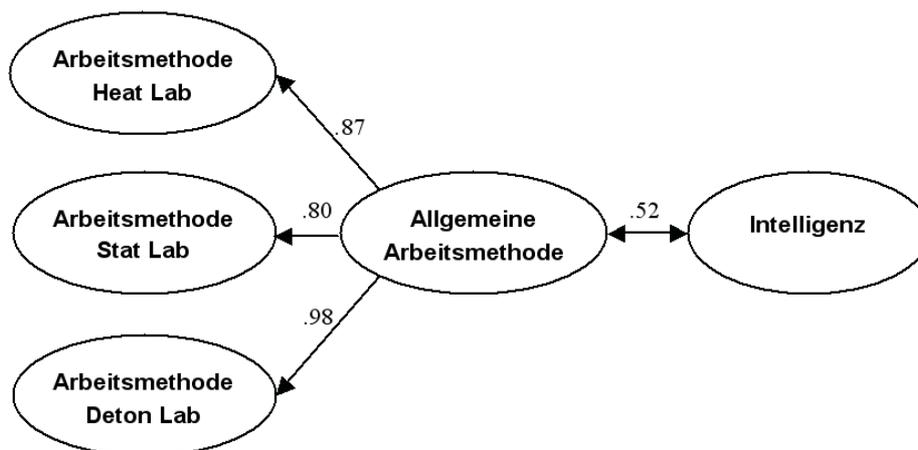


Abbildung 4: Faktorenanalyse zweiten Grades der Arbeitsmethoden (modifiziert nach Veenman et al. 1997, die Messmodelle wurden der Übersicht halber weggelassen)

3.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen im Hinblick auf Untersuchung und Instruktion von Metakognition

Insgesamt lassen sich in der Literatur zur Domänenspezifität vs. –generalität der Metakognition drei verschiedene Modelle beobachten. Das erste Modell ist durch eine domänenübergreifende Sichtweise gekennzeichnet (Schraw, 1998; Schraw et al., 1995; Schraw & Nietfeld, 1998; Veenman et al., 2004). Hiernach wäre das Lernen in unterschiedlichen Domänen ausschließlich durch einen Faktor der allgemeinen Metakognition beeinflusst. Das zweite Modell wäre eine domänenspezifische Sichtweise, nach der es für jede Domäne eigene metakognitive Fähigkeiten gibt, die nicht auf andere Domänen übertragen werden. Das Lernen in verschiedenen Domänen würde dann durch verschiedene spezifische Metakognitionen beeinflusst (Kelemen et al., 2000; Lind & Sandmann, 2003). Als drittes Modell käme ein Mischmodell in Frage, nach dem sowohl domänenübergreifende als auch domänenspezifische Anteile der Metakognition das Lernen beeinflussen (Veenman et al., 1997). Ein solches Mischmodell könnte mit den Syntheseansätzen aus dem vorherigen Abschnitt in Einklang gebracht werden. Es könnte einer Entwicklung unterliegen, bei der zunächst domänenspezifische Metakognitionen im Vordergrund stehen, die dann sukzessive von einer allgemeinen metakognitiven Fähigkeit abgelöst werden, oder sich mit der Vermutung einer hierarchischen Struktur der Metakognition decken (vgl. Abschnitt 3.3). So soll im Rahmen der Studie I dieser Arbeit untersucht werden, wie groß der Erklärungsanteil der chemiespezifischen Metakognition für das Lernen in Chemie in einem solchen gemischten Modell mit domänenspezifischen und domänengenerellen Anteilen ist (siehe Abschnitt 7.1 für die diesbezüglichen Forschungsfragen).

Aus der Feststellung, dass das erste Modell noch nicht als ausreichend gesichert gelten kann, bzw. in der neueren Forschung in Frage gestellt wird, folgt, dass bei der Beschäftigung mit Metakognition einer möglichen Domänenspezifität Rechnung getragen werden sollte. Wenn auch nur einige Lerner Schwierigkeiten haben, spezifisches metakognitives Wissen auf neue Gebiete zu transferieren, so sollte dies auch Auswirkung auf die Untersuchungsmethoden haben. Aus pragmatischen Gründen wäre wegen dieser Überlegungen gerade für unerfahrenere Lerner eine Entwicklung von domänenspezifischen Untersuchungsinstrumenten angebracht. Dieses wird in dieser Arbeit im Rahmen der Studie I (Kapitel 8) für die Domäne Chemie umgesetzt.

Bezüglich einer geeigneten Instruktionsmethode der Metakognition geben viele Autoren einer Methode den Vorzug, in der metakognitive Fähigkeiten gemeinsam mit Fachinhalten unterrichtet werden (Georghiades, 2004; Hattie et al., 1996; Mähler & Hasselhorn, 2001). Auch Weinsteins (1988) *Metacurriculum* fußt auf der Idee, metakognitive Instruktionen oder Strategieinstruktionen mit den Lerninhalten zusammen zu vermitteln. Dazu müsste das gesamte Curriculum dahingehend analysiert werden, an welchen Stellen solche Strategieinstruktionen sinnvoll sind. Aufbauend auf einer solchen fachgebundenen Einführung kann eine Generalisierung auf andere Fächerdomänen erfolgen. Im *Cognitive-Apprenticeship*-Ansatz würde dieser Prozess der Generalisierung so aussehen (Brown et al., 1989, siehe Abbildung 5):

1. Der Lehrende gibt ein Modell seiner kognitiven Prozesse in einer Situation dadurch, dass er seine Gedanken verbalisiert.
2. Der Lehrende coacht den Lernenden bei seinen ersten Versuchen, die Aktivität selbst auszuführen.
3. Der Lernende führt die Aktivität nun selbständiger in verschiedenen Situationen fort und tauscht sich dabei mit anderen aus.
4. Diese Zusammenarbeit führt zur Artikulation und Reflexion von Strategien.
5. Dies hilft dem Lernenden, das Gelernte aus anderer Perspektive zu sehen, auf neue Situationen zu übertragen und so zu generalisieren.

Besonders die Methoden der Artikulation und Reflexion beziehen sich hierbei auf den Erwerb und die Generalisierung strategischer Fähigkeiten.

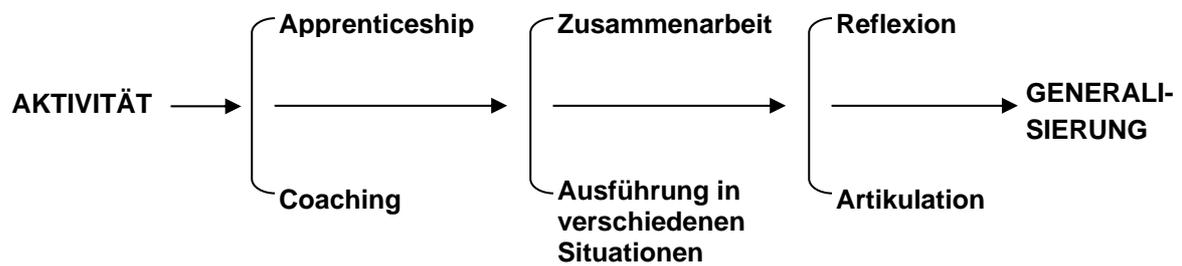


Abbildung 5: Prozess der Generalisierung einer Aktivität (nach Brown et al. 1989, übersetzt durch Verfasserin)

Auch Perkins und Salomon (1989) schlagen einen ähnlichen Lernprozess vor. Zunächst sollen die Fertigkeiten in einem, dann in mehreren Kontexten geübt werden, um dann auf einen neuen Kontext mit Hilfe eines *high road transfer* übertragen zu werden (vgl. auch abstraktes vs. abstrahiertes Wissen nach Adams, 1989). Ein solcher *high road transfer* unterscheidet sich durch bewusste Abstraktion von Prinzipien vom *low road transfer*, der durch Automatisierung gekennzeichnet ist.

4 Metakognition beim Lernen in Chemie

Aufbauend auf den Überlegungen aus Kapitel 3, aus denen hervorgeht, dass die Metakognition zumindest teilweise als domänenspezifisches Konstrukt zu konzeptualisieren sein könnte, soll in diesem Kapitel der Fokus darauf gerichtet werden, was die Besonderheiten der Metakognition in einem naturwissenschaftlichen Fach, genauer der Chemie, sein könnten und wie die Metakognition beim Lernen in Chemie beschrieben werden kann. Hierbei werden die Überlegungen nicht in Bezug auf die Naturwissenschaften im Allgemeinen angestellt, sondern auf Chemie als Einzelfach bezogen, da die Naturwissenschaften in Deutschland zumeist kein integriertes Unterrichtsfach sind, sondern in die Teildisziplinen aufgeteilt werden. Eine Herausbildung von domänenspezifischer Metakognition ist deshalb auch zunächst nicht für die Naturwissenschaften im Allgemeinen, sondern bezüglich der in Deutschland unterrichteten Teildisziplinen anzunehmen. Ein Transfer auf die gesamten Naturwissenschaften könnte den in Kapitel 3 angesprochenen Schwierigkeiten unterworfen sein und ist daher erst in einem zweiten Schritt zu erwarten (siehe Abschnitt 3.4). Trotzdem wird auch Literatur zu Rate gezogen, die sich auf die Naturwissenschaften als Ganzes oder andere Teildisziplinen als die Chemie bezieht, soweit eine Übertragbarkeit auch auf das Unterrichtsfach Chemie angenommen werden kann.

Im Folgenden soll zunächst überlegt werden, worauf sich metakognitives Wissen in der Chemie beziehen könnte (Abschnitt 4.1). Diese Überlegungen bilden den theoretischen Ausgangspunkt für die Entwicklung eines chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests, der für die Untersuchung des Konstrukts der chemiespezifischen Metakognition in Studie I dieser Arbeit (siehe Kapitel 8) benötigt wird. Daran anschließend wird auf verschiedene, mögliche Einflussfaktoren und Kriterien einer chemiespezifischen Metakognition eingegangen (Abschnitt 4.2). Diese Überlegungen werden in einem Entwurf eines Modells chemiespezifischer Metakognition zusammengefasst (Abschnitt 4.3). Dieses Modell soll die theoretische Grundlage für die Fragestellungen der empirischen Studie I dieser Arbeit bilden, in der das Konstrukt der chemiespezifischen Metakognition genauer in seinen Beziehungen zu anderen domänenspezifischen und domänenübergreifenden Konstrukten untersucht wird (siehe Abschnitt 7.1.). Diese ersten drei Abschnitte beziehen sich also hauptsächlich auf die individuelle Ebene der chemiespezifischen Metakognition. Es ist jedoch anzunehmen, dass diese individuelle Ebene durch institutionelle Rahmenbedingungen wie den Chemieunterricht beeinflusst wird. Daher soll die mutmaßliche Situation des Chemieunterrichts in Deutschland kurz im Hinblick auf seine Lerngelegenheiten für chemiespezifische Metakognition beschrieben werden (Abschnitt 4.3). Hierbei wird auch darauf eingegangen, welche Merkmale ein aus metakognitiver Sicht „idealer“ Chemieunterricht haben könnte. Die Wechselwirkungen zwischen Angebots- und

Nutzungsseite beim Lernen in Chemie werden im Angebots-Nutzungsmodell von Fend (2002) beschrieben, auf welches zum Abschluss des Abschnitts 4.4 kurz eingegangen wird.

4.1 Bereiche metakognitiven Wissens in der Chemie

Es soll der Frage nachgegangen werden, in welchen Bereichen beim Lernen in Chemie metakognitives Wissen entsteht und den Lernprozess beeinflussen könnte. Um diese Frage zu beantworten, wird hauptsächlich Literatur der Forschung zur *Scientific Discovery* (z. B. Klahr, 2000), zur Kompetenzentwicklung in den Naturwissenschaften (z. B. Hammann, 2004; Hammann, 2006a), zum naturwissenschaftlichen Denken (z. B. Sodian, 2001) und der *Scientific Literacy* (z. B. Gräber, Nentwig, Koballa & Evans, 2002) zur Hilfe genommen. In dieser Literatur wird eine enge Verknüpfung von Kenntnissen über naturwissenschaftliche Inhalte und allgemeineren Kompetenzen oder Strategien betont (z. B. Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992; Penner & Klahr, 1996). Es ist „beispielsweise möglich, dass ein und derselbe Lernende in einer vertrauten Domäne die Strategie der Variation und Kontrolle von Variablen erfolgreich anwendet, in einer unbekanntem Domäne jedoch genau hierbei Fehler macht“ (Hammann, 2004, S. 200). Viele Autoren in diesem theoretischen Umfeld beziehen sich auf bestimmte Stadien des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns, in denen Phasen wie Hypothesen generieren, Experimente planen und Auswertung von Daten unterschieden werden.

Auf solche Literatur beziehen sich sowohl internationale Schulleistungsstudien wie PISA oder TIMSS als auch der Entwurf der Bildungsstandards im Fach Chemie. Da besonders in der Literatur zu PISA und den Bildungsstandards der Kompetenzbegriff recht häufig verwandt wird, soll dieser kurz definiert werden: „Kompetenzen [bezeichnen] die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernten kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert, 2001, S. 27). Kompetenzen bestehen also einerseits aus kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, gehen aber andererseits über diese hinaus, da motivationale und soziale Fähigkeiten miteinbezogen werden. Bei der Anwendung von „Problemlösungen in variablen Situationen“ ist auch eine Nähe zum Metakognitionsbegriff zu bemerken: Es ist anzunehmen, dass metakognitives Wissen und exekutive Metakognition steuernd in diesen Prozess mit eingreifen.

Auf Basis der Literatur und eigener Überlegungen wurden folgende Bereiche gefunden, in denen metakognitives Wissen in der Chemie eine Rolle spielen könnte:

Urteils-/Bewertungsstrategien

Hammann (2006a) sieht die Fähigkeiten, Schlussfolgerungen zu ziehen und zu bewerten sowie naturwissenschaftliche Fragestellungen und Anwendungen zu bewerten, als Kompetenzen an, die es zu fördern gilt.

In den Bildungsstandards des Fachs Chemie (Kultusministerkonferenz, 2004) stellt die Bewertung einen eigenen unter insgesamt vier Kompetenzbereichen (Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung) dar, doch auch im Kompetenzbereich Kommunikation finden sich Anteile, die man unter Bewertungs- oder Urteilsstrategien fassen könnte. In den Standards finden sich solche Strategien wie das Überprüfen von Informationen daraufhin, ob getroffene Aussagen chemisch korrekt sind, Hinterfragung von Darstellung in Medien hinsichtlich fachlicher Richtigkeit, Informationen auswerten und für eigene Argumentationen geeignete Argumente auswählen (Kompetenzbereich Kommunikation), Reflexion der Beziehungen zwischen Naturwissenschaft und Gesellschaft, Suchen von Fragestellungen, die einen engen Bezug zu anderen Unterrichtsfächern aufweisen, Einbinden von chemischen Sachverhalten in übergeordnete Problemzusammenhänge (Kompetenzbereich Bewertung).

Auch im Naturwissenschaftstest von PISA 2003 wird die Bewertungskompetenz berücksichtigt. Unter ihr wird die Fähigkeit verstanden, eine getroffene Entscheidung oder Bewertung zu begründen (Rost, Walter, Carstensen, Senkbeil & Prenzel, 2004b).

Hypothesen generieren

Für Klahr und Dunbar (1988; 1989) ist der Prozess der *Scientific Discovery* gekennzeichnet durch die Suche in zwei Problemräumen: dem Hypothesen-Suchraum und dem Experimentier-Suchraum. Die Suche im Hypothesen-Suchraum ist geleitet durch den Bezug auf domänenspezifisches Vorwissen und/oder schon bekannte Daten aus Experimenten (Klahr & Dunbar, 1988).

Die Fähigkeit, naturwissenschaftliche Fragestellungen überhaupt zu erkennen, ist für Hammann (2006a) eine naturwissenschaftliche Kompetenz. In den Bildungsstandards (Kultusministerkonferenz, 2004) wird das Finden einer Ausgangsfrage unter den Bereich Erkenntnisgewinnung subsumiert.

Planen von Experimenten

Tschirgi (1980) gab Versuchsteilnehmern Beschreibungen von erfolgreichen und weniger erfolgreichen „Backexperimenten“ und eine Bewertung, ob die Kuchen geglückt waren (ein Kuchen aus Honig, Vollkornmehl und Margarine wurde z. B. als geglückt beschrieben). Die Versuchspersonen sollten nun ein Experiment auswählen, das dazu geeignet wäre zu bestimmen, ob ein bestimmter Faktor (z. B. Honig) allein für das Ergebnis verantwortlich ist. Tschirgi beschreibt nun drei Strategien für das Planen

von Experimenten: VOTAT (Vary one thing at a time) wurde von Versuchspersonen eher eingesetzt, wenn das Ausgangsergebnis ein gutes Ergebnis (ein geglückter Kuchen) war; HOTAT (hold one thing at a time) wurde besonders dann gewählt, wenn das Ergebnis des Ausgangsexperimentes schlecht war; für die Strategie CA (change all, Variablen werden auf einmal verändert) wurde dieser Einzelvergleich nicht signifikant. VOTAT (Kontrollgruppenstudien mit nur einer variierten Variable) ist eine allgemeine Strategie, um Konfundierungen in Experimenten zu vermeiden, und nimmt mit dem Alter zu. HOTAT bleibt über die untersuchten Alterstufen (zweite, vierte und sechste Klasse sowie Erwachsene) annähernd konstant, während die CA-Strategie mit dem Älterwerden deutlich abnimmt.

Der zweite wichtige Prozess des *Scientific Discovery* ist für Klahr und Dunbar (1988; 1989) die Suche im Experimentier-Suchraum. Hierbei ist besonders der Umgang mit Variablen bei der Planung von Experimenten wichtig, damit die Daten im Hinblick auf Hypothesen interpretierbar werden.

Auch Hammann (2004) sieht ein solches Vorgehen, welches zu interpretierbaren Ergebnissen führt, als eine wichtige Kompetenz an. Die Lernenden sollen ein Verständnis darüber erlangen, wie Variablen bestimmt werden, die kontrolliert werden müssen, und sie sollen naturwissenschaftliche Untersuchungen hinsichtlich ihres Designs analysieren können.

Die Bildungsstandards für das Fach Chemie (Kultusministerkonferenz, 2004) sehen unter dem Bereich Erkenntnisgewinnung die Planung von geeigneten Untersuchungen unter festgelegten Bedingungen zur Überprüfung von Hypothesen als wünschenswerte Kompetenz an. Sodian (2001) sieht das Fehlen eines Gesamtplans als ein gravierendes Defizit bei der Planung und Durchführung von Experimenten an. Bei Dritt- und Viertklässlern konnte die Strategie der Variablenkontrolle durch ein Training bedeutsam verbessert werden (Chen & Klahr, 1999). Die trainierten Kinder zeigten auch die Fähigkeit, die Strategie zu generalisieren und auf neue Domänen zu übertragen.

Die VOTAT-Strategie ist für strenge, wissenschaftliche Vergleiche sicherlich die angemessenste, doch oft werden von Lernern andere Strategien genutzt, die in realitätsnahen Situationen mit vielen, untereinander korrelierten Variablen durchaus angemessen sein können (Penner & Klahr, 1996; Schunn & Klahr, 2002). Schlussfolgerungen müssen in diesem Fall auf einen Korpus multipler Experimente gestützt werden (Penner & Klahr, 1996).

Durchführung von Experimenten (Befolgen eines Plans)

Bei der Durchführung eines Experiments ist die Fähigkeit zum Befolgen und Überwachen eines selbstentwickelten oder vorgegebenen Plans von entscheidender Wichtigkeit für das Gelingen und die Interpretierbarkeit des Experiments. So wird auch in den Bildungsstandards (Kultusministerkonferenz, 2004) die Organisation der Arbeitsschritte als eine Kompetenz im Bereich Erkenntnisgewinnung genannt.

Auswertung eines Experiments/Interpretation von Ergebnissen

Nach Klahr und Dunbar (1988; 1989) vermittelt die Auswertung zwischen Hypothesen-Suchraum und Experimentier-Suchraum. Bei dieser Auswertung sind Abschätzung von Fehlern und Einschätzung der Vertrauenswürdigkeit von Daten entscheidend.

Hammann (2004) nennt in diesem Zusammenhang die folgenden Kompetenzen: Schlussfolgerungen auf Basis von Daten ziehen, Modelle und theoretische Annahmen anwenden, um Erklärungen zu geben, naturwissenschaftliche Nachweise identifizieren sowie die Einschätzung der Übereinstimmung zwischen erwartetem Resultat und ermittelter Evidenz. Die Bildungsstandards (Kultusministerkonferenz, 2004) fassen diesen Abgleich mit Modellvorstellungen unter den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung.

Umgang mit unerwarteten oder kontraintuitiven Sachverhalten und „Fehlern“

Eine besondere Anforderung bei der Auswertung von Experimenten stellt der Umgang mit überraschenden Ergebnissen dar: Überraschende Ergebnisse sollten eigentlich zu neuen Forschungszielen und neuen Erklärungsmöglichkeiten führen (Kulkarni & Simon, 1988). Hieraus folgt die Generierung neuer Hypothesen und die Sammlung neuer Daten. Dieses wäre nach Klahr und Fay (1993) eine Heuristik, in der unerwartete Ergebnisse für den weiteren Forschungsprozess nutzbar gemacht werden. Dazu müssten Lernende sich erst des unerwarteten Ergebnisses überhaupt bewusst werden, dann müssten sie bemerken, dass ihr bisheriges Verständnis nicht ausreicht, um das unerwartete Ergebnis zu erklären, um anschließend den Plan zu fassen, es genauer zu untersuchen (Penner & Klahr, 1996). Häufig werden unerwartete Ergebnisse jedoch nicht ausreichend untersucht. Kuhn (1989) beobachtete, dass unerwartete Ergebnisse oft einfach unreflektiert der bisherigen Wissensbasis hinzugefügt werden, ohne dass sie weiter untersucht würden. Chinn und Brewer (1998) führen sieben verschiedene Strategien auf, mit denen Lerner auf unerwartete Ergebnisse reagieren: Ignorieren der Daten, Zurückweisen der Daten, Ausschließen der Daten, Unentschlossenheit, Uminterpretieren, leichte Theorieänderung, Theorieänderung. Wie Lernende auf die unerwarteten Ergebnisse reagieren, hängt dabei von den folgenden Faktoren ab: Charakteristiken des Vorwissens, Charakteristiken der alternativen Theorie, Charakteristiken der unerwarteten Daten und Verarbeitungsstrategien. Tiefe

Verarbeitungsstrategien, wie z. B. das Verwenden von Selbsterklärungen sollen laut Chinn und Brewer die Änderung der ursprünglichen Theorie unterstützen.

Dazu passt, dass beim Lernen in Chemie häufig kontraintuitive Sachverhalte erlernt werden müssen, bei denen sich Alltagsvorstellungen und das wissenschaftliche Verständnis widersprechen. Heinecke (1997) schlägt vor, dies zum Ausgangspunkt einer Lernstrategie zu machen, in der die Schüler, ausgehend von einem kognitiven Konflikt, der hervorgerufen wird von dem Widerstreit einer Alltagsvorstellung mit einem der Alltagsvorstellung widersprechenden experimentellen Befund, Problemfragen und Vermutungen selbstreguliert generieren und überprüfen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Forschung, die sich mit dem Umgang mit „Fehlern“ beim Lernen befasst (Seidel & Prenzel, 2003). Ein Anzeichen für das Vorliegen eines kontraintuitiven Sachverhalts oder eines unerwarteten Ergebnisses sind die „Fehler“, die die Lernenden in ihrem Lernprozess machen. Gerade das Erkennen eines Fehlers kann jedoch zum Hinterfragen vorwissenschaftlicher Erklärungsmodelle und zu einem neuen Lösungsweg führen. So können das Erkennen von Fehlern und das Erlernen von einem sinnvollem Umgang mit diesen, z. B. durch Such- und Lösungsstrategien, zu einem echten Erkenntnisgewinn führen, der auf dem Vorwissen aufbaut (Seidel & Prenzel, 2003). Ein sinnvoller Umgang mit Fehlern kann als ein Kernstück von, für das naturwissenschaftliche Lernen besonders wichtigen, Conceptual-Change-Prozessen (Vosniadou, 1994; Vosniadou & Ioannides, 1998) angesehen werden.

Lernen mit Modellzeichnungen, Visualisierungen

Der nationale Naturwissenschaftstest von PISA 2003 unterscheidet die kognitiven Teilkompetenzen „Umgang mit Graphiken“ und „mentale Modelle“ (Rost et al., 2004b). In mentalen Modellen spiegelt sich das Verständnis, welches eine Person über bestimmte Domänen (wie z. B. Bewegung) erlangt hat, wider. Solche mentalen Modelle erlauben einer Person, Vorhersagen über naturwissenschaftliche Prozesse zu machen (Gentner & Stevens, 1983). Häufig sind solche mentalen Modelle durch Modellzeichnungen visualisierbar. Bei einem gekonnten Umgang mit solchen Visualisierungen erleichtern diese die Aneignung von Wissen und das Erklären von Phänomenen. Aufgabenbeispiele aus PISA 2003 sind eine Aufgabe, bei der der Schüler aus einer Grafik die Angabe entnehmen soll, wie groß die Geschwindigkeit eines PKW maximal sein darf, um einen bestimmten Bremsweg nicht zu überschreiten (Umgang mit Graphiken), und eine Aufgabe, in der die Reaktion eines Autos visualisiert wird, das auf eine vereiste Fahrbahn gerät (Mentale Modelle).

Das Anwenden einzelner der beschriebenen Kompetenzen kann sicherlich noch nicht als Anzeichen metakognitiven Wissens angesehen werden. Metakognitives Wissen besteht vielmehr nicht nur aus dem Wissen darüber, welche Strategien es gibt, sondern auch darüber, wie und wann diese in geeigneter Weise eingesetzt werden (metakognitives Aufgabenwissen). Doch kann aus den beschriebenen Kompetenzen

naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns durch Reflexion metakognitives Wissen entstehen, wenn man grundlegenden Modellen der Metakognition folgt (Borkowski & Muthukrishna, 1992; Ertmer & Newby, 1996, siehe Abschnitt 2.2). Durch das Anwenden spezifischer Strategien in verschiedenen Abschnitten des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns kann der Lerner allgemeineres metakognitives Wissen darüber abstrahieren, in welchen Situationen welche Strategien eingesetzt werden können und zum Erfolg führen. Dieses abstrahierte Wissen über chemiespezifische Vorgehensweisen kann als chemiespezifisches metakognitives Wissen angesehen werden.

In PISA 2003 (Hamman, 2006b) wird zwischen *naturwissenschaftlichem Wissen* und *Wissen über Naturwissenschaften* unterschieden. Das *Wissen über Naturwissenschaften* kann als eine Art metakognitives Wissen angesehen werden, welches die folgenden Bereiche umfasst:

- Wissen über Ziele und Vorgehensweisen beim Erkenntnisgewinn in den Naturwissenschaften,
- Wissen über naturwissenschaftliche Erklärungen und
- Wissen über die Rolle der Naturwissenschaften in der Gesellschaft sowie Wissen über das Verhältnis von Naturwissenschaft und Technik.

Dieses Wissen über Naturwissenschaften ist als noch abstrakter anzusehen als chemiespezifisches metakognitives Wissen, da es alle Naturwissenschaften samt ihrer gesellschaftlichen Relevanz umfasst und in seiner Art daher nicht unbedingt domänenspezifisch ist. Trotzdem ist chemiespezifisches metakognitives Wissen nicht als unabhängig von diesem allgemeineren Wissen über die Natur der Naturwissenschaften zu sehen und könnte davon beeinflusst werden. Mit chemiespezifischem metakognitiven Wissen ist jedoch eher das Wissen über Strategien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung im Kontext chemiespezifischer Aufgaben und Situationen gemeint.

4.2 Bedingungsgefüge des chemiespezifischen metakognitiven Lernens

Im Folgenden soll darauf eingegangen werden, wodurch das metakognitive Lernen sowohl bezüglich der exekutiven Metakognition als auch bezüglich des metakognitiven Wissens beeinflusst werden könnte. Als Einflussfaktoren sollen dabei das kognitive Konstrukt Vorwissen in Chemie (Abschnitt 4.2.1) sowie die motivationalen Konstrukte chemiespezifisches Selbstkonzept und Chemieinteresse (Abschnitt 4.2.2) betrachtet werden. In Abschnitt 4.2.3 wird der theoretisch aus dem erweiterten Erwartungs-Wert-

Modell der Leistungsmotivation hergeleitete Zusammenhang zwischen diesen Einflussfaktoren und ihre angenommene Wirkung auf die Metakognition beschrieben.

Des Weiteren sollen zwei mögliche Kriterien der Metakognition in Chemie dargelegt werden (Abschnitt 4.2.4). Als chemiespezifisches Kriterium wird das allgemeine Chemiewissen berücksichtigt, als allgemeineres, domänenübergreifendes Kriterium soll die Problemlösefähigkeit einbezogen werden.

4.2.1 Kognitiver Einflussfaktor: Vorwissen in Chemie

Eine wichtige Determinante von Lernprozessen und –ergebnissen ist immer das, was der Lerner schon weiß. Die Bedeutung des Vorwissens wird in verschiedenen Forschungsparadigmen der Lehr- und Lernforschung betont, wie z. B. dem Experten-Novizen Paradigma oder der Conceptual Change Forschung. Im Experten-Novizen Paradigma unterscheiden sich Experten und Novizen vor allem durch die Menge ihres Vorwissens. Aus diesem Unterschied im Vorwissen zwischen Experten und Novizen resultieren erst Gedächtnisunterschiede, Unterschiede in der kognitiven Verarbeitung und Unterschiede im Einsatz von Lernstrategien und Metakognition (siehe Abschnitt 3.2.1.2). Die Verbindung zur Expertiseforschung zeigt, dass der Einfluss des Vorwissens eng mit der Frage nach der Domänenspezifität vs. –generalität der Metakognition assoziiert ist. In verschiedenen Domänen können verschiedene Expertisegrade vorliegen und so intraindividuelle Schwankungen im Bereich der Metakognition erklären. Auch in Conceptual-Change-Ansätzen wird die Rolle des Vorwissens in einem Gebiet für den Lernprozess betont: Präkonzepte wandeln sich im Verlauf des Konzeptwechsels zu anerkannten Konzepten (Vosniadou, 1994; Vosniadou & Ioannides, 1998). Laut Dochy (1996) werden in von ihm gesichteten Studien durch das Vorwissen 20% bis 80% der Varianz in Leistungsmaßen erklärt, wobei der Mittelwert bei 50% liegt. Damit läge die prädiktive Aussagekraft des Vorwissens über dem aller anderen von Dochy betrachteten Variablen. Es sei kurz geklärt, dass mit Vorwissen an dieser Stelle immer inhaltliches, domänenspezifisches Vorwissen und nicht etwa metakognitives, domänenübergreifendes Vorwissen gemeint ist.

In einer Studie, die das Behalten von Fußballwissen durch Fußballexperten und Fußballnovizen untersucht, konnten Körkel und Schneider (1992, zit. nach Schneider et al., 1998) einen hohen Pfadkoeffizienten vom domänenspezifischen Vorwissen zur prozeduralen Metakognition finden. Es gab in dieser Studie jedoch keine Verbindung zwischen Vorwissen und deklarativer Metakognition. Da Körkel und Schneider (1992) spezifizieren, dass ein Pfad zwischen Vorwissen und deklarativer Metakognition auch nicht zu erwarten ist, da die deklarative Metakognition aus allgemeinerem, domänenunspezifischen Wissen über Textverarbeitung besteht, mag der mangelnde Zusammenhang zwischen Vorwissen und deklarativer Metakognition bei Körkel und

Schneider mit der Art der Operationalisierung und Messung der Metakognition zusammenhängen.

Auch Hasselhorn und Körkel (1984) finden einen differentiellen Effekt des Expertisegrades auf den Zusammenhang zwischen Metakognition und Behaltensleistung, nur ist dieser in umgekehrter Weise ausgeprägt. Bei Laien kommt dem deklarativen Metawissen wesentlich mehr Bedeutung zu als bei den Experten. Die anderen untersuchten metakognitiven Komponenten („Reflexivitätskomponente“ und „Flexibilitätskomponente“) korrelieren relativ unabhängig von dem Expertisegrad aber substantiell positiv mit der Behaltensleistung. Weiterhin konnten Hasselhorn und Körkel feststellen, dass sich der Expertisegrad auf fast alle metakognitiven Komponenten in der Weise auswirkt, dass die Experten höhere Indikatoren aufweisen (diese Effekte waren jedoch nur teilweise signifikant).

Auf Grund der vorgestellten Studien kann davon ausgegangen werden, dass Vorwissen in Chemie einen positiven Effekt sowohl auf das chemiespezifische metakognitive Wissen als auch auf die exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie haben kann. Ob dieser Effekt eher bei Novizen oder Experten auftritt oder bei allen Lernenden zu erwarten ist, kann auf Grund der gegenwärtigen Befundlage nicht geklärt werden.

4.2.2 Motivationale Einflussfaktoren: Chemiespezifisches Selbstkonzept und Chemieinteresse

4.2.2.1 *Chemiespezifisches Selbstkonzept*

Auch das chemiespezifische Selbstkonzept war schon Gegenstand einiger Untersuchungen (z. B. Schanze, 2001; Stracke, 2004; Urhahne, 2002). Bei Urhahne (2002) und bei Schanze (2001) ergaben sich signifikante positive Korrelationen des chemiespezifischen Selbstkonzepts mit den meisten verwendeten Chemiewissenstests. Im folgenden soll das Selbstkonzept unter allgemeineren Gesichtspunkten beschrieben werden. Es ist davon auszugehen, dass die allgemeinen theoretischen Erkenntnisse auch auf das chemiespezifische Selbstkonzept übertragen werden können.

Als Selbstkonzept werden alle Vorstellungen, Einstellungen und Bewertungen gegenüber der eigenen Person verstanden. Zumeist wird hierbei zwischen einer affektiven und einer kognitiven Komponente unterschieden. Zur Struktur des Selbstkonzeptes ist anzumerken, dass sich zunehmend die Sicht durchsetzt, die eine hierarchische Struktur des Selbstkonzeptes mit multiplen Facetten beschreibt (Shavelson, Hubner & Stanton, 1976). Unter dem generellen Selbstkonzept befinden sich in der mittleren Hierarchieebene z. B. das akademische oder soziale Selbstkonzept, die auf der unteren Ebene noch weiter aufgeteilt werden, z. B. in Selbstkonzepte bezüglich verschiedener Schulfächer. Es kann daher auch ein spezifisches Selbstkonzept

bezüglich der Chemie angenommen werden. Neuere Studien weisen darauf hin, dass die Selbstkonzepte bezüglich verschiedener Fächer häufig weniger korreliert sind, als die Leistungen in eben jenen Fächern (Möller & Köller, 2004). Dies führte zu einer Unterteilung des akademischen Selbstkonzeptes in zwei weitere Facetten: dem verbalen und dem mathematischen Selbstkonzept. Die Entstehung von getrennten mathematischen und verbalen Selbstkonzepten kann durch das Bezugsrahmenmodell erklärt werden (Marsh, 1986). Demnach gibt es zwei wichtige Informationsquellen zur Entstehung von Selbstkonzepten: der soziale und der dimensionale Vergleich. Beim sozialen Vergleich vergleicht der Lerner seine Leistungen mit denen anderer Lerner, beim dimensional Vergleich vergleicht er seine Leistungen mit seinen eigenen Leistungen in anderen Dimensionen. Ein dimensionaler Vergleich kann z. B. dazu führen, dass ein Schüler, der in Mathematik durchschnittliche Leistungen erbringt, in Deutsch jedoch überdurchschnittliche, ein niedrigeres mathematisches Selbstkonzept aufweist, als ein Schüler, der auch eine durchschnittliche Mathematikleistung aufweist jedoch in Deutsch unterdurchschnittliche Leistungen erbringt (Möller & Köller, 2004). Durch einen solchen dimensional Vergleich wird die Korrelation zwischen mathematischem und verbalem Selbstkonzept verringert.

Nach Shavelson et al. (1976) gibt es eine kognitiv-evaluative und eine affektive Komponente des Selbstkonzeptes, die in Selbstkonzept-Skalen selten getrennt werden. Viele Autoren stellen jedoch inzwischen die kognitiv-evaluative Komponente in den Vordergrund (Bong & Clark, 1999; Möller & Schiefele, 2004). Eine Konzentration auf diese Komponente verstärkt jedoch die inhaltliche Nähe des Konstrukts zum Konzept der Selbstwirksamkeitserwartung. Im Gegensatz zum Selbstkonzept beruht die Selbstwirksamkeit allerdings nicht nur aus der Einschätzung eigener Fähigkeiten, sondern auch auf der Beurteilung situativer Gegebenheiten, die mit dafür verantwortlich sind, dass ein bestimmtes Verhalten zu einem bestimmten Ergebnis führt (Moschner, 2001). Trotzdem sollen im Folgenden, wenn von Arbeiten berichtet wird, die sich mit dem Zusammenhang von Selbstkonzepten, selbstreguliertem Lernen und Leistung beschäftigen, auf Grund der Nähe der Begriffe, auch solche Arbeiten miteinbezogen werden, die die Selbstwirksamkeit erheben.

Hansford und Hattie (1982) berichten in einer Metaanalyse von 128 Studien einen mittleren Zusammenhang von $r = .21$ zwischen Selbstkonzept und Leistung. Für den spezifischeren Begriff des Begabungsselbstkonzeptes fanden sie auf der Grundlage von 20 Studien sogar einen mittleren Zusammenhang von $r = .42$. Im Bereich des Lesens konnte gezeigt werden, dass hohe lesebezogene Erfolgserwartungen mit tiefer gehenden Lesestrategien einhergehen (Möller & Schiefele, 2004). Rheinberg (1998) berichtet, dass in einer computersimulierten Lernumgebung die motivationale Skala „Vertrauen vs. Zweifel bezüglich der eigenen Kompetenz“ zum einen das Lernergebnis positiv beeinflusste, zum anderen aber auch die „strategische Systematik“. Walker et al. (2006)

fanden einen positiven Pfadkoeffizienten von der Selbstwirksamkeit zur „bedeutungsvollen kognitiven Beschäftigung“. Dazu passend fanden Pintrich und de Groot (1990) eine hohe korrelative Zusammenhänge sowohl zwischen Selbstwirksamkeit und Selbstregulation als auch zwischen Selbstwirksamkeit und Leistung. Auch Wolters und Pintrich (1998) finden positive Zusammenhänge zwischen Selbstwirksamkeit und kognitiven bzw. regulativen Strategien in den Fächern Englisch, Mathematik und Sozialkunde. Insgesamt kann auf Grund der Forschungslage davon ausgegangen werden, dass eine positive Beeinflussung von Selbstregulation und Metakognition durch fachspezifische Selbstkonzepte plausibel ist.

Hinsichtlich der Kausalität des Selbstkonzeptes wird inzwischen ein wechselseitige Beeinflussung von Selbstkonzept und Leistung angenommen. Die Theorie des Selbstkonzeptes legt nahe, dass das Selbstkonzept unter anderem aus Informationen über Leistungen, auf Grund derer ein sozialer oder dimensionaler Vergleich vorgenommen werden kann, entsteht. Andererseits weist eine groß angelegte Längsschnittstudie von Marsh (1990) darauf hin, dass vorangegangene Noten spätere Selbstkonzepte nicht unbedingt beeinflussen, während vorangegangene Selbstkonzepte spätere Noten positiv beeinflussen. Marsh schließt daraus auf eine kausale Prädominanz der Selbstkonzepte über Noten.

4.2.2.2 Chemieinteresse

Das Interesse an Chemie oder am Chemieunterricht wurde in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung schon wiederholt untersucht. So wurde ausgehend von der Physikinteressenforschung (Hoffman & Lehrke, 1986), die ergab, dass das Interesse an Physik sehr niedrig ist und im Laufe der Schullaufbahn noch weiter abnimmt, auch das Chemieinteresse untersucht. Es zeigte sich, dass das Interesse an Chemie ähnlich niedrig ist (Gräber, 1992a; Gräber, 1992b; Müller-Harbach, Wenck & Bader, 1990; Woest, 1997), wenngleich das Chemieinteresse tendenziell nicht ganz so schlecht ausgeprägt zu sein scheint wie das Physikinteresse (Gräber, 1992a; Woest, 1997). Zudem ergab sich, dass das Interesse an Physik und Chemie bei Mädchen noch niedriger ist als bei Jungen (Gräber, 1992a; Hoffman & Lehrke, 1986).

Im Folgenden soll Interesse als pädagogisch-psychologisches Konstrukt genauer beschrieben werden und dabei auch der Zusammenhang mit der Leistung beschrieben und die Metakognition als eine mögliche mediiierende Variable für diesen Zusammenhang betrachtet werden.

Interesse ist im Kontrast zu anderen Motivationskonstrukten durch ihre Bereichs- bzw. Gegenstandsspezifität gekennzeichnet. Krapp, Prenzel und Schiefele entwickelten die Person-Gegenstandstheorie des Interesses (Krapp, 1992; Prenzel, Krapp & Schiefele,

1986; Prenzel & Schiefele, 2001). Nach dieser Theorie wird Interesse als spezifische Person-Gegenstands-Beziehung definiert. Chemieinteresse wäre nach dieser Definition also durch die Beziehung einer Person zum Gegenstand Chemie gekennzeichnet. Gegenstände sind Sinn- oder Bedeutungseinheiten, die kognitiv von der Person mehr oder weniger stark repräsentiert werden. Die Theorie geht von einer ständigen Interaktion der Person mit ihrer Umwelt aus; geschieht diese Auseinandersetzung zielbezogen und planvoll, liegt eine Interessenhandlung vor. Von diesen Interessenhandlungen, die in der konkreten Interaktion von Person und Gegenstand bestehen, werden das dispositionale oder persönliche Interesse unterschieden. Diese Unterscheidung findet sich auch bei Hidi (1990), die zwischen situationalem Interesse, welches durch bestimmte Stimuli in der Situation evoziert wird, und dem individuellen Interesse, welches eher durch stabile persönliche Vorlieben gekennzeichnet ist, unterscheidet. Aus situationalem Interesse kann (muss aber nicht) sich im Laufe der Zeit individuelles Interesse entwickeln, während individuelles Interesse Vorhersagen über aktualisiertes Interesse in einer Situation gestattet (Prenzel, Lankes & Minsel, 2000). Interesse weist eine starke konzeptionelle Nähe zur intrinsischen Motivation auf. Prenzel et al. (1986) konstatieren denn auch eine Anlehnung des Interessenbegriffs an den Begriff der intrinsischen Motivation. „Intrinsisch motivierte Verhaltensweisen können als interessenbestimmte Handlungen definiert werden, deren Aufrechterhaltung keine vom Handlungsgeschehen „separierbaren“ Konsequenzen erfordert, d. h. keine externen oder intrapsychischen Anstöße, Versprechungen und Drohungen“ (Deci & Ryan, 1993, S. 225). Eine intrinsische motivationale Orientierung, d. h. die Interessenhandlung wird als selbstbestimmt erlebt und die Person identifiziert sich mit ihren Zielen und Anforderungen, ist ein wichtiges Bestimmungsmerkmal des Interesses (Krapp, 1992). Insofern sind intrinsische Motivation und Interesse schwer trennbar; das Interesse kann aber als Bedingungsfaktor der intrinsischen Motivation angesehen werden (Schiefele & Schreyer, 1994).

In einer Metaanalyse von 21 Studien mit 127 unabhängigen Stichproben ermittelten Schiefele, Krapp & Schreyer (1993) einen mittleren Zusammenhang zwischen Interesse und Leistung von $r = .30$. Mit einer Varianzaufklärung von ca. 10% kommt dem Interesse also im Vergleich mit anderen motivationalen Konstrukten eine relativ hohe Vorhersagekraft zu. Bei der Untersuchung der Moderatorvariablen Unterrichtsfach und Klassenstufe ergibt sich die höchste mittlere Korrelation ($r = .37$) für Schüler der Klassen 9 bis 12 in den naturwissenschaftlichen Fächern. Diese höhere Korrelation wird einerseits mit einer zunehmenden Stabilisierung des Zusammenhangs mit höherem Alter und andererseits mit einem höheren Einfluss der motivationalen Bedingungen in den sogenannten „schwierigen“ Fächern, wie den Naturwissenschaften, erklärt (Schiefele et al., 1993). Hinsichtlich der Kausalität des beobachteten Zusammenhangs wird davon ausgegangen, dass ein höheres Interesse tatsächlich den Lernerfolg fördern kann. Andererseits können aber auch Rückkopplungseffekte auftreten, in denen ein erzielter

Lernerfolg seinerseits das Interesse erhöht. Köller, Baumert und Schnabel (2000a) fanden in einer Kausalanalyse eine Abnahme der Wirkung der Mathematikleistung auf das Interesse in den höheren Schuljahrgängen, während sie gleichzeitig eine Zunahme der Wirkung des Mathematikinteresses auf die Leistung beobachteten.

Ein Problem ist, dass der Zusammenhang zwischen Interesse und Leistung recht gut untersucht ist, die Mediatorvariablen, die diesen Zusammenhang vermitteln, jedoch weniger. Ein Kandidat für die Vermittlung des Zusammenhangs ist jedoch das weit gefasste Konzept des selbstregulierten Lernens, welches auch die Metakognition beinhaltet. Zimmerman (1998) bezeichnet z. B. das „intrinsische Interesse“ als wichtigen Einflussfaktor auf das selbstregulierte Lernen. Pintrich und de Groot (1990) fanden in einer Studie, dass Schüler mit hohen Werten in *Intrinsic Value* öfter kognitive Strategien und Selbstregulation (diese Skala enthielt ca. zur Hälfte Items zur Metakognition) nutzen. Für die Leistung war die Selbstregulation der beste Prädiktor, während die kognitiven Strategien einen negativen Supressoreffekt ausübten. Hieraus schließen Pintrich und de Groot (1990), dass Studierende nicht nur über kognitive Strategien Bescheid wissen müssen, sondern auch darüber, wann diese zu nutzen sind. Wild, Krapp und Winteler (1992) beschreiben einen eher negativen Zusammenhang von Studieninteresse und oberflächlichen Lernstrategien (Wiederholen) und signifikante positive Korrelationen zwischen Studieninteresse und Tiefenstrategien (Elaborationen, kritisches Denken). Walker, Greene und Mansell (2006) fanden einen positiven Einfluss von intrinsischer Motivation auf bedeutungsvolle kognitive Beschäftigung, welche die Autoren als Verbindung von Nutzung bedeutungsvoller kognitiver Strategien und eher exekutiver Metakognition definieren. Extrinsische Motivation beeinflusste hingegen eine eher oberflächliche kognitive Beschäftigung. Schiefele und Schreyer (1994) fanden eine signifikante positive Korrelation zwischen intrinsischer Motivation und tiefgehenden Lernstrategien (z. B. Organisation, Elaboration und exekutive Metakognition). Wolters und Pintrich (1998) beobachteten in einer Studie positive Zusammenhänge zwischen dem Task Value (Skala bestehend aus Interesse und instrumenteller Wertschätzung bezüglich der Fächer Englisch, Mathematik und Sozialkunde) und kognitiven bzw. regulativen Strategien (entsprechen der exekutiven Metakognition) in den entsprechenden Fächern.

Eine Erklärung dieses vermittelnden Einflusses des selbstregulierten Lernens ist, dass beim oberflächlichen Lernen die motivationalen Faktoren weniger Einfluss haben, da sie weniger benötigt werden (Schiefele & Schreyer, 1994). Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass tiefgehendes, metakognitives Lernen kognitiv anspruchsvoller ist und daher ein höheres Interesse benötigt, welches diesen anstrengenden Prozess aufrecht erhält.

4.2.3 Zusammenhänge der Einflussfaktoren im erweiterten Erwartungs-Wert-Modell der Leistungsmotivation

Das erweiterte Erwartungs-Wert von Eccles, Wigfield und Kollegen (z. B. Eccles et al., 1983; Wigfield & Eccles, 2000) schließt theoretisch an das Erwartungs-Wert-Modell von Atkinson (Atkinson, 1957) an, in dem individuelle Unterschiede der Leistungsmotivation auf die subjektive Erfolgswahrscheinlichkeit, dem Anreiz dieses Erfolges und auf das personengebunden Erfolgsmotiv bzw. Misserfolgsvermeidungs-9omotiv zurückgeführt werden. Auch Eccles et al. (1983) beziehen sich auf solche Erwartungs- und Wertkomponenten der Leistungsmotivation. Sie nehmen jedoch eine stärkere sozialkognitive Sichtweise ein und erweitern das Modell um Umgebungseinflüsse wie Einflüsse durch Kultur und Erziehung, die sowohl auf die Erwartungs- als auch auf Wertkomponeten des Modells Auswirkungen haben. Weiterhin sehen sie Erwartung und Wert im Gegensatz zu dem dispositionalen Ansatz von Atkinson als aufgabenspezifisch an, so konnten z. B. in konfirmatorischen Faktorenanalysen getrennte Faktoren für Items gefunden werden, die Selbstkonzepte und Erfolgserwartungen in Mathe, Lesen, Musik oder Sport messen (Eccles, Wigfield, Harold & Blumenfeld, 1993; Wigfield & Eccles, 2000). Das aus den Erweiterungen resultierende Modell von Eccles und Wigfield ist in Abbildung 6 dargestellt.

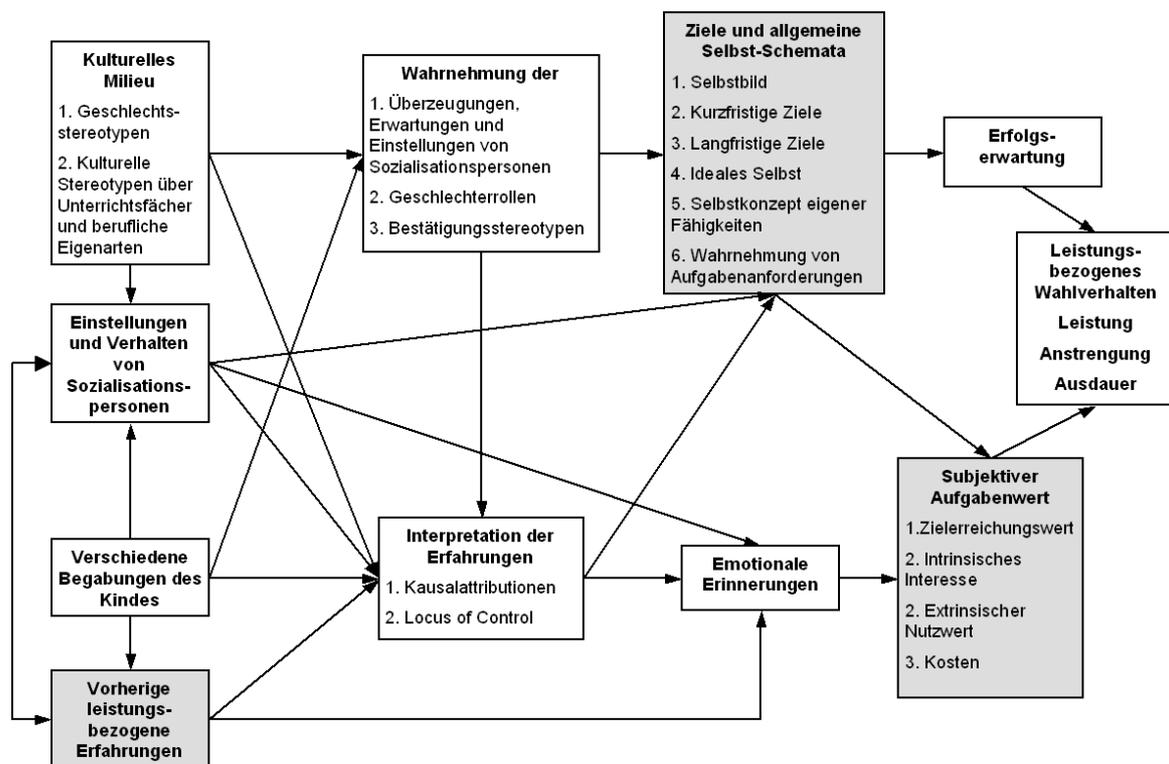


Abbildung 6: Erwartungs-Wert-Modell nach Eccles und Wigfield (2000, Übersetzungen angelehnt an Urhahne, 2002); die für diese Arbeit besonders relevanten Felder sind farbig hinterlegt

Für diese Arbeit sind vor allem die grau hinterlegten Felder aus Abbildung 6 interessant, da die in diesen Feldern enthaltenen Konzepte mit den in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 betrachteten Einflussvariablen auf die chemiespezifische Metakognition korrespondieren.

Das Vorwissen in Chemie (vgl. Abschnitt 4.1), welches im weiteren Verlauf der Arbeit mit Hilfe der Chemienote operationalisiert werden wird, kann als vorherige leistungsbezogene Erfahrung angesehen werden.

Die Interpretation dieser leistungsbezogenen Erfahrungen, die z. B. von der Attribution von Erfolg und Misserfolg abhängt, beeinflusst nun die allgemeinen Selbst-Schemata des Lernenden als Erwartungskomponente des Erwartungs-Wert-Modells. Diese Selbst-Schemata beinhalten u. a. Selbstkonzepte eigener Fähigkeiten, in dieser Arbeit mit dem chemiebezogenen Selbstkonzept als Erwartungskomponente berücksichtigt (siehe Abschnitt 4.2.2.1). Theoretisch resultiert die Erfolgserwartung zwar in dem Modell in Abbildung 6 erst aus den Selbstkonzepten eigener Fähigkeiten, empirisch laden die beiden Konstrukte jedoch auf einem Faktor, wie in konfirmatorischen Faktorenanalysen gezeigt werden konnte (Eccles & Wigfield, 1995; Eccles et al., 1993).

Die Erwartung eine Tätigkeit gut zu beherrschen, wie sie sich im fachbezogenen Selbstkonzept ausdrückt, beeinflusst nun die Wertkomponente, die in Abbildung 6 im Feld „Subjektiver Aufgabenwert“ zu finden ist. In diese Wertkomponente fällt auch das fachbezogene Interesse, in der vorliegenden Arbeit also das Chemieinteresse. Eccles et al. (1983) unterscheiden bezüglich des subjektiven Aufgabenwertes zwischen drei Komponenten: einer Wichtigkeitskomponente, einer affektiven Komponente („Spaß“) und einer Nützlichkeitskomponente. Während in der amerikanischen Literatur nur die affektive Komponente unter das Interesse gefasst wird, vereinen deutsche Autoren die affektive und die Wichtigkeitskomponente in ihrem Interessenkonstrukt (Köller, Daniels, Schnabel & Baumert, 2000b). Auch in der Konzeption des Chemieinteresses in dieser Arbeit fallen die affektive Komponenten und die Wichtigkeitskomponente zusammen. Die Nützlichkeitskomponente hingegen lässt sich eher der extrinsischen Motivation im Sinne von Deci und Ryan (1993) zuordnen. Der Wert einer Tätigkeit würde sich beim Vorherrschen dieser Komponente eher aus der Instrumentalität dieser Tätigkeit im Hinblick auf zukünftige Ziele (z. B. das Erreichen eines bestimmten Berufswunsches oder einer anderen Belohnung ableiten (Wigfield & Eccles, 2000). Dieser extrinsische Wert einer Tätigkeit soll in dieser Arbeit aber nicht betrachtet werden.

Die Erwartungs- und Wertkomponenten bezüglich einer Tätigkeit sollen nun im Modell von Eccles und Wigfield direkte Auswirkungen auf das Leistungsverhalten haben, welches sich in leistungsbezogenen Wahlen (z. B. Kurswahlen), der Anstrengung, der tatsächlich erreichten Leistung oder der Persistenz beim Bewältigen einer Tätigkeit

ausdrückt. Als medierende Variable für diesen positiven Einfluss der Erwartungs- und der Wertkomponenten kommen Variablen wie kognitive Strategien und Selbstregulation in Frage (Wigfield, 1994). Wie schon in Abschnitt 4.2.2 beschrieben, kann von einer positiven Wirkung des Fähigkeitsselbstkonzepts als Erwartungskomponente und des Interesses als Wertkomponente auf das selbstregulierte Lernen im Allgemeinen und die Metakognition im Besonderen ausgegangen werden (Pintrich & De Groot, 1990; Pintrich & Schunk, 1996). Diese Variablen sollen wiederum die Lernleistung positiv beeinflussen.

Die im erweiterten Erwartungs-Wert-Modell von Eccles und Wigfield postulierten Zusammenhänge konnten in vielen empirischen Untersuchungen bestätigt werden, in denen Variablen wie Vorwissen, Selbstkonzept, Interesse und Leistung berücksichtigt wurden. So konnten z. B. Köller et al. (2000b) zeigen, dass die Mathematiknote mediert über das Selbstkonzept und das Interesse die Kurswahlen in Mathematik vorhersagt. Ein direkter Einfluss der Note auf das Interesse konnte in dieser Untersuchung nicht bestätigt werden, vielmehr ist dieser Einfluss über das Selbstkonzept mediert. Zusätzlich zeigt sich ein direkter Effekt der Note auf die Kurswahl. In einer anderen Studie von Köller, Schnabel und Baumert (2000c) zeigt sich ein Einfluss der Leistung auf das Interesse, der ebenfalls durch das Selbstkonzept mediert ist.

4.2.4 Domänenspezifisches Kriterium: Chemiewissen

Chemiespezifisches metakognitives Wissen und exekutive Metakognition sollten sich auch in chemiespezifischen Lernerfolgsmaßen niederschlagen. Für die domänenübergreifende Metakognition konnte ein Einfluss auf bzw. ein Zusammenhang mit der Lernleistung schon des Öfteren festgestellt werden, wie auch in Abschnitt 2.2.2 und Kapitel 6 dargestellt wird.

Eine Forderung bei der Untersuchung von Lernstrategien ist, dass bei der Analyse des Zusammenhangs von Lernstrategien und Lernerfolg geeignete Kriterien verwandt werden müssen (Artelt, 2000a). Diese Forderung scheint auch auf die Metakognition übertragbar, da diese das Wissen über Lernstrategien und die Steuerung ihres Einsatzes beinhaltet. Untersuchungen von Wild und Mitarbeitern mit Hilfe der eigenen Adaption des Lernstrategienfragebogen MSQ (Motivated Strategies for Learning Questionnaire, vgl. Abschnitt 5.1.1, Garcia & Pintrich, 1996) ergaben jedoch, dass Studierende mit anspruchsvollen Lernstrategien nur geringfügig bessere Beurteilungen in Klausurnoten und Diplomprüfungen erhielten, als ihre Kommilitonen (Wild, 1996). Als möglichen Grund dafür führt Wild an, dass pädagogisch wünschenswerte, tiefenorientierte Lernformen in Leistungsbeurteilungen der Hochschule nicht ausreichend honoriert werden. Ähnliche Überlegungen stellt Baumert (1993) für den schulischen Bereich an

und weist aber zusätzlich auf Validitätsprobleme der Operationalisierung von Lernstrategien hin (vgl. Kapitel 5). Auch Paris et al. (1984) konnten keine Verbesserung in allgemeinen Lesefähigkeitstests nach einem metakognitiven Lesetraining feststellen und führen dies auf eine mangelnde Eignung solch allgemeiner Tests als Kriteriumsvariable metakognitiver Interventionen zurück. Insgesamt ist davon auszugehen, dass geeignete Lernerfolgskriterien neben dem reinen Behalten auch Verständnis für Zusammenhänge messen sollten (vgl. Artelt, 2000a).

Eine ähnliche Sichtweise wird in den internationalen Schulleistungsstudien TIMSS und PISA eingenommen. Mit den Testaufgaben für die naturwissenschaftlichen Fächer (die auf Grund der internationalen Ausrichtung der Studie integriert untersucht wurden) sollten in TIMSS neben inhaltlichem Wissen z. B. auch das Verstehen und die naturwissenschaftliche Kommunikationskompetenz gemessen werden (Baumert et al., 1999). Auch die Konzeption der naturwissenschaftlichen Grundbildung (Scientific Literacy) in PISA umfasst neben rein fachlichem Wissen die Anwendung dieses Wissens auf verschiedene Gebiete; das Beschreiben, Erklären und Vorhersagen naturwissenschaftlicher Phänomene und das Verstehen naturwissenschaftlicher Untersuchungen. Damit wird eine verständnisorientierte Art der Diagnose verwendet. Chemiewissen, welches als ein Kriterium der Metakognition untersucht wird, sollte mit Hilfe solcher verständnisorientierter Erhebungsmethoden gemessen werden.

4.2.5 Domänenübergreifendes Kriterium: Problemlösefähigkeit

Die Problemlösekompetenz wurde in der internationalen Schulleistungsstudie PISA 2003 als fächerübergreifende Kompetenz untersucht, die definiert wurde, als die Fähigkeit, „kognitive Prozesse zu nutzen, um sich mit solchen realen, fächerübergreifenden Problemstellungen auseinanderzusetzen und sie zu lösen, bei denen der Lösungsweg nicht unmittelbar erkennbar ist und die zur Lösung nutzbaren Wissensbereiche nicht einem einzelnen Fachgebiet der Mathematik, der Naturwissenschaften oder des Lesens entstammen“ (Leutner, Klieme, Meyer & Wirth, 2004, S. 148). Aufgrund der fächerübergreifenden Nutzbarkeit der Problemlösefähigkeit wird vielfach davon ausgegangen, dass sie besonders wichtig ist für eine spätere berufliche Tätigkeit der Schüler. Problemlösen ist allgemein dadurch definiert, dass ein konkretes Ziel vorliegt, die Handlungsoperationen, die zu diesem Ziel führen jedoch unklar sind. Oft sind die Fähigkeiten, die dabei gebraucht werden, ähnlich denen, die in Reasoning-Skalen von Intelligenztests gebraucht werden, mit dem Unterschied, dass Problemssituationen meist eher aus dem Alltagsbereich stammen und nicht durch die eher lebensweltfernen Aufgaben von Intelligenztests repräsentiert werden. So fanden sich in PISA 2003 in der deutschen Stichprobe auch hohe latente (messfehlerbereinigte) Korrelationen zwischen der Skala „Figurale Analogien“ des kognitiven Fähigkeitstests

(KFT, Heller & Perleth, 2000) und der Problemlösekompetenz. Eine multidimensionale Skalierung zeigt jedoch, dass die beiden Messwerte in unterschiedlichen Clustern liegen. Diese Unterschiedlichkeit der Konstrukte des Problemlösens und des schlussfolgernden Denkens könnte auf die Unterschiedlichkeit der Aufgaben, in denen eine ähnliche Grundfähigkeit angewandt werden muss, zurückzuführen sein. In PISA 2003 kommen im Problemlösetest recht lebensweltnahe Aufgaben zum Entscheidungen treffen (Aufgaben: „Energiebedarf“, „Kinobesuch“, „Anschlusszüge“), Systeme analysieren und entwerfen (Aufgaben: „Bibliothek“ und „Ferienlager“) und Fehler suchen (Aufgabe: „Bewässerung“) zum Einsatz, während der KFT-Untertest „Figurale Analogie“ das Bilden von Analogie mit recht abstrakten Symbolen erfordert.

Problemlösen ist weiterhin dadurch gekennzeichnet, dass zur Lösung eines Problems der exekutiven Metakognition eine enorme Wichtigkeit zukommt. Das Ziel ist zwar bekannt, doch die Operatoren zur Zielerreichung nicht, deswegen müssen Pläne gemacht, Zwischenergebnisse evaluiert und Pläne verändert werden (z. B. de Jong, 1990; Dörner, 1989).

In zwei Studien von De Jong (1990) lernten ungefähr zwölfjährige Schüler mit Texten über Wahrscheinlichkeitsrechnung und mussten nachher einen Test absolvieren. De Jong fand mit Hilfe von Regressionsanalysen, dass die Regulationsaktivitäten (erhoben mit Protokollen lauten Denkens) den Problemlöseerfolg der Schüler entscheidend vorhersagen konnten und zwar besser als Vorhersagen über die eigene Leistung, die vor und nach dem Test erhoben wurden.

Swanson (1990) untersuchte Viert- und Fünftklässler/innen beim Problemlösen mit zwei Aufgaben: Eine Aufgabe erforderte das Zusammenschütten von Flüssigkeiten, so dass ein Farbton entstand; bei der anderen Aufgabe musste herausgefunden werden, wie Gewicht und Bandlänge das Verhalten eines Pendels beeinflussen. Erhoben wurden sowohl die Heuristiken und Strategien des Problemlösens mit Protokollen lauten Denkens als auch die Anzahl der Problemlöseschritte pro Minute. Das wichtigste Ergebnis war, dass Schüler mit hohen metakognitiven Fähigkeiten besser abschnitten, sowohl in den Problemlöseergebnissen als auch in den Problemlöseheuristiken und -strategien. Dieses Ergebnis war unabhängig von ihren allgemeinen kognitiven Fähigkeiten. Kinder mit hohen metakognitiven Fähigkeiten und niedrigen allgemeinen Fähigkeiten schnitten beim Problemlösen besser ab, als Kinder mit hohen allgemeinen und niedrigen metakognitiven Fähigkeiten. Die Fähigkeit zum Problemlösen schien hier also enger mit den metakognitiven Fähigkeiten als mit den allgemeinen kognitiven Fähigkeiten zusammenzuhängen.

Dies passt zu den in Abschnitt 2.2.3 beschriebenen Modellen der Metakognition (Borkowski & Muthukrishna, 1992; Ertmer & Newby, 1996). Durch die Reflexion der Anwendung von exekutiver Metakognition in verschiedenen Lernsituationen wird das

metakognitive Wissen erweitert und ausdifferenziert. Es ist also plausibel, dass Problemlöseprozesse vom metakognitiven Vorwissen beeinflusst werden. Auch Borkowski und Turner (1990) nehmen eine solche Abhängigkeit des domänenübergreifenden und domänenspezifischen Problemlösens von der Interaktion der Komponenten der Metakognition (metakognitives Wissen und exekutive Metakognition) an. Es kann also im gewissen Ausmaß auch ein Einfluss chemiespezifischen metakognitiven Wissens und der exekutiven Metakognition auf die allgemeine Problemlösefähigkeit erwartet werden.

4.3 Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie

In Abbildung 7 ist ausgehend von den Überlegungen in den Abschnitten 4.1 und 4.2 ein Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie skizziert. Unter die chemiespezifische Metakognition sollen sowohl chemiespezifisches metakognitives Wissen, dessen mögliche Inhalte in Abschnitt 4.1. dargestellt wurden, als auch die exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie fallen. Es wird im Modell davon ausgegangen, dass das Vorwissen in Chemie, sowie das chemiespezifische Selbstkonzept und Chemieinteresse das prädiktiv sind für metakognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten in der Chemie (siehe Abschnitt 4.2.1 und 4.2.2). Dem erweiterten Erwartungs-Wert-Modell der Leistungsmotivation von Eccles und Wigfield (Eccles et al., 1983; Wigfield & Eccles, 2000) folgend können diese Einflussfaktoren auch untereinander in eine kausale Anordnung gebracht werden. In dieser kausalen Anordnung ist das Vorwissen, welches sich in Schulnoten ausdrückt, eine Größe, die das fachspezifische Selbstkonzept beeinflusst, das wiederum prädiktiv für das Fachinteresse ist.

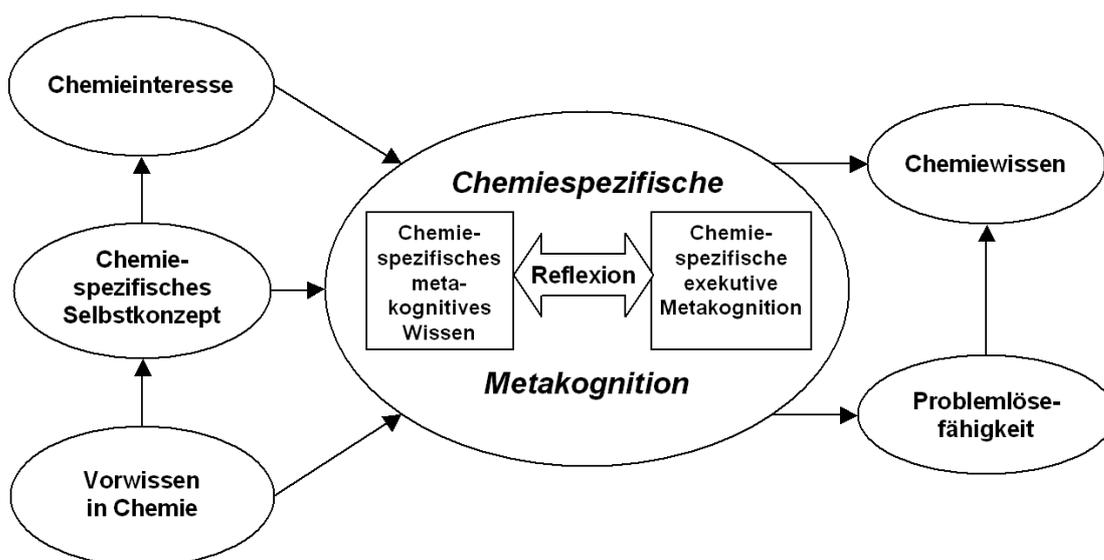


Abbildung 7: Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie

Des Weiteren wird postuliert, dass die chemiespezifische Metakognition das Chemiewissen beeinflusst. Diese Annahme basiert auf verschiedenen Untersuchungen über den Zusammenhang von allgemeiner Metakognition und Leistung (siehe Abschnitt 2.2.2 und Kapitel 6). Es kann darüber hinaus eine direkte Wirkung der Einflussfaktoren auf die Leistung, in diesem Fall das Chemiewissen, angenommen werden. Auf die Darstellung dieser direkten Wirkung wurde im Modell in Abbildung 7 aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

Als allgemeines Kriterium wird die Problemlösefähigkeit dargestellt. Es wird angenommen, dass die allgemeine Problemlösefähigkeit durch allgemeines metakognitives Wissen und exekutive Metakognition beeinflusst wird und damit auch in geringerem Ausmaß durch domänenspezifische Metakognition wie in diesem Fall die chemiespezifische Metakognition. Von der Problemlösefähigkeit wird angenommen, dass sie sich ihrerseits positiv auf das Chemiewissen auswirkt, da sie eine allgemeine Denkfähigkeit repräsentiert, die auch in domänenspezifischen Leistungstests einen moderaten Einfluss haben sollte.

Da es an Literatur zur domänenspezifischen Metakognition in der Chemie noch mangelt, mussten die in Abbildung 7 dargestellten Zusammenhänge aus Literatur zum naturwissenschaftlichen Lernen oder noch allgemeinerer Literatur der Pädagogischen Psychologie abgeleitet werden (vgl. Abschnitt 4.2). Auch die Inhalte chemiespezifischen metakognitiven Wissens wurden aus allgemeinerer Literatur zur „Scientific Discovery“, zur naturwissenschaftlichen Kompetenzentwicklung, zum wissenschaftlichen Denken und der „Scientific Literacy“ abgeleitet (vgl. Abschnitt 4.1).

Die in der Modellzeichnung in Abbildung 7 angenommenen Kausalitäten bedeuten nicht, dass nicht auch wechselseitige Beeinflussungen gegeben sein könnten, jedoch gibt es in der Literatur jeweils Hinweise für die in der Modellzeichnung angenommene Richtung der Kausalität. Diese angenommenen Wirkungsrichtungen sind im Kontext der Arbeit die entscheidenderen, die umgekehrten Richtungen bleiben weitgehend unberücksichtigt.

4.4 Lerngelegenheiten für Metakognition im Chemieunterricht: Situation des Chemieunterrichts in Deutschland

In diesem Kapitel soll der Chemieunterricht hinsichtlich seiner Lerngelegenheiten für Metakognition analysiert werden. Dabei soll auf mögliche Lerngelegenheiten im gegenwärtigen Chemieunterricht zur Förderung der Herausbildung von chemiespezifischem metakognitiven Wissen oder für die Anwendung exekutiver

Metakognition eingegangen werden. Zur Beschreibung des Chemieunterrichts wird ein Rahmenmodell zu Hilfe genommen, welches auf die TIMS-Studien zurückgeht.

In TIMSS/II (Population der Siebt- und Achtklässler) und TIMSS/III (Population der Schüler des letzten Jahrgangs der Sekundarstufe) wird das Curriculum eines Landes als drei- bzw. vierstufig definiert (Baumert, Bos & Lehmann, 2000a; Baumert, Bos & Lehmann, 2000b; Baumert et al., 1997). Zu unterscheiden sind demnach das vom Bildungssystem intendierte Curriculum, das potentielle z. B. in Lehrbüchern beschriebene Curriculum (in TIMSS/II noch unter intendiertes Curriculum gefasst), das in Schule und Klassenzimmer implementierte Curriculum und das bei den Schülern erreichte Curriculum. Will man also den Chemieunterricht in Deutschland beschreiben, so ist das intendierte Curriculum sozusagen der Input, welcher das tatsächliche Unterrichtsgeschehen oder das implementierte Curriculum beeinflusst. Schülermerkmale wie Interessen, Kompetenzen oder Leistungen können als Output des implementierten Curriculums betrachtet werden. Im Folgenden soll der Chemieunterricht in Deutschland anhand der Literatur zu erreichtem, implementierten und intendierten Curriculum genauer beschrieben werden.

Informationen über das erreichte Curriculum des Chemieunterrichts in Deutschland sind hinsichtlich der Kompetenzen oder Leistungen, die gewissermaßen als Output des Unterrichts bei den Schülern resultieren, aus den internationalen Schulleistungsstudien TIMSS und PISA zu entnehmen. Weitere Informationen über die Schülersicht können Interessenstudien und anderen Schülerbefragungen entnommen werden. Als Deutschland nach etwa zwanzigjähriger Pause Mitte der 90er Jahre mit TIMSS erstmals wieder an einer internationalen Schulleistungsstudie teilnahm, erreichten die deutschen Schüler in Mathematik und in den Naturwissenschaften im internationalen Vergleich nur durchschnittliche Leistungen (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2001). Das Schulfach Chemie wurde nur in der Untersuchung der 7. und 8. Klassen (Baumert et al., 1997) als eigenständiges Fach betrachtet; bezüglich der Oberstufe hingegen wurden die Naturwissenschaften integriert ausgewertet. Ein Problem bei der Untersuchung der 7. und 8. Klassen ist, dass die Lehrpläne nicht in allen Bundesländern Chemie als Unterrichtsfach vorsehen; in der TIMSS-Stichprobe erhielten 54% der Siebtklässler und 71% der Achtklässler Chemieunterricht. Demgemäß entsprach das Wissen der meisten Schüler eher einem chemischen Alltagswissen, welches aus dem Unterricht der anderen naturwissenschaftlichen Fächer und dem Alltag extrahiert werden kann. Ein elementares Konzeptverständnis erreichen je nach Stoffgebiet am Ende der 8. Klasse 5 bis 25% der untersuchten Schüler. Verschiedene Schulformen unterscheiden sich in diesem Ergebnis weniger stark als in den anderen untersuchten Schulfächern; dafür ist eine große Streubreite innerhalb der Schulformen zu beobachten (Baumert et al., 1997). Schwächen der deutschen Schüler zeigten sich vor allem bei komplexeren Aufgaben, die eine Anwendung und Transfer von Wissen und

naturwissenschaftliches oder problemlösendes Denken verlangten. Metakognition gilt als ein entscheidendes Transfervehikel und so kann ein schlechtes Abschneiden der Schüler in entsprechenden Aufgaben auch auf mangelndes (fachspezifisches) metakognitives Wissen und mangelnde Sensibilität für die Anwendung exekutiver Metakognition zurückgeführt werden. Dies könnte eventuell auf mangelnde Lerngelegenheiten für Metakognition im naturwissenschaftlichen Unterricht zurückzuführen sein. Nach TIMSS wurde und wird mit PISA kurz darauf die nächste internationale Schulleistungsstudie in Deutschland durchgeführt (z. B. Deutsches PISA-Konsortium, 2002; 2003). Die Ergebnisse von PISA 2000 hinsichtlich der naturwissenschaftlichen Kompetenzen der deutschen Schüler bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse aus TIMSS (Rost, Prenzel, Senkbeil, Carstensen & Groß, 2004a). In PISA werden jedoch die etwas älteren Neuntklässler untersucht und es werden im Gegensatz zu TIMSS keine Aussagen bezüglich einzelner naturwissenschaftlicher Fächer gemacht, sondern die Naturwissenschaften als Ganzes betrachtet. In PISA 2000 erreichen die deutschen Schüler im internationalen Vergleich leicht unterdurchschnittliche Ergebnisse. Mehr als ein Viertel der Schüler erreichte von fünf Kompetenzstufen nur die unterste und kann daher als eine Risikogruppe betrachtet werden. In PISA 2003 haben sich die deutschen Schüler bezüglich ihrer naturwissenschaftlichen Kompetenzen signifikant verbessert und erreichen im internationalen Vergleich ein durchschnittliches Ergebnis (Rost et al., 2004b). Es ist nicht ausgeschlossen, dass diese leichten Verbesserungen schon mit auf Ansätze zur Weiterentwicklung des naturwissenschaftlichen Unterrichts zurückzuführen sind, wie sie nach TIMSS z. B. mit dem BLK (Bund-Länder-Kommision)-Modellversuchsprogramm zur „Steigerung der Effizienz im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht“ (SINUS) verwirklicht wurden. Auf solche Projekte soll im weiteren Verlauf bei der Beschreibung des implementierten Unterrichts weiter eingegangen werden.

Im Rahmen des erreichten Curriculums als Output des Unterrichts in Chemie können weiterhin die Ergebnisse von Interessen- und Einstellungsstudien betrachtet werden. Nachdem Interessenstudien in Physik zeigten, dass das Schulfach Physik bei vielen Schülern unbeliebt ist und das Interesse im Laufe der Sekundarstufe I noch systematisch weiter abnimmt (Hoffman & Lehrke, 1986), wurden von Gräber (1992a; 1992b) auch für den Bereich der Chemie Interessenstudien durchgeführt. Laut dieser Studien ist das Schülerinteresse an Chemie zwar etwas höher anzusiedeln, aber dennoch insgesamt niedrig. Ähnliche Ergebnisse ergeben sich in einer Studie zur Einstellung zum Chemieunterricht, in der „eine neutrale bis ablehnende Haltung der untersuchten Realschüler gegenüber dem Chemieunterricht“ (Müller-Harbich et al., 1990, S. 239) beobachtet werden konnte. Im oben beschriebenen Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie wird postuliert, dass Chemieinteresse eine entscheidende Bedingung für den Erwerb metakognitiven Wissens und die Anwendung von exekutiver

Metakognition in einem Fach ist. Insofern erscheint auch im Hinblick auf die Entwicklung von chemiespezifischer Metakognition ein niedriges Interesse am Unterrichtsfach Chemie als ungünstig.

Für Aussagen über das implementierte Curriculum können Lehrer- oder Schülerbefragungen der fachdidaktischen Forschung zu Rate gezogen werden. Solche chemiedidaktischen Untersuchungen über den „alltäglichen“, nicht durch Interventionen manipulierten Unterricht sind jedoch relativ selten. Eine Befragung von Gymnasiallehrkräften über die Rolle von Übungen im Chemieunterricht ergab, dass solche Übungen im Chemieunterricht einen Anteil von unter 10% der Unterrichtszeit einnahmen (Tepner & Melle, 2004). Die Lehrer gaben an, besonders häufig bei Themen zu üben, die eher mathematische Inhalte aufweisen und eher „theorielastig“ sind. Die hohe Übungshäufigkeit bei diesen Themen wird auch von den Schülern so wahrgenommen, wie in einer begleitenden Schülerbefragung festgestellt wurde. Ein Problem dieser Untersuchung ist, dass der Begriff der Übung in der Befragung nicht definiert wurde und dementsprechend auch sehr unterschiedliche Definitionen bei den Lehrern vorgefunden wurden (z. B. Übung als Wiederholung am Anfang der Stunde vs. Übung als Vertiefen des Gelernten). Tiemann, Rumann, Jatzwauk und Sandmann (2006) untersuchen Aufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die befragten Lehrer sehen die besondere Rolle von Aufgaben für die Vermittlung naturwissenschaftlicher Kompetenzen im Chemieunterricht. Dieser den Aufgaben zugesprochene Wert für die naturwissenschaftliche Kompetenzvermittlung im Chemieunterricht wird von Gymnasiallehrern signifikant höher eingeschätzt als von Hauptschullehrern.

Auf das tatsächliche Unterrichtsgeschehen kann aus solchen Befragungsdaten, sieht man einmal von ihrer Seltenheit und thematischen Eingrenztheit ab, jedoch nur indirekt geschlossen werden. Direkter wird dieses Unterrichtsgeschehen in Unterrichtsbeobachtungen z. B. mit Hilfe von Videos erfasst, so z. B. in der TIMSS-Videostudie bezüglich des Mathematikunterrichts (Baumert et al., 1997; Pauli & Reusser, 2006) oder der IPN (Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften)-Videostudie bezüglich des Physikunterrichts (Seidel, 2003; Seidel, Kobarg & Rimmel, 2003a; Seidel et al., 2002; Seidel, Prenzel, Duit & Lehrke, 2003b; Seidel et al., 2006). Die Ergebnisse dieser Studien können sicherlich teilweise auch auf den Chemieunterricht übertragen werden. Innerhalb der TIMSS-Videostudie wurden für die Länder Japan, Deutschland und USA unterschiedliche Unterrichtsmuster des Mathematikunterrichts herausgearbeitet (Pauli & Reusser, 2006). Die deutsche Grundform einer Mathematikstunde besteht demnach aus folgendem Ablauf: 1) Besprechung der Hausaufgaben, 2) Wiederholungsphase, 3) das neue Verfahren wird vom Lehrer demonstriert, 4) Übung des Verfahrens an ähnlichen Aufgaben und 5) Vergabe von Hausaufgaben (Bund-Länder-Kommision für Bildungsplanung und Forschungsförderung, 1997; Pauli & Reusser, 2006). Im Gegensatz dazu wird z. B. im

japanischen Unterricht am Anfang ein komplexes, mathematisches Problem vorgestellt, welches dann von den Schülern einzeln oder kooperativ gelöst wird. Demzufolge ist im japanischen Mathematikunterricht der Anteil hochkomplexer, kognitiv anspruchsvoller Aufgaben sehr viel höher als in Deutschland oder den USA (Pauli & Reusser, 2006). In der IPN-Videostudie konnten Lehrer, ähnlich wie in der Videostudie in TIMSS (Baumert & Köller, 2000), mit einem eher lehrerzentrierten Physikunterricht von Lehrern mit einem eher schülerzentrierten Physikunterricht unterschieden werden, wobei der lehrerzentrierte Unterricht überwiegt (Seidel, 2003; Seidel et al., 2002; Seidel et al., 2006). Es werden in dieser Studie folgende Bereiche der naturwissenschaftlichen Unterrichtsqualität analysiert: Zielorientierung, Lernbegleitung, Fehlerkultur sowie experimentelles Denken und Arbeiten (Seidel et al., 2006). Die Befunde hinsichtlich der Zielorientierung besagen, dass die Lernenden sich die Lernziele des Unterrichts meist selbst erschließen mussten, da sie selten expliziert wurden. Bezüglich der Lernbegleitung konnte beobachtet werden, dass die Lehrkräfte nur selten versuchten, die Lernenden zum Denken anzuregen oder sie individuell beim Lernen zu begleiten. Im Hinblick auf die Fehlerkultur ergab sich, dass Fehler selten öffentlich thematisiert wurden. Das selbständige experimentelle Denken und Arbeiten war wenig verbreitet, da die Planung sowie die Auswertung und Interpretation häufig in einem relativ enggeführten Klassengespräch quasi vorgegeben wurden (Tesch, 2005; Tesch & Duit, 2004). Der Erwerb metakognitiven Wissens über den Ablauf eines solchen naturwissenschaftlichen Denkprozesses wird so erschwert.

Eine entsprechend umfassende Videostudie für den deutschen Chemieunterricht liegt nicht vor. Allerdings gibt es fachdidaktische Studien mit spezifischen Fragestellungen, in denen Videoanalysen genutzt wurden, aus denen meistens jedoch keine Informationen über den „Durchschnittschemieunterricht“ in Deutschland extrahiert werden können, da häufig im Rahmen der Studien der Unterricht manipuliert und innovative Unterrichtskonzeptionen eingesetzt wurden. Zwei Videostudien mit spezifischen Fragestellungen hinsichtlich des „alltäglichen“ Chemieunterricht liegen jedoch vor. Zum einen ist eine Studie zu nennen, die den Chemieunterricht in Hauptschulen und Gymnasien hinsichtlich der Rolle von Aufgaben untersucht (Tiemann et al., 2006). Es ergab sich, dass am Gymnasium ca. 19% der Unterrichtszeit experimentiert wird, während an der Hauptschule mit 47% der Unterrichtszeit sehr viel ausgiebiger experimentiert wurde. Ähnlich wie in der IPN-Videostudie zum Physikunterricht nahmen Schülerexperimente im Gegensatz zu Lehrerdemonstrationsexperimenten einen sehr viel größeren Zeitraum ein. Die Dominanz der Schülerexperimente scheint sogar noch ausgeprägter als im Physikunterricht zu sein (Rumann & Tiemann, in Druck; Tesch, 2005). Zudem konnte festgestellt werden, dass an der Hauptschule mit 55,4% signifikant häufiger Aufgaben mit sensomotorischer Schwerpunktsetzung als am Gymnasium (37%) eingesetzt werden. Für den zweiten untersuchten Aufgabentyp (kognitive Aufgabe) ist das Verhältnis folglich umgekehrt.

Analysiert man die Aufgaben genauer, so zeigt sich, dass diese nur selten Kompetenzen im Bereich des divergenten Denkens fordern. Auch im Chemieunterricht scheinen also bislang nur wenige Aufgaben genutzt zu werden, die eine Entwicklung alternativer Problemlösungen verlangen. Setzt man dieses Ergebnis mit den Ergebnissen der TIMSS-Videostudie zum Mathematikunterricht in Beziehung, könnte dies dafür sprechen, dass auch im Chemieunterricht nur wenige mittel- oder hochkomplexe Aufgaben bearbeitet werden. Es kann aber angenommen werden, dass bei reinen Routineaufgaben der Einsatz von metakognitivem Wissen und exekutiver Metakognition nicht lernförderlich, vielleicht sogar lernhinderlich ist (Friedrich & Mandl, 1992). Erst Aufgaben, die mindestens ein mittleres Schwierigkeitsniveau haben, bieten einen Anlass für Reflexion über Strategien und Einsatz von exekutiver Metakognition. Das Aufgabenniveau ist allerdings abhängig von den Voraussetzungen der Lerner. In einer weiteren Videostudie des „normalen“ Chemieunterrichts wurden 25 Unterrichtsstunden in zwei neunten Gymnasialklassen mit einem Kategoriensystem hinsichtlich der Kommunikation zwischen Lehrern und Schülern untersucht (Bolte, 1999). Es ergab sich, dass es nur wenig Partizipationsmöglichkeiten für die Lernenden gab und Lehrer das Unterrichtsgespräch inhaltlich eng ausrichteten, so dass die Schüler zumeist nur reaktiv am Unterrichtsgeschehen teilnahmen. Nicht videobasierte Unterrichtsbeobachtungen in 129 Chemiestunden in den Klassen 10 und 11 ergaben, dass im Chemieunterricht immer noch (einem Anteil von 89 Stunden) eine „klassisch darlegend-informative“ Unterrichtsform dominiert (Pöpping & Melle, 2002). Diese Unterrichtsform zeichnet sich laut Pöpping und Melle (2002, S. 312) „durch eine starke Strukturierung des zuvor didaktisch reduzierten Unterrichtsinhaltes aus. Im Klassenunterricht vermittelt die Lehrperson, zumeist in Form eines fragend-entwickelnden Unterrichtsgesprächs, den Schülerinnen und Schülern das Wissen mehr oder weniger kleinschrittig. Bei diesem relativ rezeptiven Unterrichtsverfahren ist die Mitbestimmungsmöglichkeit der Schülerinnen und Schüler recht gering.“ Zu kritisieren an dieser Unterrichtsbeobachtung ist, dass die Autoren das „Unterrichtsverfahren“ recht global auf nur einer Nominalskala einschätzten und keine Angaben zur Objektivität der Kodierung in Form von Interraterübereinstimmungen machen. Diese Ergebnisse von Bolte (1999) sowie Pöpping und Melle (2002) entsprechen den Ergebnissen der IPN-Videostudie zur Engführung des Unterrichtsgesprächs. Gerade diese beschriebene Engführung des Klassengesprächs auf ein bestimmtes, vom Lehrer intendiertes, dem Lerner aber verborgenes Lernziel hin, ist aus der Perspektive des metakognitiven Lernens ein Problem. Der Lerner hat hierdurch zuwenig Möglichkeiten, eigene Hypothesen oder Ansichten zu formulieren und diese dann im Prozess des naturwissenschaftlichen Arbeitens zu widerlegen oder zu bestätigen.

Eine weitere Möglichkeit zum indirekten Schließen auf das tatsächliche Unterrichtsgeschehen bieten fachdidaktische Publikationen über Unterrichtskonzeptionen, da durch solche innovativen Konzeptionen häufig einem empfundenen

Mangel in der gängigen Unterrichtspraxis entgegen gewirkt werden soll. So finden sich in der deutschen chemiedidaktischen Forschung Themen, die den Qualitätsbereichen der IPN-Videostudie ähneln. Hinsichtlich der Fehlerkultur finden sich naturwissenschafts-didaktische Aussagen, die Fehler als Quelle von Kreativität und als Anlass zur kognitiven Umstrukturierung sehen (Scharf & Gröger, 1997). Fehler sollen z. B. dabei helfen zu lernen, wie etwas nicht ist. Die Lösung von Fehlern soll zu Kompetenzerleben führen (Seidel & Prenzel, 2003). Auch hinsichtlich der Lernbegleitung gibt es einige chemiedidaktische Ideen zur Verbesserung des Unterrichts (Becker, 1991; Woest, 2003). So wird z. B. gefordert, dass der Lehrer eine Beraterrolle einnimmt und selbstregulierte Lernprozesse fördert und „einerseits als außenstehender Beobachter die Lernenden in ihrer Arbeit begleitet, in diese aber auch nach Bedarf als Mitarbeiter integriert werden kann“ (Woest, 2003, S. 245). Die fachdidaktische Forschung zum Qualitätsbereich des experimentellen Denkens und Arbeitens kann unter dem Begriff „naturwissenschaftliches Arbeiten“ zusammengefasst werden (Demuth, 1986; Heimann, 2003; Hildebrandt, 1999; Pfeifer, 2003; Prenzel & Parchmann, 2003; Stäudel, 2003). Das naturwissenschaftliche Arbeiten im Rahmen des unterrichtlichen Experimentierens wird häufig in bestimmte Phasen eingeteilt wie Planung, systematische Durchführung, Auswertung und Interpretation (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung, 1997; Heimann, 2003; Pfeifer, 2003). Diese Phasen wurden auch schon bei der Beschreibung möglicher Bereiche metakognitiven Wissens in der Chemie berücksichtigt (siehe Abschnitt 4.1). In der chemiedidaktischen Forschung wurde oft betont, dass das Schülerexperiment dem Lehrerdemonstrationsexperiment überlegen sei, und deswegen gefordert, besonders Schülerexperimente vermehrt im Unterricht einzusetzen (z. B. Demuth, 1986; Hildebrandt, 1999). Diese Forderung scheint, folgt man den Beobachtungen von Rumann und Tiemann (in Druck), allerdings schon in die Unterrichtswirklichkeit übergegangen zu sein, obwohl die Dominanz des Schülerexperiments gegenüber dem Lehrerdemonstrationsexperiment im tatsächlichen, nicht-videographierten Chemieunterricht eventuell nicht ganz so ausgeprägt sein wird wie in dieser Studie. Neuere chemiedidaktische Forderungen bezüglich des naturwissenschaftlichen Arbeitens fordern eher eine sinnvolle Planungsphase und eine kritikfördernde Interpretationsphase im Rahmen von Schülerexperimenten (Heimann, 2003; Prenzel & Parchmann, 2003; Rumann & Tiemann, in Druck). In Reaktion auf den „TIMSS-Schock“ und unter Einbeziehung fachdidaktischer und pädagogisch-psychologischer Forschungsergebnisse entstand der Modellversuch SINUS der Bund-Länder-Kommission (BLK). Mit Modulen, die die teilnehmenden Schulen selbst auswählen konnten, versuchte das Programm gezielt auf ausgemachte „curriculare Problemzonen“ einzugehen. Die Module wurden von einer Expertengruppe mit fachdidaktischen und pädagogisch-psychologischen Kompetenzen entwickelt (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung, 1997; Prenzel, 2000). Gegenwärtig befindet sich das Programm mit „SINUS-Transfer“ in seiner

Transferphase, in der die Aktivitäten von ursprünglich 180 Schulen auf etwa die zehnfache Anzahl von Schulen ausgeweitet werden. Module, die von den Schulen gewählt werden können, thematisieren z. B. die Aufgabekultur, das naturwissenschaftliche Arbeiten, das Lernen aus Fehlern, das kumulative Lernen sowie das eigenverantwortliche Lernen und entsprechen damit den in den Videostudien und anderer fachdidaktischer oder pädagogisch-psychologischer Forschung gefundenen Problemfeldern. Als chemiespezifisches bundesweites Innovationsprojekt versucht seit einigen Jahren „Chemie im Kontext“ (CHiK), den Chemieunterricht zu verbessern (Demuth, 2001; Parchmann, Demuth, Ralle, Paschmann & Huntemann, 2001; Parchmann, Ralle & Demuth, 2000). Grundprinzipien von CHiK sind die Kontextorientierung, mit der Ansätze situierten Lernens aufgegriffen werden, das Lernen mit Basiskonzepten (z. B. das Stoff-Teilchen-Konzept, das Donator-Akzeptor-Konzept oder das Konzept des chemischen Gleichgewichts), welches eine horizontale Vernetzung der in den Kontexten erworbenen Kompetenzen sichern soll, sowie die Vielfalt der Unterrichtsmethoden. Auch dieses Projekt befindet sich gegenwärtig in seiner Transferphase. In dieser wird eine symbiotische Implementationsstrategie verfolgt, die sich durch Kooperation von Wissenschaftlern (die sich langsam zurückziehen), CHiK-erfahrenen Lehrkräften und Akteuren der Landesinstitute für Lehrerbildung auszeichnet.

Das intendierte Curriculum kann aus bundesländerspezifischen Lehrplänen oder den bundesweit einheitlichen Bildungsstandards abgeleitet werden, wobei durch die Lehrpläne der Input gesteuert werden soll, während die Bildungsstandards die von der Kultusministerkonferenz angestrebten Lernergebnisse (Output) für bestimmte Bildungsabschlüsse zum Inhalt haben. Zusätzlich kommen ab 2007 mit Einrichtung des Zentralabiturs sogenannte EPAs (Einheitliche Prüfungsanforderungen) zur Anwendung, in denen die zu erreichenden Kompetenzen der Abiturienten beschrieben sind. Nachdem durch TIMSS einige „curriculare Problemzonen“ des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts ausgemacht wurden (Bund-Länder-Kommision für Bildungsplanung und Forschungsförderung, 1997, S.78) und sich die TIMSS-Ergebnisse in PISA 2000 bestätigten, sind die Lehrpläne der Länder und besonders die neuen bundesweit intendierten Curricula (Bildungsstandards, Kerncurriculum und EPAs) häufig den Forderungen der Fachdidaktik entsprechend verändert oder im Falle der bundesweiten Vorgaben erstmals angelegt worden. So findet sich in den meisten intendierten Curricula inzwischen ein kompetenzbasierter Ansatz, in dem neben dem Kompetenzbereich des Fachwissens auch andere Kompetenzbereiche wie Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung (Bildungsstandards, Kultusministerkonferenz, 2004) oder Methodenkompetenz, Selbstkompetenz und Sozialkompetenz (z. B. in den Chemielehrplänen Schleswig-Holsteins, Ministerium für Bildung, 2002a; Ministerium für Bildung, 2002c) beschrieben werden. Doch inwieweit und vor allen wie schnell sich solche Änderungen der intendierten Curricula in den

implementierten Curricula niederschlagen, ist schwer zu sagen. Sicher braucht es Zeit, bis manches umgesetzt wird, andererseits ist nicht anzunehmen, dass die auf politischer Ebene beschlossenen Unterrichtsformen von der Praxis völlig ignoriert werden. In einer hessischen Studie zeigte sich, dass gerade Chemielehrer im Gegensatz zu anderen Fachlehrern Lehrpläne lesen und versuchen, diese umzusetzen (Rauin, Vollstädt, Höhmann & Tillmann, 1996).

Zusammengefasst weist nach gegenwärtigem Kenntnisstand ein „idealer Chemieunterricht“ aus metakognitiver Sicht folgende Merkmale auf:

- *Chemieinteresse*: Das Interesse an Chemie und am Chemieunterricht sollte gefördert werden, da dieses Interesse als eine Voraussetzung für den Erwerb von Metakognition angesehen werden kann (vgl. Abschnitt 4.2.1).
- *Chemiespezifisches Selbstkonzept*: Das Kompetenzerleben der Lerner und somit die Entwicklung eines positiven chemiespezifischen Selbstkonzeptes sollte gefördert werden, da auch dieses eine mutmaßliche Voraussetzung für den Erwerb metakognitiven Wissens und den Einsatz von exekutiver Metakognition darstellt (vgl. Abschnitt 4.2.1.1).
- *Vorwissen*: Der Lerner wird angeregt, immer wieder über sein Vorwissen zu reflektieren, sich dieses bewusst zu machen und neu Gelerntes aktiv an dieses Vorwissen anzuknüpfen oder mit diesem zu kontrastieren (vgl. Abschnitt 4.2.2).
- *Naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten*: Der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinn sollte von der Lehrkraft als „Chemieexperten“ modelliert werden, indem sie z. B. bei den verschiedenen Phasen eines Experiments laut denkt. Bei der selbständigen Durchführung sollte sie die Schüler unterstützen und diese Unterstützung sukzessive ausblenden (siehe auch Cognitive-Apprenticeship-Ansatz in Abschnitt 3.4). Es sollte Zeit für die Reflexion über das Vorgehen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess, besonders im Hinblick auf die Entwicklung von Forschungsfragen (Versuchsplanung) und die Auswertung und Interpretation von Experimenten, eingeräumt werden. Neben dem Experimentieren gehört zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten auch der Umgang mit anderen Informationsquellen wie mit Texten oder naturwissenschaftlichen Modellen (vgl. Abschnitt 4.1). Auch im Umgang mit diesen Wissensquellen könnte die Lehrkraft den Erwerb metakognitiven Wissens z. B. über die Funktion von Modellen oder über Lesestrategien und die Anwendung exekutiver Metakognition modellieren und unterstützen.
- *Aufgaben*: Hinsichtlich ihrer Schwierigkeit und Komplexität sollte eine Bandbreite von Aufgaben zum Einsatz kommen, die jeden Schüler in Abhängigkeit von seinen Voraussetzungen herausfordern, über Lösungsstrategien zu reflektieren und nicht nur Lösungsroutinen anzuwenden.

Eventuell ist dabei ein Einsatz von adaptiven Aufgaben notwendig, die sich an das Fähigkeitsniveau des Lerners anpassen (vgl. Friedrich & Mandl, 1992; Rumann & Tiemann, in Druck).

- *Kommunikation:* Eine ergebnisoffene Kommunikation über die Auswertung und Interpretation von chemischen Phänomenen und das Zulassen von „Fehlern“ sind Gegenstand des Unterrichts (vgl. Seidel & Prenzel, 2003; Seidel et al., 2006). Durch eine solche Kommunikation bekommt der Lerner Einblick in die Lernstrategien anderer und die Funktion von Fehlern im Lernprozess und kann so wertvolles metakognitives Wissen aufbauen. Durch eine ergebnisoffene Kommunikation wird auch vermieden, dass der Lehrer den Schülern metakognitive Prozesse quasi abnimmt.

Es sei darauf hingewiesen, dass die obenstehenden Merkmale bisher nur theoretisch hergeleitet werden können. Eine empirische Bestätigung der Relevanz der einzelnen Merkmale für die Metakognition existiert nur für einzelne dieser Merkmale, jedoch nicht für ihre Gesamtheit. Diese Merkmale eines metakognitiv günstigen Chemieunterrichts können im Sinne eines Metacurriculums verstanden werden (Weinstein, 1988, siehe Abschnitt 3.4), bei dem versucht wird, metakognitive Reflexion in den alltäglichen Unterricht einzuflechten. Ein solcher Ansatz unterscheidet sich von einem Ansatz, in dem wie in der empirischen Studie II dieser Arbeit versucht wird, Metakognition mit Hilfe eines Kurztrainings zu fördern. Trotzdem lassen sich auch aus kurzen isolierten Trainings relativ dezidierte Aussagen über die Effektivität bestimmter Maßnahmen ableiten. Solche erfolgreichen Maßnahmen könnten dann Teil eines Metacurriculums werden.

Hauptziel eines solchen aus metakognitiver Sicht „idealen“ Chemieunterrichts wäre, durch die (gemeinsame) Reflexion über spezifische oder auch allgemeine Strategien des Fachs Chemie chemiespezifisches metakognitives Wissen aufzubauen. Des Weiteren sollte exekutive Metakognition in Form von Planung, Kontrolle und Regulation des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses von Seiten der Lehrkraft immer wieder modelliert und sollten die Schüler bei ihren entsprechenden Lernprozessen unterstützt werden.

Doch hat ein Lerner, der nicht an einem solchen „idealen“ Chemieunterricht teilnimmt, keine Chance metakognitives Wissen zu erwerben oder exekutive Metakognition einzusetzen? Nach dem Angebots-Nutzungsmodell schulischen Lernens (Fend, 2002) hängt der Erfolg schulischen Lernens nicht nur vom Angebot ab, welches vom Lehrer hergestellt wird, sondern auch davon, inwieweit ein Schüler in der Lage ist, dieses Angebot zu nutzen. In der Vergangenheit hat sich in der Pädagogischen Psychologie sogar gezeigt, dass Lehrerhandeln oder Unterricht nur wenig zur Varianzaufklärung von Lernerfolg beitragen können und individuelle Schülervariablen wie Kognition und Motivation oder Kontextfaktoren wie sozioökonomischer Status des Elternhauses für

die Varianzaufklärung sehr viel bedeutsamer sind (Fend, 2002). Fend (2002) plädiert jedoch dennoch für die Beachtung der sogenannten „Angebotsseite“ des Unterrichts, da sowohl die Angebotsseite als auch die Nutzungsseite ohne Beachtung der jeweils anderen Seite unverstanden bleiben. Der Lerner kann angesichts des gleichen Lehrangebots individuell sehr unterschiedlich reagieren, indem er es z. B. „ablehnt, ignoriert, übernimmt“ oder „ausarbeitet“ (Fend, 2002, S. 145). Das bedeutet, dass Lerner, die aus metakognitiver Sicht an einem nur sehr unzureichenden Unterricht teilnehmen, trotzdem metakognitives Wissen entwickeln oder exekutive Metakognition einsetzen können. Versäumt es der Lehrer z. B., Zeit für die Entwicklung einer Forschungsfrage und einer daraus abgeleiteten Planung eines Experiments einzuräumen, so ist es dennoch möglich, dass der Lerner metakognitives Wissen darüber ableitet, dass hinter einem Experiment eine Forschungsfrage stehen muss, die er möglicherweise sogar für sich formuliert. Es ist daher davon auszugehen, dass der Erwerb metakognitiven Wissens und die Nutzung exekutiver Metakognition zwar durch den Unterricht beeinflusst werden, dass jedoch auch Lernervariablen großen Einfluss haben, die jedoch auch ihrerseits, wie im Fall von Chemieinteresse und chemiespezifischem Selbstkonzept, wieder durch den Unterricht beeinflusst werden können. Angebots- und Nutzungsseite stehen also in Wechselwirkung zueinander. Für den unter 8.1.2.4 beschriebenen, selbstentwickelten Test zu chemiespezifischem metakognitiven Wissen bedeutet das, dass auch Lerner, die unter metakognitiven Gesichtspunkten keinen „optimalen“ Unterricht besuchen, eine Chance haben, sich in die, im Test beschriebenen, Situationen hineinzusetzen, da eben nicht nur der Unterricht eine Rolle spielt, sondern die Lernerseite mindestens genauso wichtig ist.

5 Möglichkeiten der Operationalisierung

Da Metakognition ein vielschichtiges Konzept und wie viele psychologische Konstrukte keiner direkten Beobachtung zugänglich ist, soll sich mit den in der Literatur vorherrschenden Operationalisierungen der Metakognition auseinandersetzt werden. Dadurch sollen sinnvolle Operationalisierungen für die in dieser Arbeit zu untersuchenden Konstrukte des chemiespezifischen metakognitiven Wissens und der exekutiven Metakognition gefunden werden. Unter einer Operationalisierung wird die Umsetzung eines Konzeptes, in diesem Fall das Konzept der Metakognition, in messbare Indikatoren, die für eine empirische Analyse geeignet sind, verstanden (Bortz & Döring, 2002; Huber, 1995). Da die Komponenten der Metakognition, wie erwähnt, nicht direkt zugänglich sind, sind Forscher meist auf irgendeine Form des Selbstberichts der Untersuchungsteilnehmer angewiesen. Zwei Hauptprobleme der Erfassung von metakognitiven Komponenten sind daher die Zugänglichkeit von kognitiven Prozessen für die Introspektion überhaupt und die Wahrhaftigkeit und Vollständigkeit verbaler Berichte. „Given that the issues of accessibility and veridicality of verbal reports are (at present at least) unresolvable, most recent reviewers of verbal report methods simply have assumed accessibility and concentrated on suggestions for improving the adequacy of self-report data” (Cavanaugh & Perlmutter, 1982, S. 16). Ein weiteres Problem sind die verbalen Fähigkeiten, die die Selbstberichte beeinflussen können; dies muss besonders bei jüngeren Kindern berücksichtigt werden. (Schneider, 1989). Die theoretische Vielfalt des Konstrukts setzt sich in den Operationalisierungsversuchen fort. Viele Autoren unterteilen die Operationalisierungen grob in unabhängige und konkurrente Indikatoren der Metakognition (Cavanaugh & Perlmutter, 1982; Ericsson & Simon, 1993; Schneider, 1989). Unabhängige Indikatoren sind dadurch gekennzeichnet, dass keine gleichzeitigen Gedächtnisaktivitäten während der Erhebung ablaufen, konkurrente Indikatoren werden parallel zu ablaufenden Gedächtnisaktivitäten erhoben. Cavanaugh und Perlmutter konstatieren, dass mit den verschiedenen Erhebungsmethoden leicht unterschiedliche Informationen erhoben werden: Die unabhängigen Messungen würden eher das übergreifende Wissen messen, während die konkurrenten Indikatoren eher das Wissen erfassen würden, welches tatsächlich in einer Aufgabe zum Einsatz kommt. Dass unterschiedliche Operationalisierungen unterschiedliche Komponenten der Metakognition abbilden und dass dieser Unterschied mehr als nur leicht ist (wie etwa von Cavanaugh und Perlmutter vermutet), bestätigt jüngere Forschung zu Lernstrategien und Metakognition (z. B. Artelt, 2000a; Artelt & Schellhas, 1996). So soll in den folgenden Abschnitten nicht nur auf die verschiedenen Messmethoden der Metakognition eingegangen werden, sondern auch darauf, welche jeweiligen Komponenten der Metakognition sich hinter diesen Operationalisierungen verbergen.

5.1 Unabhängige Indikatoren

5.1.1 Fragebögen

Es liegen eine Reihe von standardisierten Fragebögen vor, die Lernstrategien und metakognitive Strategien in Form von Selbstauskünften messen sollen. Oft findet eine Einteilung der Skalen in kognitive Strategien, metakognitive Strategien und ressourcenbedingte Strategien statt. Eine solche Einteilung der Skalen einiger gängiger Verfahren ist in Tabelle 4 zusammengefasst, wobei Skalen, die nicht in das Schema passten (z. B. motivationale Skalen), in der Darstellung weggelassen wurden. Wild und Schiefele (Wild, Schiefele & Winteler, 2006) bemerken zu dieser Kategorisierung jedoch: „Diese Einteilung ist beim jetzigen Diskussionsstand weniger als theoretisch fundierte und empirisch gesicherte Taxonomie zu sehen; sie dient vielmehr angesichts des geringen Integrationsstandes innerhalb des Forschungsgebietes als vorläufige Gliederung, die es erlaubt, Konzepte verschiedener Richtungen aufzunehmen und zu ordnen“.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Skalen von Lernstrategiefragebögen, Übersetzungen durch die Verfasserin, teilweise angelehnt an Baumert (1993)

| | KSI (Baumert, Heym & Köller, 1992) | LIST (Wild & Schiefele, 1994) | MSQL (Garcia & Pintrich, 1996) | LASSIE (Weinstein, Zimmermann & Palmer, 1988) |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Kognitive Strategien | Memorieren Elaboration - Konstruktion - Integration - Übertragung Transformation | Wiederholung Elaboration Kritisches Prüfen Organisation | Wiederholen Elaboration Organisation Kritisches Denken | Hauptideen selektieren Studienhilfen Informationsverarbeitung |
| Metakognitive Strategien | Planung Überwachung Regulation | Metakognitive Strategien (Teilaspekte: Planung, Überwachung, Regulation) | Metakognitive Selbstregulation | Selbstüberprüfung |
| Ressourcenmanagement | Zeitmanagement | Anstrengung Aufmerksamkeit Zeitmanagement Lernumgebung Lernen mit Studienkollegen Literatur | Zeit- und Studienumgebungsmanagement Anstrengungsregulation Suchen von Hilfe Lernen mit Peers | Konzentration Zeiteinteilung |

Theoretisch greifen die meisten Entwickler von Lernstrategie-Fragebögen auf Informationsverarbeitungsmodelle zurück, die sie jedoch an ihre Bedürfnisse anpassen

(Artelt, 2000a). Der MSQ (Garcia & Pintrich, 1996) erweitert diese rein kognitionspsychologische, theoretische Grundlage z. B. um eine sozial-kognitive Perspektive; daher sind auch motivationale Skalen, wie z. B. Intrinsische/Extrinsische Zielorientierung, Wertschätzung der Aufgabe, Prüfungsängstlichkeit, im MSQ zu finden. Der KSI (Kieler LernStrategien-Inventar, Baumert, 1993; Baumert, Heym, & Köller, 1992) stellt eine eher freie Übertragungen des MSQ ins Deutsche dar und bezieht in den Itempool auch andere Lernstrategien-Fragebögen (wie z. B. den LASSI, Learning and Study Strategies Inventory) und eigenentwickelte Items mit ein. Der LIST (Fragebogen zur Erfassung von kognitiven Lernstrategien im Studium, Wild & Schiefele, 1994) lehnt sich enger an den Original-MSQ an, verzichtet jedoch auf die rein motivationalen Skalen. In allen Fragebögen wird mit Aussagen gearbeitet, die die Untersuchungsteilnehmer auf einer fünf- oder siebenstufigen Likert-Skala bewerten sollen. Die Struktur der Skalen wird meist faktorenanalytisch untersucht, die Faktorenanalysen werden auch als Bestätigung der Konstruktvalidität interpretiert. Dies ist jedoch für eine Feststellung der Validität nicht ausreichend, da sich die Analysen nicht auf die Qualität von Daten in Form von Selbstberichten beziehen, sondern allein auf die inhaltliche Struktur der gewählten Items (Artelt, 2000a; Artelt, 2000b). In Überlegungen, was die Fragebögen eigentlich messen, müsste zusätzlich miteinbezogen werden, dass es sich bei den Fragebögen um retrospektive Selbstberichte handelt.

Bei den Fragebögen handelt es sich um Selbstauskünfte, die vom Lerner fordern, sein eigenes Lernverhalten zu reflektieren, ohne dass er gerade in einer spezifischen Lernsituation steckt. Es kann angenommen werden, dass das strategische Lernverhalten über verschiedene Lernsituationen hinweg nicht stabil ist, sondern der Lerner sich an verschiedene Kontexte und Inhalte anpasst: „That is may be that the most adaptive or self-regulated learners do modify and change their beliefs and strategies as a function of the task or context“ (Garcia & Pintrich, 1996, S. 321). Der MSQ soll daher, ähnlich wie der LIST, nur im Hinblick auf einzelne Kurse angewandt werden und nicht hinsichtlich des gesamten Lernverhaltens. Der äußere Kontext der Befragung, wie das Treffen zur üblichen Zeit des Kurses im Kursraum und die Anwesenheit des Lehrperson, soll dazu beitragen, dass der Fragebogen tatsächlich hinsichtlich des Kurses ausgefüllt wird (Garcia & Pintrich, 1996). Der LASSI und der KSI stellen allgemeinere Instrumente dar, die das Lernstrategienrepertoire bezüglich aller möglichen Lernsituationen erfassen sollen. Baumert (1993) zeigt auf, dass in einer Untersuchung mit dem KSI *Strategiepräferenzen* erfasst würden, die nur den Rahmen der Variation beschreiben, in dem die Strategienutzung, z. B. in Abhängigkeit von Aufgabenmotivation, schwanken kann. Es ist anzunehmen, dass bei der Bearbeitung von Lernstrategiefragebögen eher das *Wissen über Lernstrategien* und ihren Einsatz in verschiedenen Aufgabenbereichen aktiviert wird, als dass tatsächlich über das eigene Lernverhalten reflektiert wird. Eine solche Reflexion wird dem Lerner auch erschwert durch den zeitlichen Abstand zur Lernsituationen und eine Unklarheit darüber,

bezüglich welcher Aufgaben das eigene strategische Verhalten bewertet werden soll (Ericsson & Simon, 1980; Ericsson & Simon, 1993). Dieses Problem bleibt auch bei einem Bezug auf einen bestimmten Kurs bestehen, da in einem Kurs viele verschiedene Lern- und Aufgabensituationen durchlaufen werden.

Dieses Wissen über Lernstrategien und ihre Anwendung ist traditionell Teil des Metagedächtnis oder des metakognitiven Wissens und ist getrennt von dem tatsächlichen strategischen Verhalten von Lernern zu sehen. Es spricht also, auf Grund des Selbstauskunftcharakters der Fragebögen, einiges dafür, dass mit diesen Instrumenten *metakognitives Wissen* und nicht *strategisches Verhalten* gemessen wird (siehe auch Artelt, 2000a; Artelt & Schellhas, 1996). Für die Erfassung metakognitiven Wissens scheint der Einsatz von Fragebögen das geeignete Instrument zu sein, nicht jedoch für die Erfassung exekutiver Metakognition, die eher im Rahmen von Lernprozessen untersucht werden sollte (siehe Abschnitt 5.2). Metakognitives Wissen bildet sich durch die Reflexion der Person über verschiedene Lernerfahrungen heraus (siehe Abschnitt 2.2.3) und sollte mit steigendem Alter stabiler werden und somit in Fragebögen erfassbar. Ein zusätzliches Schaffen von Bezügen zu realen Aufgaben, die dem Lerner realistisch erscheinen, die er aber noch nicht selbst ausgeführt haben muss, könnte die Zugänglichkeit metakognitiven Wissens erhöhen. Die bis hierhin beschriebenen Fragebögen sollen Lernkompetenzen jedoch relativ unabhängig von realen Kontexten erfassen. Daneben existieren Fragebögen, die das metakognitive Wissen domänenspezifisch untersuchen und damit einer eventuellen domänenspezifischen Organisation der Metakognition Rechnung tragen. Das untersuchte Wissen über Strategien ähnelt in diesen domänenspezifischen Fragebögen oft dem mit den globalen Fragebögen erhobenen Wissen, allerdings mit dem Unterschied, dass das Wissen in Relation zu bestimmten Aufgabensituationen oder Anforderungsbereichen untersucht wird, was eher dem spezifischen Strategiewissen oder dem metakognitiven Wissen über Aufgaben entspricht (vgl. Abschnitt 2.2). Es geht in diesen Fragebögen nicht vordringlich um allgemeines metakognitives Wissen, sondern um den spezifischen Nutzen von Strategien in domänenspezifischen Aufgabensituationen. Beispiele für solche domänenspezifischen Metakognitionsfragebögen sind: „Wie lernst Du?“ (Lompscher, 1996) und ein Metagedächtnistest über Mathematik (Ramm et al., 2006). Der letztgenannte Fragebogen wurde im Rahmen der PISA-Studien entwickelt. Der Fragebogen „Wie lernst Du?“ unterscheidet im Gegensatz zu den globalen Strategieinventaren sechs verschiedene Anforderungsbereiche: Textverstehen, unterrichtliches Kommunizieren, Problemlösen, Organisation, Einprägen/Reproduzieren und Kooperation. In jedem Anforderungsbereich werden Tiefenstrategien, Oberflächenstrategien, metakognitive Strategien und Lerntechniken unterschieden. Im Metagedächtnistest für Mathematik werden konkrete Lernsituationen vorgegeben. Zu jeder der vorgegebenen Situationen werden mehrere Strategien genannt, die mit Schulnoten bewertet werden sollen. Zuvor wurde für diese Strategien von Experten eine

Rangordnung festgelegt. Die Auswertung erfolgt über Quasi-Paarvergleiche. Für eine Bewertung der schlechteren Alternative mit einer schlechteren Note gibt es 2 Punkte, wurden beide Alternativen gleich gut bewertet gibt es 1 Punkt, ansonsten 0 Punkte. Auf diese Weise werden für jede der vorgegebenen Lernsituationen alle möglichen Paare untereinander verglichen und hieraus eine Skala gebildet. Eine ähnliche Testentwicklung, die zeitlich früher stattfand, ist der Metagedächtnistest für Lesestrategien (Kunter et al., 2002; Schneider & Schlagmüller, 2004b). Dieser Test kann weniger als domänenspezifischer angesehen werden, da metakognitives Wissen über Textverarbeitung in den verschiedensten Fächerdomänen angewendet werden kann. Die Auswertung dieses Tests erfolgt analog zum Metagedächtnistest über Mathematik.

5.1.2 Retrospektive Interviews

Die Erfassung von Metakognition mittels retrospektiver Interviews weist schon eine längere Forschungsgeschichte auf. Solche Interviews werden besonders bei Vorschulkindern und jüngeren Schulkindern gegenüber der Erfassung mittels Fragebögen bevorzugt (Schneider, 1989). Myers II und Paris (1978) liefern ein Beispiel für eine solche Interviewstudie im Bereich des metakognitiven Wissens über das Lesen. In dieser Studie wurde das metakognitive Wissen von Zweitklässlern mit dem von Sechstklässlern verglichen. Das standardisierte Interview beinhaltete Fragen wie: „Was macht aus jemandem einen wirklich guten Leser?“, „Welche Aufgabe hat der erste Satz normalerweise in einem Absatz oder einer Geschichte?“, „Welche Aufgabe hat der letzte Satz?“ oder „Wenn du eine Geschichte sehr schnell lesen musst und nur einige der Wörter lesen kannst, welche würdest du versuchen zu lesen?“. Es ergaben sich deutliche Unterschiede in der Kenntnis und Anwendung unterschiedlicher Strategien zwischen den Altersgruppen.

Garner bemerkt zur Validität solcher Interviewstudien: „We cannot say, however, on the basis of these interview studies, that this superior knowledge is accompanied by superior use of a range of strategies“ (Garner, 1988, S. 66). Diese Kritik ist ähnlich wie die an den Fragebogenverfahren: Auch Interviews messen eher metakognitives Wissen als die tatsächliche Strategienutzung. Weitere Kritik an verbalen Berichten wurde von Nisbett und Wilson (1977) geübt. Hauptpunkt ihrer Kritik ist die mangelnde Fähigkeit von Personen, über ihre eigenen kognitiven Prozesse zu berichten. Weitere Punkte sind laut Nisbett und Wilson (1977, S. 233):

1. Personen können häufig nicht über höhere Denkprozesse berichten. Die Genauigkeit solcher Berichte ist ungenügend.
2. Personen berichten nicht tatsächliche Gedächtnisinhalte über kognitive Prozesse, die abgelaufen sind, sondern eher A-Priori-Theorien über kausale Zusammenhänge.

3. Auch wenn Berichte über höhere Denkprozesse korrekt sein sollten, liegt das eher an der zufälligen Richtigkeit einer A-Priori-Kausaltheorie als an der tatsächlichen Zugänglichkeit des Prozesses für die Introspektion.

Der Berichtende greift laut Nisbett und Wilson also eher auf allgemeines Wissen über eigene Denkverläufe (ähnlich dem metakognitiven Wissen) als auf die tatsächliche Erinnerung an abgelaufene Denkprozesse zurück. Diese Ungenauigkeit führen schon Nisbett und Wilson hauptsächlich auf Zeitverzögerungen zwischen dem tatsächlichen Auftreten mentaler Prozesse und der Berichterstattung zurück. Dies ist auch einer von drei Hauptunterschieden die Ericsson und Simon (1980) zwischen den von Nisbett und Wilson zitierten und der von ihnen propagierten Form des retrospektiven Selbstberichts sehen. Ericsson und Simon legen besonderen Wert auf die zeitnahe Erfassung verbaler Daten. Die weiteren Unterschiede sehen Ericsson und Simon erstens in der Form der Fragen von Nisbett und Wilson, die nicht dazu anhalten würden, überhaupt auf Gedächtnisinhalte zurückzugreifen, da sie zu viele Kontextinformationen beinhalteten. Zweitens würden in den von Nisbett und Wilson zitierten Studien die Versuchspersonen teilweise nach Informationen gefragt, die gar nicht Gegenstand eigener kognitiver Prozesse waren, wie z. B. das Verhalten in hypothetischen Situationen. Ericsson und Simon machen Vorschläge, wie retrospektive Selbstberichte erhoben werden sollten, damit sie möglichst korrekt sind. Sie legen ein gängiges Informationsverarbeitungsmodell zu Grunde, welches mehrere sensorische Speicher, ein Kurzzeitgedächtnis (STM) und ein Langzeitgedächtnis (LTM) beinhaltet. Das STM zeichnet sich durch eine begrenzte Kapazität und kurze bis mittelfristige Haltbarkeit aus, während das LTM durch eine große Kapazität und eine dauerhafte Speicherung gekennzeichnet ist. STM-Inhalte können direkt wiedergegeben werden. LTM-Inhalte müssen hingegen erst wiedergefunden werden und sind dadurch schwieriger und langsamer zugänglich. Verbale Berichte basieren auf einer dieser beiden Gedächtnisformen. Wird ein retrospektiver verbaler Bericht direkt nach einer Aufgabe erhoben, sind noch Hinweisreize im STM enthalten und die Gedankenfrequenz kann dann (wenn sie nur kurz ist, d. h. 2 bis 10 Sekunden) mit großer Genauigkeit und Vollständigkeit wiedergegeben werden. Die Genauigkeit solcher Kurzberichte kann sogar die von konkurrenten Berichten übertreffen (Ericsson & Simon, 1993). Für den Wert retrospektiver Interviewdaten ist nach Ericsson und Simon also die zeitliche Handlungsnähe entscheidend. Neben dieser zeitlichen Handlungsnähe vermuten einige Autoren, dass auch durch die Erzeugung einer inhaltlichen Handlungsnähe, die Qualität retrospektiver Interviewdaten verbessert werden kann. Sie führen eine Art des retrospektiven Interviews durch, bei der sie durch „stimulated recall“ versuchen, inhaltliche Handlungsnähe herzustellen (Artelt, 2000a; Artelt, 2000b; Konrad, 1998). Hierzu werden den Versuchspersonen Videoaufzeichnungen der zu berichtenden Handlungssequenzen präsentiert, wodurch die Suche im LTM nach den in der Situation stattgefundenen kognitiven Aktivitäten stimuliert werden soll. Es soll hierdurch im

Gegensatz zu den traditionellen retrospektiven Interviews und den Fragebogenmethoden, die vermutlich eher metakognitives Wissen messen, tatsächliche Strategienutzung gemessen werden. Artelt (2000a) beschreibt jedoch auch Probleme, die sich beim Versuch des Einsatzes eines stimulated recalls ergaben. Da die untersuchten Schüler nur wenige der in den Videos identifizierbaren Lerntechniken benutzten, enthielt das Video lange Sequenzen, in denen die Schüler sich lediglich selbst beim Lesen sehen konnten. Artelt entwickelte daher eine weitere handlungsnaher Untersuchungssituation (Artelt, 1999; Artelt, 2000a), bei der die Schüler während der Bearbeitung eines Lerntextes beobachtet wurden und dann im Interview verschiedenen Aufforderungen (z. B. „Woran erinnert dich das Gelesene?“, „Gab es in dem Text Wörter, die du noch nicht kanntest?“) Folge leisten sollten. Konnten die Schüler den Aufforderungen ohne Umstände Folge leisten, wurde dies als indirekter Hinweis auf strategische Verhaltensweisen schon während des Lernens interpretiert. Diese beiden handlungsnahen Interviewmethoden kommen einem konkurrenten Messverfahren (siehe nächster Abschnitt) nahe, da die Versuchspersonen angeregt werden, sich in die tatsächliche Handlungssituation wieder hineinzusetzen.

5.2 Konkurrente Indikatoren

5.2.1 Indirekte konkurrente Indikatoren: Ease of Learning (EOL), Feeling of Knowing (FOK), Postdiktionen und Logfiles

Die in der Überschrift aufgeführten konkurrenten Maße sind dadurch charakterisiert, dass sie im Kontext einer Gedächtnisaktivität erhoben werden (Schneider, 1989). Das bedeutet, dass sie teilweise auch kurz vor oder kurz nach Lernaufgaben erhoben werden, jedoch noch angenommen wird, dass sie auf Inhalten aus dem Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis beruhen. Die Anzahl der verfügbaren Maße ist in den letzten Jahren enorm gestiegen; es sollen an dieser Stelle nur die besonders häufig verwendeten Paradigmen kurz beschrieben werden.

Beim Indikator des Ease of Learning (EOL) wird die Vorhersage einer Testleistung erfasst, bevor der Test abgelegt wurde. Kelemen et al. (2000, vgl. Abschnitt 3.2.1.4) fragten ihre Probanden z. B. danach, wie schwierig Englisch-Swahili-Begriffspaare zu lernen seien, bevor diese von den Probanden gelernt wurden. Der Vergleich des Indikators mit der tatsächlichen Leistung (Kelemen et al. verwendeten Korrelationen) ergibt dann einen Indikator, der meist im Sinne der metakognitiven Überwachung interpretiert wird (Schneider, 1989).

Mit dem Feeling of Knowing (FOK)-Indikator soll ebenfalls die metakognitive Überwachung und damit ein Aspekt der exekutiven Metakognition gemessen werden. Versuchspersonen beurteilen die Wahrscheinlichkeit späteren Wiedererkennens,

nachdem ein Item falsch beantwortet wurde oder nicht benannt werden konnte. So kann z. B. gefragt werden, wie gut die Versuchspersonen die richtige Antwort in einem späteren Multiple-Choice Test wiedererkennen würden. Auch bei diesem Verfahren werden die Antworten mit der tatsächlichen Leistung in Beziehung gesetzt.

Zu den Postdiktionen gehören solche Indikatoren wie Judgement of Learning (JOL) oder Confidence-Einschätzungen. Mit den Postdiktionen wird die Vorhersage der Testleistung erfasst, nachdem der Test fertiggestellt wurde. Auch diese Maße werden mit der tatsächlichen Performanz in Beziehung gesetzt. Kelemen et al. (2000, vgl. Abschnitt 3.2.1.4) verwenden in ihrer Studie beispielsweise einen JOL-Indikator, während Schraw et al. (1995, vgl. Abschnitt 3.1) einen Confidence-Indikator erheben.

In neueren Studien, in denen Hypermedia oder Hypertext-Lernumgebungen eingesetzt werden, erscheint es prinzipiell möglich, dass Verlaufsprotokolle als Indikatoren für exekutive Metakognition interpretiert werden. Hierbei könnte z. B. die Bearbeitungszeit einzelner Seiten als ein Indikator für gleichzeitige Monitoring-Prozesse oder ein Rückblättern als eine Folge von Regulationsaktivitäten interpretiert werden. Problematisch könnte hierbei sein, dass Verlaufsprotokoll-Analysen zu unspezifisch sind, um daraus zuverlässige Rückschlüsse auf den Einsatz von Lernstrategien zu ziehen (Richter, Naumann, Brunner & Christmann, 2005).

Ein Problem aller beschriebenen Maße ist, dass sie exekutive Metakognition nur indirekt messen. Belege, dass die unterstellten Prozesse tatsächlich gemessen werden, existieren nicht (Schneider, 1989). Ein weiteres Problem ist, dass die Indikatoren durch weitere Variablen, wie z. B. durch motivationale Variablen wie Attributionsstile oder Anstrengungsbereitschaft, beeinflusst sein könnten. Weiterhin existieren methodische Probleme. Daraus, dass einige Indikatoren durch Differenzbildung oder Korrelationen mit Performanzmaßen in Beziehung gesetzt werden, resultiert, dass sie nicht als unabhängig von Leistungsmaßen betrachtet werden können; es sei denn, es wurden multiple Performanzmessungen durchgeführt.

5.2.2 Protokolle lauten Denkens

Protokolle lauten Denkens sollen „online“ Lernprozesse abbilden und sind damit potenziell für die Erhebung exekutiver Metakognition geeignet. Die Versuchspersonen werden gebeten, entweder alle Gedanken, die ihnen in den Kopf kommen, oder nur die Gedanken zu bestimmten Zeitpunkten/Ereignissen zu verbalisieren. Prinzipiell gelten für diese Untersuchungsmethode ähnliche Kritikpunkte wie auch für retrospektive verbale Berichte, also Zweifel an der Zugänglichkeit kognitiver Prozesse und an der Korrektheit ihrer Verbalisierung.

Ericsson und Simon (1980; 1993) begegnen dieser Kritik mit Hinweisen darauf, dass aus ihrem Informationsverarbeitungsmodell Regeln abzuleiten sind, was bezüglich des Erhebungszeitpunkts, der Instruktion und der Art der Aufgabe bei Verbalisierungen beachtet werden sollte. Zunächst zeigen sie den Einfluss des Erhebungszeitpunkts auf (vgl. Abschnitt 5.1.2) und schlagen vor, wann immer möglich, konkurrenente verbale Berichte zu verwenden, so dass die Zeitpunkte des kognitiven Prozesses und der Berichterstattung zusammenfallen. Weiterhin legen sie Wert auf die Art der Instruktion der Versuchspersonen. Durch geeignete Instruktion soll vermieden werden, dass die Versuchspersonen sich direkt oder indirekt aufgefordert fühlen, ihre Verbalisierungen zu begründen. Die Versuchspersonen sollen also nicht beschreiben oder erklären, was sie denken, sondern nur die Gedanken verbalisieren, die gerade zugänglich sind. Durch Erklärungen könnten zusätzliche kognitive Ressourcen gefordert sein, die dann nicht für die Aufgabenlösung und die Verbalisierung zur Verfügung stehen. Auch die Schaffung einer sozialen Situation, indem z. B. der Untersuchende im Sichtfeld der Versuchsperson sitzt, kann diese dazu ermuntern, solche nicht erwünschten Erklärungen abzugeben. Weiterhin sollte bei der Versuchsdurchführung der Versuchsperson zunächst die Gelegenheit gegeben werden, das laute Denken zu üben, und der Denkprozess sollte durch eine klare Aufgabe geleitet sein. Werden solche Regeln beachtet, so entstehen laut Ericsson und Simon glaubwürdige verbale Berichte, die durch folgende Merkmale gekennzeichnet sind: Ein Mangel an inhaltlicher Kohärenz und unzusammenhängende Sequenzen ohne explizite Zusammenhänge zwischen den Gedanken. Es kann weiterhin davon ausgegangen werden, dass Protokolle lauten Denkens nur unvollständige Ausschnitte aus tatsächlich ablaufenden Denkprozessen wiedergeben. Ericsson und Simon (1980) nennen dafür zwei Gründe: 1.) die Information wird nicht im STM verarbeitet, 2.) nicht alle im STM zugänglichen Informationen werden tatsächlich verbalisiert. Ericsson und Simon nehmen an, dass bestimmte kognitive Prozesse (z. B. motorische Prozesse) nicht im STM verarbeitet werden. Auch Erinnerungs- und Wiedererkennensprozesse hinterlassen nur ein Endprodukt im STM, so dass auch nur dieses Endprodukt in den verbalen Bericht eingehen kann. Eine wachsende Automatisierung dieser Prozesse, z. B. beim Lernen von Experten, kann dazu beitragen, dass diese einer Verbalisierung nicht zugänglich sind. Zu den Prozessen, die zwar prinzipiell im STM zugänglich sind, aber trotzdem nicht verbalisiert werden, ist zu bemerken: Versuchspersonen neigen z. B. dazu, Verbalisierungen zu unterbrechen, wenn sie während des Lernprozesses an schwierige Stellen geraten. Hier scheint die kognitive Belastung zu stark, als dass die Verbalisierung fortgeführt würde.

Das Problem der Unvollständigkeit verbaler Berichte schmälert laut Ericsson und Simon (1993) nicht die Aussagekraft des tatsächlich Berichteten. Vielmehr verweisen sie auf eine höhere Interraterreliabilität von Protokollen lauten Denkens im Vergleich zu retrospektiven Selbstberichten. Auch bezüglich der Validität seien Protokolle lauten Denkens gegenüber retrospektiven Berichten zumindest bei längeren Aufgaben von

Vorteil. In einem Literaturüberblick über Studien, in denen ihre Regeln beachtet wurden, können Ericsson und Simon (1993) keine Performanzunterschiede zwischen Gruppen, die Aufgaben lösen und dabei laut denken, und lautlos denkenden Gruppen feststellen. Der einzige Unterschied, den sie beschreiben, ist, dass die laut denkenden Personen etwas mehr Zeit zur Lösung einer Aufgabe benötigen. Sie schließen aus ihrer Literaturübersicht, dass Versuchspersonen laut denken können, ohne die Abfolge ihrer Gedanken zu verändern.

Es soll nun kurz auf ein aktuelles Beispiel für die Untersuchung exekutiver Metakognition mit Hilfe lauten Denkens eingegangen werden (Richter et al., 2005). Nach den Regeln von Ericsson und Simon instruierten sie die Versuchspersonen, alles laut auszusprechen, was sie denken, kontinuierlich zu sprechen und dabei Erklärungen zu vermeiden. Nach einer Übungsphase gab es drei halbstündige Lernaufgaben, die mit Hilfe eines Hypertextes zur „visuellen Wahrnehmung“ bearbeitet werden sollten. Bei dieser Aufgabe wurden die Versuchspersonen videographiert. Die so erfassten Protokolle lauten Denkens transkribierten sie und werteten sie inhaltsanalytisch anhand eines Kategoriensystems aus. Die metakognitiven Kategorien umfassten Planungs- („ich schau jetzt erstmal die relevanten Worte und Begriffe nach“), Überwachungs- („das ist eine nützliche Information“) und Regulationsstrategien („ich glaub’ das mit den Konturen muss ich noch mal genauer machen“). Die Autoren schätzen die so operationalisierte Erfassung des Strategieeinsatzes als valider ein als eine Erhebung über Verlaufsprotokolle oder Fragebögen.

Auch in anderen Studien wurden Protokolle lauten Denkens für die Erfassung von exekutiver Metakognition und kognitiven Strategien eingesetzt (Bannert, 2003; Konrad, 2005; Kunz & Drewniak, 1991; Kunz, Drewniak, Hatalak & Schön, 1992; Richter et al., 2005). Die Kodiersysteme hinsichtlich exekutiver Metakognition dieser Studien werden in Tabelle 5 gegenübergestellt. Die Kategorien einiger Autoren, die kognitive Lernstrategien oder Emotion und Motivation betrafen, werden in dieser Tabelle nicht dargestellt.

Konrad (2004) differenziert in seinem Kategoriensystem zwischen „comprehension-monitoring“, welches die Überwachung des Verständnisses beinhaltet und in der Kategorie „Monitoring“ kodiert wird, und dem „memory-strategy-utility-monitoring“, welches die Überwachung des Vorgehens meint und in der Kategorie „Evaluation“ eingeordnet ist. Richter et al. (2005) hingegen lässt in seine „Überwachen“-Kategorie explizit nur das comprehension-monitoring eingehen und kodiert das memory-strategy-utility-monitoring nicht. Ein weiterer Unterschied zwischen den Kategoriensystemen ist der Auflösungsgrad, in dem Planungsprozesse beobachtet werden. Die Kategorisierung von Richter et al. (2005) weist nur die Kategorie „Planen“ auf, während Konrad sowie Kunz und Drewniak (1991) die beiden Phasen „Orientierung“ und „Planung“ unterscheiden. Bannert (2003) differenziert die Planungsphase am stärksten aus, in dem

Tabelle 5: Vergleich der Kategoriensysteme verschiedener Autoren hinsichtlich der Klassifikation von exekutiver Metakognition

| Konrad (2004) | Richter et al. (2005) | Bannert (2003) | Kunz & Drewniak (1991) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Orientierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufgabenschwierigkeit - Analyse der Fragestellung <p>Planung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Antizipation einer Sequenz - Zielbeschreibung - Antizipation der Gliederung - Relevanz von Abschnitten <p>Monitoring:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprehension-monitoring - Fehlerentdeckung - allg. Reflexion/Rückblick <p>Regulation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Änderung des Lernverhaltens - alternative Vorgehensweisen <p>Evaluation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beurteilung von Lernergebnissen (Vollständigkeit, Korrektheit, Lernfortschritt) - Memory-strategy-utility-monitoring - Beurteilung von Strategien | <p>Planen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entscheidung vor dem Lernprozess über Inhalte und Reihenfolge - Paraphrasieren oder Rekonstruieren der Aufgabe, um sie besser bearbeiten zu können. <p>Überwachen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprehension-monitoring <p>Regulieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Lernvorgangs in Folge von Monitoring - Geht häufig mit kognitiven Lernstrategien einher | <p>Orientierung</p> <p>Zielspezifikation</p> <p>Planung</p> <p>Informationssuche und -bewertung</p> <p>Strategische Verarbeitung</p> <p>Regulation</p> <p>Evaluation (Endkontrolle)</p> | <p>Orientierung</p> <p>Planung</p> <p>Überwachung</p> <p>Prüfung</p> <p>Diagnose</p> <p>Reflexion</p> <p>Evaluation</p> |

sie Planungsprozesse in die Kategorien „Orientierung“, „Zielspezifikation“ und „Planung“ aufteilt. Kunz und Drewniak (1991) spezifizieren sehr viele Kategorien, in denen es um Monitoring-Aktivitäten geht (Überwachung, Prüfung, Diagnose, Reflexion, Evaluation), stoßen dann aber in der Auswertung auf das Problem, dass die Häufigkeiten dieser Kategorien so niedrig sind, dass z. B. keine Korrelationen berechnet werden können. Eine zu starke Ausdifferenzierung der Kategorien kann also dazu führen, dass die beobachteten Häufigkeiten zu klein werden. Auch diesen Aspekt gilt es bei der Entwicklung eines Kategoriensystems also zu berücksichtigen. Es ist zu bemerken, dass Überwachungs- und Evaluationsaktivitäten im Prinzip beide dem exekutiven Metakognitionsbereich des Monitoring zugeordnet werden könnten. Diese beiden Bereiche zu unterscheiden, obwohl sie sich in ihrer Ausführung ähneln, hat aber auch seine Berechtigung. Überwachung könnte als eine Aktivität aufgefasst werden, die

während des Lernprozesses „online“ ausgeführt wird; Evaluation hingegen als eine Aktivität, bei der am Ende der Lernzeit der gesamte Lernprozess reflektiert wird.

Insgesamt scheint die Operationalisierung der exekutiven Metakognition über Protokolle lauten Denkens vielversprechend zu sein, da retrospektive Selbstberichte zu diesem Thema mit Erinnerungsproblemen behaftet sein können und daher eher das metakognitive Wissen messen als die tatsächliche Strategienutzung. Erfasst man die exekutive Metakognition jedoch „online“, solange sie noch im Arbeitsgedächtnis repräsentiert wird, erscheint eine solche Erfassungsmethode wesentlich valider als retrospektive Methoden.

5.3 Zusammenfassung

Cavanaugh und Perlmutter (1982) ziehen in ihrem Bericht über Erhebungsmethoden der Metakognition den Schluss, dass konkurrente den unabhängigen Indikatoren vorzuziehen seien. Eine etwas davon abweichende Schlussfolgerung wäre, dass konkurrente Indikatoren nicht prinzipiell besser sind als unabhängige, sondern dass die unterschiedlichen Indikatoren einfach nur unterschiedliche Komponenten der Metakognition messen. Während unabhängige Indikatoren geeigneter sind für die Erfassung metakognitiven Wissens, erscheinen konkurrente Indikatoren geeigneter zur Messung der exekutiven Metakognition.

Fragebögen scheinen also für die Messung des relativ stabilen metakognitiven Wissens besonders geeignet zu sein. Die domänenspezifischen Fragebögen scheinen dabei eine höhere externe Validität aufzuweisen als globale Fragebögen, da sie sich auf konkrete Aufgabensituationen beziehen und so nicht nur das reine Strategiewissen, sondern auch das metakognitive Aufgabenwissen oder das spezifische Strategiewissen miterfassen. Für die Untersuchung des Konstrukts des chemiespezifischen metakognitiven Wissens wird daher die Entwicklung eines ähnlichen Fragebogens angestrebt. Unter den konkurrenten Indikatoren scheinen Protokolle lauten Denkens am validesten zu sein, da sie die exekutive Metakognition „online“ erfassen und weniger Annahmen über vermittelnde Prozesse benötigen als die indirekten Indikatoren. Ericsson und Simon (1980, 1993) konnten viele Bedenken, die traditionell mit introspektiven Methoden verbunden sind, für Protokolle lauten Denkens ausräumen, indem sie Vorschläge machten, wie diese angemessen zu erheben sind. Entsprechend soll für die Analyse der exekutiven Metakognition beim Lernen in Chemie das laute Denken als Erhebungsinstrument zum Einsatz kommen.

6 Förderung von Metakognition

Dass Metakognition ein Prädiktor für die Lernleistung ist, wurde schon in Abschnitt 2.2.2 dargelegt. Ein Interesse an der Förderung von Metakognition ist deswegen nur konsequent. Daher sollen in diesem Kapitel verschiedene Ansätze zur Förderung der Metakognition und falls vorliegend deren Evaluation dargelegt werden. Als weiteres Ziel wird mit Trainingsstudien versucht, neben der Überprüfung von Möglichkeiten zur Förderung der Metakognition auch die Ausgestaltung des Konstrukts der Metakognition und ihre Wirksamkeit auf den Lernerfolg unter relativ kontrollierten Bedingungen zu untersuchen. (Artelt, 2000a; Friedrich & Mandl, 1992). Bei der Förderung von Metakognition in verschiedenen Studien wird meist ein gemischter Ansatz der gemeinsamen Förderung des metakognitiven Wissens und der exekutiven Metakognition verfolgt.

In Abschnitt 3.4 wurde schon kurz darauf eingegangen, welche Schlussfolgerungen sich für die Instruktion von Metakognition vor dem Hintergrund der Domänenspezifitäts vs. -generalitäts-Diskussion ergeben. Als wichtige Merkmale einer solchen Instruktion waren dabei herausgestellt worden, dass diese aufgabenspezifisch, d. h. nicht losgelöst von Lerninhalten, sein sollte und dass eine zunehmende Reflexion und Abstraktion der gelernten Prinzipien erfolgen sollte, damit diese auf neue Inhalte generalisierbar werden (vgl. Borkowski & Muthukrishna, 1995; Brown et al., 1989; Hattie et al., 1996; Mähler & Hasselhorn, 2001).

Als Ziel einer erfolgreichen Intervention steht neben der Veränderung von Prozessmerkmalen immer die Veränderung von Produkten im Vordergrund. In diesem Fall wäre dieses Produkt eine bessere Leistung von trainierten Personen im Vergleich zu untrainierten Personen. Mit dieser Forderung einer Leistungsverbesserung wäre man bei der Frage nach geeigneten Kriterien für diese Leistungsverbesserung angelangt, die schon in Abschnitt 4.2.3 erörtert wurde. Auf die Frage nach geeigneten Operationalisierungen der Metakognition, die ebenfalls einen starken Einfluss auf die Ergebnisse von Interventionsstudien hat, wurde schon eingegangen (siehe Kapitel 5). In den Trainingsstudien zur Metakognition werden die verschiedensten Leistungskriterien erhoben, einige messen eher Verständnis, andere eher das reine Behalten bzw. Wiedergeben von Informationen. Es wird häufig gefordert, der Trainingserfolg müsse mit geeigneten, fairen Kriterien gemessen werden, die eher das Verständnis als das reine Behalten widerspiegeln (z. B. Artelt, 2000a).

Friedrich und Mandl (1992) unterscheiden zwischen *indirekten Trainings* und *direkten Trainings*. Indirekte Trainings zeichnen sich dadurch aus, dass Lernsituationen so gestaltet werden, dass Lern-, Denk- und Problemlöseprozesse gefördert werden. Die Inhaltsvermittlung steht im Vordergrund, die Strategievermittlung an zweiter Stelle. Als Beispiel für einen solchen Ansatz nennen Friedrich und Mandl (1992) das Cognitive

Apprenticeship (vgl. Abschnitt 3.4). Bei diesem Ansatz soll ähnlich wie bei der traditionellen Handwerkslehre durch angeleitete Erfahrung gelernt werden, nur sollen statt motorischen kognitive und metakognitive Fähigkeiten und Prozesse eingeübt werden (Brown et al., 1989; Collins, Brown & Newman, 1989). Unterricht nach der Maßgabe des Cognitive Apprenticeship liegen folgende Methoden zu Grunde:

- *Modelling*: Die Lehrkraft löst als Experte eine Aufgabe und verbalisiert dabei seine Gedanken, der Lerner beobachtet dies und kann so sein eigenes mentales Modell aufbauen.
- *Coaching*: Die Lehrkraft beobachtet den Lernenden bei der Lösung einer Aufgabe und bietet Unterstützung und Feedback an.
- *Scaffolding* und *Fading*: Die Lehrkraft gibt bei Bedarf noch einmal ein Modell. Es entsteht eine Art kooperatives Problemlösen der Lehrkraft und des Lernenden, wobei der Lerner soviel wie möglich selbst machen soll. Die Hilfen werden von der Lehrkraft langsam herunter reguliert, bis der Lerner die Aufgabe alleine vollziehen kann.
- *Articulation*: Sowohl Lehrkraft als auch Lernender artikulieren ihre Problemlöseprozesse.
- *Reflection*: Der Lerner vergleicht seinen Problemlöseprozess mit dem des Experten/der Lehrkraft oder denen anderer Lerner.
- *Exploration*: „Exploration involves pushing students into a mode of problem solving on their own” (Collins et al., 1989, S. 483). Dies ist eine Folge des *Fading* und beinhaltet auch die Exploration noch unbekannter Probleme.

Mit diesen Methoden soll erreicht werden, dass kognitive und metakognitive Fertigkeiten und Fähigkeiten von Experten (häufig die Lehrkraft) aufgedeckt werden und so für den Novizen nutzbar gemacht werden können.

Bei den direkten Trainingsansätzen werden hingegen Prinzipien und Strategien effektiven Lernens direkt vermittelt. Aebli und Ruthemann (1987) fordern z. B., die Wahrnehmung des Nutzens eines metakognitiven Trainings explizit zu fördern. Solche direkten Trainings zeichnen sich laut Friedrich und Mandl (1992) häufig durch zwei Phasen aus: Dem Demonstrieren der zu erlernenden Fertigkeiten und dem nachfolgenden Üben. Ein Beispiel eines solchen direkten Trainings ist das Konzept des „Informed Strategies for Learning“ von Paris und Mitarbeitern (Paris et al., 1984; Paris & Jacobs, 1984, s.u.). Ein Problem solcher Ansätze ist der erfolgreiche Transfer der erworbenen Fertigkeiten auf neue Situationen, ein Vorteil gegenüber indirekten Trainings liegt in der leichteren Realisierbarkeit. Friedrich und Mandl (1992) weisen

darauf hin, dass auf Grund bekannter Studien nicht entscheidbar sei, ob Ansätze der indirekten oder der direkten Förderung erfolgreicher seien.

Eine weitere mögliche Differenzierung der direkten Ansätze ist gegeben durch eine Einteilung in eher *allgemeine Trainings*, die Fertigkeiten vermitteln, die von vornherein auf viele Situationen generalisierbar scheinen, und *aufgabenspezifische Trainings*, die sich zunächst, wie von Hasselhorn (2001) gefordert, nur auf bestimmte Inhalte konzentrieren und erst später generalisiert werden (siehe auch Artelt, 2000a; Hattie et al., 1996).

Hasselhorn (2001) schlägt für die Förderung eines metakognitiven Bearbeitens mathematischer Probleme folgende Gestaltungsprinzipien für den Mathematikunterricht vor:

1. Explizite Instruktion über die eigene Überwachung von Lösungsschritten einer Mathematikaufgabe.
2. Vermittlung spezifischen Strategiewissens über das Wann und Wie des Strategieeinsatzes.
3. Vermittlung allgemeinen Strategiewissens über strategische Lernmöglichkeiten.
4. Gleichzeitiger Aufbau mathematischer Grundkenntnisse.

Ein kombiniertes, metakognitives und inhaltliches Training ist Hasselhorn, wie schon beschrieben, sehr wichtig. Aus exekutiven Aktivitäten während der Lösung inhaltlicher Aufgaben soll sich im weiteren Verlauf dann zunächst spezifisches Strategiewissen entwickeln und später dann allgemeines Strategiewissen abstrahiert werden (vgl. Borkowski & Muthukrishna, 1992; Borkowski & Turner, 1990; Ertmer & Newby, 1996).

Derry und Murphy (1986) folgern aus Flavells Theorie des kognitiven Monitoring (Flavell, 1979) vier allgemeine Formen des Trainings, die in Schulen umgesetzt werden könnten:

1. Dem Lerner beim Aufbauen einer „Bibliothek von Lernstrategien“ helfen.
2. Dem Lerner helfen zu bemerken, welches die Lernziele sind.
3. Die Frequenz und Qualität von Erfahrungen erhöhen, die Einsichten über das Lernen vermitteln (metakognitive Erfahrungen).
4. Dem Lerner helfen, einen Wissensstock über den Nutzen und das Wann und Wie von Lernstrategien aufzubauen (metakognitives Wissen).

Im Folgenden sollen nun Trainings geschildert werden, mit denen versucht wurde, Metakognition und Lernstrategien zu fördern. Meist handelt es sich um eher *direkte*

Trainings. Bei den Ausführungen sollen auch die Wirksamkeiten solcher Trainings berücksichtigt werden.

Hasselhorn und Körkel (Hasselhorn, 1992; Hasselhorn & Körkel, 1983) entwickelten ein Training zur Textverarbeitung für Sechstklässler. Die Förderungsmethoden beinhalteten direkte Informationsvermittlung, Lernen durch Nachahmung und verbale Selbstinstruktion. Es wurden Verstehens- und Behaltensstrategien der Textverarbeitung eingeübt. Zu diesen Strategien gehörten Benutzung von Überschriften als Verstehenshinweise, Überprüfung des Verständnisses, Unterstreichungen, Notizen usw. In einem zweiten Schritt wurden exekutive Prozesse (Was ist das Problem?, Welche Lösungsmöglichkeiten gibt es? usw.) zum Umgang mit Verständnisproblemen vermittelt. In der dritten Phase wurden die erlernten Strategien mit Hilfe eines verallgemeinerbaren metakognitiven Plans integriert. In diesem Plan, der als Arbeitsblatt ausgeteilt wurde, wurden die ersten beiden Trainingsphasen aufeinander bezogen. Die Evaluation des Trainings ergab, dass besonders Schüler mit geringen Vorkenntnissen über die Textinhalte von dem Training profitierten.

Das schon erwähnte „Informed Strategies for Learning“-Training von Paris und Mitarbeitern (Paris et al., 1984; Paris & Jacobs, 1984) wurde im regulären Unterricht mit Schülern der dritten und fünften Klasse für die Dauer von drei bis vier Monaten in zwei wöchentlichen Sitzungen à 20-30 Minuten durchgeführt. Die Lehrkraft informiert zunächst über Lesestrategien und metakognitive Strategien und geht dabei auch auf den Nutzen dieser Strategien ein. Die Lehrperson gibt Modelle über die Anwendung der Strategien, worauf hin die Schüler einzelne Strategieschritte selbst ausprobieren. Nach und nach übernehmen die Schüler selbst Verantwortung für ihr strategisches Lernen, die Lehrkraft gibt Feedback und blendet ihre Unterstützung langsam aus. Die Evaluation des Trainings ergab, dass sowohl das Wissen über und die Anwendung von Lesestrategien als auch die exekutive Metakognition verbessert werden konnten. Diese Fertigkeiten wirkten sich jedoch nicht in zwei standardisierten Leseverständnistests aus, was darauf zurückgeführt wurde, dass diese Tests eher allgemeine verbale Fähigkeiten als spezifische strategische Kompetenzen messen würden. Hier zeigt sich wieder die Schwierigkeit, geeignete Lernerfolgskriterien für Metakognitionstrainings zu finden.

Lehtinen (1992) versuchte, lernschwächeren Schülern in einem Training neben kognitiven Verstehensstrategien auch sozio-emotionale Bewältigungsstrategien zu vermitteln. Dadurch sollten die Schüler zu einer Sachorientierung statt zu einer ich-bezogenen oder sozialen Abhängigkeitsorientierung finden. Das Training fand im normalen Schulunterricht statt. Es gab vier verschiedene Trainingsbedingungen: rein kognitives Verstehenstraining, rein sozio-emotionales Bewältigungstraining, kombiniertes Training aus den beiden vorherigen Strategiegruppen und ein weiterführendes Training, in dem ein kombiniertes Training vier Monate lang in den Unterricht integriert wurde. Das Training kognitiver Strategien basierte auf den

Prinzipien des *Scaffolding*, wobei der Lehrer zunächst viel Unterstützung gibt, die er dann sukzessiv abbaut. Auch direkte Instruktion, Modelllernen und Selbstreflexion wurden, wie bei Paris und Mitarbeitern, als instruktionale Elemente eingesetzt. Das Verstehensstrategietraining hatte Textverarbeitungsstrategien aber auch metakognitive Strategien wie Aktivierung des Vorwissens, Umgang mit Lernzielen, Überwachung etc. zum Inhalt. Als Maß der Strategieanwendung wurden Aufsätze der teilnehmenden Kinder hinsichtlich ihrer Kohärenz und Kerngedanken vor und nach dem Training analysiert. Varianzanalysen ergaben, dass das erweiterte Training am besten wirkte, aber auch das kombinierte Training gute Erfolge erzielte. Die trainierten lernschwachen Schüler lagen in ihren Leistungen nach dem Training aber immer noch unter den Leistungen lernstärkerer Schüler ohne Training. Außerdem gab es einen differentiellen Effekt des Trainings: Schüler, die schon vorher eine gewisse Sachorientierung aufwiesen, profitierten von allen Trainingsformen mehr als Schüler ohne diese Sachorientierung. Dieses Ergebnis scheint eventuell ein zusätzliches Argument zu sein, besonders bei schwächeren Schülern auch diese „weichen“ Faktoren in Trainings von Lernstrategien und Metakognition einzubeziehen.

Brown und Palinscar (1989) entwickelten die Methode des *reciprocal teaching*. Dieses Training wurde in kooperativen Gruppen durchgeführt. Wichtig dabei war, dass das Training einfach gehalten war, damit es von durchschnittlichen Lehrpersonen und unterdurchschnittlichen Schüler durchgeführt werden konnte. Dabei übernehmen die Lehrkraft und die Schüler abwechselnd die Diskussionsleitung, was die Reziprozität des Trainings kennzeichnet. Die Diskussion sollte frei geführt werden, aber vier strategische Aktivitäten sollten routinemäßig angewendet werden: Zusammenfassen, Fragen an den Text formulieren, Klären von Verständnisproblemen, Vorhersage der weiteren Textinhalte. Die Lehrkraft gibt dabei Anleitungen und Feedback, sowohl für den Diskussionsleitenden als auch für die anderen Gruppenmitglieder. Durch dieses Vorgehen soll ein gemeinsames Textverständnis geschaffen werden. Durch das Lernen in der Gruppe mit tatsächlichen Texten soll ein angemessenes Umfeld geschaffen werden, durch das der Lernende lernt, eine Strategie immer dann anzuwenden, wenn sie passt. Hauptziel war dabei jedoch das Verständnis des Textes und nicht das Verfeinern der Strategien. Die Rolle der Lehrkraft während des Lernprozesses ist gekennzeichnet durch eine Modellierung von Verständnisaktivitäten eines erfahrenen Lerner durch Offenlegung und Konkretisierung. Des Weiteren behält die Lehrperson das Ziel, also das Verständnis des Textes, im Auge, damit die Gruppendiskussionen nicht ausufern. Im späteren Verlauf des Trainings gibt die Lehrkraft jedoch immer mehr Verantwortung an die Lerner ab im Sinne eines *Fading* im Konzept des Cognitive Apprenticeship.

Brown und Palinscar (1989) erprobten das Training mit Siebt- und Achtklässlern, die auf Grund ihrer niedrigen Ergebnisse in einem Leseverständnistest ausgewählt wurden. Das extensive Training umfasste mindestens zehn Trainingstage, dauerte aber

normalerweise 20 Tage. Untersucht wurde die Teilnahme der Lerner in den Diskussionen und die Verbesserung des Verständnisses unbekannter Texte. Die Testwerte der Diskussionsteilnahme (Verwendung der vier Strategien) nahmen zwischen den ersten Tagen des Trainings und den letzten Tagen des Trainings zu. Weiterhin konnte in einem Leseverständnistest eine Zunahme von anfangs ca. 30 bis 40% korrekter Antworten zu einem stabilen Level von 70-80% korrekter Antworten gefunden werden. Mit weniger motivierten, nicht vorher ausgewählten Lehrkräften war dieser Anstieg nicht ganz so hoch. Die Lehrkräfte unterrichteten bei dieser Untersuchung jeweils eine Trainings- und eine Kontrollgruppe, so dass der Einfluss der Lehrperson kontrolliert werden konnte.

Mit einem ebenfalls kooperativen Ansatz versuchte Konrad (1998) das Lernen von Studierenden zu fördern. Die Studierenden sollten in Partnerarbeit einen Lerntext verarbeiten, indem sie zunächst 15 Schlüsselbegriffe auf Kärtchen schreiben und dann mit Hilfe der Begriffe eine kognitive Landkarte ihres Lernprozesses erstellen sollten, welche zur Reflexion diente. Diese Mind Maps dienten auch gleichzeitig als Lernerfolgsmaß und wurden dazu von Experten anhand von sechs Skalen beurteilt. Während des Lernens sollten die Studierenden laut denken, nach der Lernphase wurden die metakognitiven Äußerungen mit Hilfe eines strukturierten Dialogs auf Basis von Videos aus der Lernphase erfasst. Diese Interviews wurden kodiert mit Hilfe eines Kategoriensystems, welches Kategorien der Metakognition, wie z. B. Orientierung, Planung oder metakognitives Wissen, enthielt. Mit Hilfe von Mediansplits konnte festgestellt werden, dass besonders die Variablen „metakognitives Wissen“, „kognitive Vollzüge“ und „Beurteilung von Lern(zwischen)zuständen“ gemeinsam einen positiven Beitrag für die mit der Mind Map erhobene Güte der Wissensrepräsentierung leisten.

Neuere Forschung zu metakognitiven Trainings bezieht sich teilweise auf computergestütztes Lernen, wie z. B. das Lernen mit Hypertexten. Metakognitivem Lernen kommt hier, auf Grund zusätzlicher Anforderungen der non-linearen Informationsdarbietung, wahrscheinlich eine noch größere Bedeutung zu als beim Lernen mit Texten (Bannert, 2003). Bannert (2003; 2004) verwendete als direkte Fördermaßnahme ein Training metakognitiver Aktivitäten, welches vor der eigentlichen Lernphase mit einem Hypertext zur Motivationspsychologie stattfand. Das während des Trainings verwendete Lernschema beinhaltete Strategien der Orientierung, Zielbildung, Planung, Informationssuche und -bewertung sowie der Überwachung, Steuerung und Endkontrolle. Thema waren also hauptsächlich Strategien der exekutiven Metakognition. Die strategischen Aktivitäten während der Lernphase wurden mit Hilfe der Methode des Lauten Denkens erhoben, als Leistungskriterien wurden ein freier Reproduktionstest, ein Multiple-Choice-Test und ein Test mit offenem Antwortformat eingesetzt. Die Auswertung ergab, dass die trainierten Personen besonders die Aktivitäten Zielspezifikation, Planung, Informationssuche und -bewertung und

Evaluation signifikant häufiger zeigten als die Personen der Kontrollgruppe. Ein signifikanter Lernvorteil der Trainingsgruppe zeigt sich jedoch nur für das mit den offenen Fragen erhobene Anwendungswissen. In den anderen beiden Lernerfolgsmaßen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Autorin erklärt dies damit, dass Effekte metakognitiven Lernens theoretisch auch eher bei Anwendungswissen als bei reinen Behaltens- oder Faktenwissenstests zu erwarten sind.

Die Ergebnisse der Evaluationen von Trainings bezüglich Lernstrategien und Metakognition sind sehr durchmischt. Gründe hierfür mögen z. B. in der Verwendung ungeeigneter Kriterien, schwer kontrollierbarer Settings oder in differentiellen Effekten, die einen Gesamteffekt ausbleiben lassen, liegen. Eine Metaanalyse von 20 Trainingsstudien zum Textverständnis ergab jedoch immerhin einen durchschnittlichen Effekt von $d = .71$, was durchaus auf die praktische Relevanz einiger Trainingsstudien hinweist (Haller, Child & Walberg, 1988). In Einzelstudien wurden vergleichbare Effekte gefunden (Derry & Murphy, 1986). Die Untersuchung der geeigneten Förderung von Metakognition bleibt also ein interessantes Forschungsfeld, zumal sich in einem Review-Artikel Metakognition als wichtigster Prädiktor (auch im Vergleich zu kognitiven Variablen) für die Lernleistung herausstellte (Wang et al., 1990, siehe Abschnitt 2.2.2). Besonders aufgabenspezifische Förderansätze, bei denen metakognitive Kompetenzen zusammen mit Fachinhalten vermittelt werden, erscheinen in diesem Zusammenhang vielversprechend

7 Fragestellungen und Hypothesen

Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist die Untersuchung der chemiespezifischen Metakognition. Es sollen sowohl das chemiespezifische metakognitive Wissen als auch die exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie untersucht werden. Die erste im empirischen Teil beschriebene Studie hat das chemiespezifische metakognitive Wissen, die zweite Studie des empirischen Teils hat die exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie zum Thema.

In Kapitel 2 wurde die Metakognition dem weitergefassten Konzept des selbstregulierten Lernens untergeordnet. Metakognition wird in Theorien des selbstregulierten Lernens als ein Bestandteil selbstregulierten Lernens aufgefasst, welcher in Zusammenhang mit anderen motivationalen und kognitiven Lernermerkmalen gebracht werden kann. Aus dieser Sichtweise resultiert, dass diesen Beziehungen zu anderen Lernmerkmalen auch in der vorliegenden Arbeit besondere Aufmerksamkeit entgegengebracht werden soll. So soll das chemiespezifische metakognitive Wissen in Studie I mit anderen motivationalen und kognitiven Variablen in Beziehung gesetzt werden. Metakognition wird weiterhin als ein Konstrukt mit zwei Komponenten konzeptualisiert (siehe Abschnitt 2.2.1). Daher soll auch in den empirischen Studien dieser Arbeit eine Zwei-Komponenten-Sichtweise verfolgt werden, indem das chemiespezifische metakognitive Wissen in Studie I thematisiert und in Studie II versucht wird, die exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie zu fördern.

In Kapitel 3 wurde die Domänenspezifität vs. Domänengeneralität von Metakognition mit dem Ergebnis betrachtet, dass die Metakognition zumindest teilweise als domänenspezifisches Konstrukt konzeptualisiert werden kann. In Studie I soll daher der Frage nachgegangen werden, wie die Erklärungskraft des chemiespezifischen metakognitiven Wissens bezüglich eines domänenspezifischen Kriteriums (Chemiewissen) und eines domänenübergreifenden Kriteriums (Problemlösefähigkeit) ist. Weiterhin soll die zusätzliche Erklärungskraft (inkrementelle Validität) des chemiespezifischen metakognitiven Wissens bezüglich des Kriteriums Chemiewissen im Vergleich zu den beiden Prädiktoren allgemeines metakognitives Wissen und Problemlösefähigkeit (die Problemlösefähigkeit fungiert in dieser Arbeit gleichzeitig als Prädiktor und Kriterium, siehe Abschnitt 4.3) betrachtet werden.

Kapitel 4 war Überlegungen bezüglich der Metakognition beim Lernen in Chemie vorbehalten. Für Studie I soll aufbauend auf den in Kapitel 4 postulierten Bereichen metakognitiven Wissens in der Chemie ein chemiespezifischer metakognitiver Wissenstest konstruiert werden. Weiterhin wurde in Kapitel 4 die chemiespezifische Metakognition, ähnlich wie in den Ansätzen selbstregulierten Lernens, in Beziehung mit

anderen Lernervariablen gesetzt. Das daraus folgende Modell chemiespezifischen metakognitiven Lernens soll in Studie I empirisch überprüft werden.

Kapitel 5 diene der Identifizierung geeigneter Operationalisierungen der Metakognition. Aus diesem Kapitel begründet sich die Entscheidung zur Art der Messung von Metakognition in dieser Arbeit. Das chemiespezifische metakognitive Wissen in Studie I soll unter Zuhilfenahme eines Fragebogens gemessen werden. Die exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie in Studie II soll mit Protokollen lauten Denkens erhoben werden.

In Kapitel 6 wurden verschiedene Ansätze für die Förderung der Metakognition betrachtet. Verschiedene Autoren sprechen sich für eine aufgabenspezifische Förderung der Metakognition aus (vgl. Borkowski & Muthukrishna, 1995; Brown et al., 1989; Hattie et al., 1996; Mähler & Hasselhorn, 2001). Daher soll auch in dieser Arbeit im Rahmen der Studie II ein aufgabenspezifischer Trainingsansatz verfolgt werden. Das bedeutet, dass das Training in einer ähnlichen chemischen Lernsituation erfolgt wie die Anwendung.

Im Folgenden werden nun die aus der Theorie abgeleiteten Fragestellungen und Hypothesen der beiden empirischen Studien aufgestellt.

7.1 Fragestellungen der Studie I: Chemiespezifisches metakognitives Wissen

Im Rahmen der Studie I wird aufbauend auf den in Abschnitt 4.1 ausgemachten Bereichen, in denen sich Metakognition beim Lernen in Chemie entwickeln könnte, ein Fragebogen konzipiert, der chemiespezifisches metakognitives Wissen erfassen soll. Dieser Fragebogen wurde analog zu den in PISA 2000 und PISA 2003 verwendeten aufgabenspezifischen Metakognitionstests zum Textverständnis und zur Mathematik entwickelt.

Im Rahmen einer Fragebogenstudie sollen die Validität dieses Tests und das entworfene Modell der chemiespezifischen Metakognition (siehe Abschnitt 4.3) näher untersucht werden.

Fragestellung 1.1: Wie ist die konkurrente Validität des entwickelten chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests bezüglich der Kriterien Chemiewissen und Problemlösefähigkeit?

Hypothese 1.1.1: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen chemiespezifischem metakognitiven Wissen und Chemiewissen.

Hypothese 1.1.2: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen chemiespezifischem metakognitiven Wissen und Problemlösefähigkeit.

Ein weiterer Fragenkomplex bezieht sich auf die Vorhersagequalität des chemiespezifischen metakognitiven Wissens, wenn man diese mit anderen Prädiktoren (allgemeines metakognitives Wissen und Problemlösefähigkeit) gleichzeitig betrachtet. Im Folgenden soll kurz auf das vermutete Verhältnis zu diesen anderen Prädiktoren eingegangen werden.

Zunächst soll kurz das Verhältnis des Prädiktors chemiespezifisches metakognitives Wissen zum Prädiktor allgemeines metakognitives Wissen betrachtet werden. In Abschnitt 3.4 wurden drei unterschiedliche Vorhersagemodelle bezüglich der Vorhersage der domänenspezifischen Lernleistung durch die domänenspezifische und/oder die domänengenerelle Metakognition aufgezeigt:

- 1) Domänenspezifische Leistungen werden nur durch die domänengenerellen Anteile der Metakognition vorhergesagt,
- 2) domänenspezifische Metakognition klärt gegenüber einer domänengenerellen Metakognition zusätzliche Varianz bezüglich der Leistung auf,
- 3) domänenspezifische Leistungen werden nur durch die domänenspezifischen Anteile der Metakognition vorhergesagt.

Auf Grund der gegenwärtigen Forschungslage scheint das zweite Modell am angemessensten (siehe auch Kapitel 3.3). Das chemiespezifische metakognitive Wissen soll gegenüber dem allgemeinen metakognitiven Wissen zusätzliche Varianz des Kriteriums Chemiewissen aufklären.

Weiterhin soll kurz auf das vermutete Verhältnis des chemiespezifischen metakognitiven Wissens zum Prädiktor Problemlösefähigkeit eingegangen werden. Vermutungen hinsichtlich der Beziehung von Metakognition und Kognition wurden in Abschnitt 2.2.2 dargestellt. Hier wird eine zusätzliche Erklärungskraft der Metakognition gegenüber der Kognition hinsichtlich Lernleistungen angenommen. Eine solche „zusätzliche Erklärungskraft“ wird in der Literatur auch mit dem Fachterminus „inkrementelle Validität“ belegt (Bühner, 2006; Schmidt & Hunter, 1998). Die Vermutung einer

inkrementellen Validität der Metakognition im Vergleich zur Kognition wurde bisher vor allem für die allgemeine kognitive Fähigkeit (Intelligenz) untersucht (Veenman et al., 2004), aber noch nicht für die etwas angewandtere kognitive Variable Problemlösefähigkeit. Prinzipiell kann jedoch auch hier von einer zusätzlichen Erklärungskraft der Metakognition ausgegangen werden, da auch die Problemlösefähigkeit eine allgemeine kognitive Fähigkeit darstellt und bezüglich der Metakognition prinzipiell ein ähnliches Beziehungsmuster wie bei der Intelligenz angenommen werden kann. Das chemiespezifische metakognitive Wissen soll also auch gegenüber der Problemlösefähigkeit zusätzliche Varianz des Kriteriums Chemiewissen aufklären. Diesen Überlegungen folgend wird die Fragestellung 1.2 aufgestellt:

Fragestellung 1.2: Hat das chemiespezifische metakognitive Wissen eine inkrementelle Validität bezüglich des Chemiewissens, wenn dieser Zusammenhang von dem Einfluss allgemeinerer metakognitiver Fähigkeiten und dem der Problemlösefähigkeit bereinigt wird?

Hypothese 1.2.1: Der positive Zusammenhang zwischen chemiespezifischem metakognitiven Wissen und Chemiewissen bleibt bestehen, wenn der Einfluss allgemeinerer metakognitiver Fähigkeiten eliminiert wird.

Hypothese 1.2.2: Der positive Zusammenhang zwischen chemiespezifischer Metakognition und Chemiewissen bleibt bestehen, wenn der Einfluss der Problemlösefähigkeit eliminiert wird.

Hypothese 1.2.3: Der positive Zusammenhang zwischen chemiespezifischer Metakognition und Chemiewissen bleibt bestehen, wenn der Einfluss allgemeinerer metakognitiver Fähigkeiten und der Einfluss der Problemlösefähigkeit zusammen eliminiert werden.

In Abschnitt 4.2 wurden als Einflussfaktoren auf das chemiespezifische metakognitive Wissen als motivationale Variablen das Chemieinteresse und das chemiespezifische Selbstkonzept und als kognitive Variable das Vorwissen in Chemie beschrieben. Eine weitere Frage bezieht sich daher auf die Einflussfaktoren des chemiespezifischen metakognitiven Wissens.

Fragestellung 1.3: Lässt sich das chemiespezifische metakognitive Wissen anhand von motivationalen und kognitiven Variablen vorhersagen?

Hypothese 1.3: Die Variablen Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept und Vorwissen in Chemie sind prädiktiv für das chemiespezifische metakognitive Wissen.

In Abschnitt 4.3 wurde ein Modell der chemiespezifischen Metakognition formuliert, welches die Einflussfaktoren und Kriterien bezüglich der chemiespezifischen Metakognition zusammenfasst. Dieses Modell soll im Rahmen der ersten Studie für das chemiespezifische metakognitive Wissen näher untersucht werden. Dabei sollen die postulierten Einflussfaktoren und die postulierten Kriterien simultan berücksichtigt werden.

Fragestellung 1.4: Kann das Modell der chemiespezifischen Metakognition unterstützt werden?

Hypothese 1.4: Ein Modell der chemiespezifischen Metakognition umfasst die Einflussvariablen Vorwissen in Chemie, chemiespezifisches Selbstkonzept und Chemieinteresse sowie die Kriteriumsvariablen Problemlösefähigkeit und Chemiewissen. Die einzelnen Variablen stehen in den in Abschnitt 4.3 beschriebenen gegenseitigen Abhängigkeiten.

7.2 Fragestellungen der Studie II: Exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie

Die Studie II befasst sich mit der exekutiven Metakognition bei der Bearbeitung einer chemischen Aufgabensituation. In verschiedenen Interventionsstudien, die in Kapitel 6 geschildert wurden, konnte besonders die exekutive Metakognition effektiv gefördert werden. Im Rahmen der Studie II soll ein Versuch der Förderung exekutiver Metakognition in einer chemischen Lernumgebung unternommen werden. Dazu soll ein Kurztraining der exekutiven Metakognition, welches auf den Prinzipien des Modelllernens basiert, entwickelt und angewendet werden.

Die erste Fragestellung bezieht sich auf den Erfolg dieses Trainings. Hierbei wird zum einen angenommen, dass sich das Kurztraining positiv auf die exekutive Metakognition in der chemischen Lernumgebung auswirkt. Eine solche verbesserte Metakognition soll auch eine höhere Lernleistung der trainierten Personen nach sich ziehen, da in der Literatur angenommen wird, dass eine verbesserte exekutive Metakognition den Wissenserwerb verbessert (siehe Abschnitte 2.2.2, 4.2.3 und Kapitel 6, vgl. Borkowski & Muthukrishna, 1992; Haller et al., 1988; Wang et al., 1990).

Fragestellung 2.1: Welchen Einfluss hat ein metakognitives Kurztraining auf die exekutive Metakognition und die Lernleistung beim Lernen in Chemie?

Hypothese 2.1.1: Trainierte Personen zeigen eine höhere exekutive Metakognition als untrainierte Personen.

Hypothese 2.1.2: Trainierte Personen zeigen eine höhere Lernleistung als untrainierte Personen.

Die zweite Fragestellung dieser Studie bezieht sich auf den Zusammenhang zwischen der exekutiven Metakognition und der Lernleistung.

Fragestellung 2.2: Welcher Zusammenhang besteht zwischen exekutiver Metakognition und Lernleistung in einer chemischen Aufgabensituation?

Hypothese 2.2: Es gibt einen positiven Zusammenhang zwischen exekutiver Metakognition und Lernleistung.

8 Studie I: Chemiespezifisches metakognitives Wissen

8.1 Methode

8.1.1 Design, Durchführung und Stichprobenbeschreibung

Ziel der ersten Studie war, verschiedene Variablen des Modells der Metakognition beim Lernen in Chemie (siehe Abschnitt 4.3) zu operationalisieren und miteinander in Beziehung zu setzen. Die erste Studie ist als Fragebogenstudie mit einem Messzeitpunkt konzipiert. Wie in Kapitel 5 herausgearbeitet, kann eine Erfassung metakognitiver Wissensbestände per Fragebogen als die Methode der Wahl angesehen werden, im Gegensatz zur Erfassung von exekutiver Metakognition, die eher mit konkurrenten Maßen erhoben werden sollte. Sieben elfte Klassen in verschiedenen Bundesländern wurden mit Hilfe eines Gesamtfragebogens, der verschiedene Unterfragebögen enthielt, befragt. Elfte Klassen wurden deshalb gewählt, da diese Schüler schon über eine gewisse Unterrichtserfahrung im Fach Chemie verfügen (mindestens ab der 9. Klasse), was als eine Voraussetzung für die Ausbildung einer domänenspezifischen Metakognition angesehen werden kann. Weiterhin ist im elften Jahrgang Chemie noch ein Pflichtkurs und wird somit von allen Schülern belegt. Außerdem ist der Chemieunterricht noch nicht in Grund- und Leistungskurse aufgeteilt, so dass ein breites Leistungsspektrum untersucht werden kann.

Insgesamt nahmen 135 Schüler aus sieben elften Klassen teil: Drei Klassen aus Schleswig-Holstein, eine aus Hamburg und drei aus Baden-Württemberg. Die Untersuchung fand im Zeitraum von April bis Juni 2006 statt. Die Untersuchungen in Schleswig-Holstein und Hamburg wurden von der Verfasserin dieser Arbeit durchgeführt, die Untersuchungen der baden-württembergischen Klassen durch eine Gymnasiallehrerin mit mehrjähriger Forschungserfahrung in der empirischen Lehr- und Lernforschung. Der Gesamtfragebogen (siehe auch Anhang A) war für eine Bearbeitungsdauer von 1,5 Stunden (entspricht einer Schuldoppelstunde) konzipiert und enthielt folgende Teile:

- Alter und Geschlecht
- letzte Zeugnisnoten in Chemie und Deutsch, Absicht auch weiterhin Chemie zu belegen
- chemiespezifisches Selbstkonzept und Chemieinteresse
- chemiespezifisches metakognitives Wissen
- Wissenstest Chemie
- Problemlösetest

- textbezogenes metakognitives Wissen

Die einzelnen Teile wurden immer in dieser Reihenfolgen dargeboten. Die Items innerhalb der letzten vier Teile (chemiespezifisches metakognitives Wissen, Wissenstest Chemie, Problemlösetest und textspezifisches metakognitives Wissen) wurden innerhalb der Teile in unterschiedlichen Reihenfolgen dargeboten, so dass vier verschiedene Fragebögen mit denselben Items entstanden. Diese vier Versionen (A, B, C, D) wurden bei den Untersuchungen durchmischt ausgeteilt. Dadurch sollte die Gefahr einer möglichen Verfälschung durch „Abgucken“ vermindert werden. Es wurden insgesamt 35 Fragebögen der A-Version, 33-Fragebögen der B-Version, 35 Fragebögen der C-Version und 32 Fragebögen der D-Version ausgefüllt. Die Fragebögen von 4 Schülern wurden auf Grund zu vieler fehlender Daten (als Gründe sind meist Abbruch der Untersuchung wegen anderer wichtiger Termine, wie Arztbesuch oder Nachschreibeklausuren, zu nennen) ausgeschlossen, so dass insgesamt 131 Datensätze für die Auswertung zur Verfügung standen.

Von diesen 131 Schülern stammen 41 aus Schleswig-Holstein, 20 aus Hamburg und 69 aus Baden-Württemberg. Die Anzahl der weiblichen Schüler ($N = 80$) überwiegt in der Stichprobe deutlich gegenüber der der männlichen Schülern ($N = 51$). Um die Kennwerte der Schulnoten zu berechnen, wurde das in Deutschland in der Oberstufe übliche Punktsystem von 0 (entspricht der Schulnote 6) bis 15 (entspricht der Schulnote 1+) verwendet. Die durchschnittliche Chemienote betrug $M = 8.69$ ($SD = 2.80$, Variablenname: CHEMNOTE), die durchschnittliche Deutschnote $M = 9.19$ ($SD = 2.38$, Variablenname: DEUNOTE). 39 Schüler gaben an, das Fach Chemie so schnell wie möglich abwählen zu wollen, 59 wollten das Fach als Grundkurs und 18 als Leistungskurs wählen; 15 waren sich über ihre weiteren Kurswahlen bezüglich des Fachs Chemie noch nicht im Klaren. Damit waren sich 59% der Schüler sicher, den Chemieunterricht auch im weiteren Verlauf der Oberstufe besuchen zu wollen.

8.1.2 Erhebungsinstrumente

8.1.2.1 Vorwissen in Chemie

Das Vorwissen in Chemie wurde mit Hilfe der Chemienote operationalisiert. Die Schüler sollten angeben, welche Chemienote sie im letzten Zeugnis hatten. Die Kennwerte für die Chemienote finden sich in Tabelle 6. Bei zwei Personen fehlte die Angabe und wurde durch den gerundeten Mittelwert (9 Punkte) ersetzt.

Tabelle 6: Kennwerte der Chemienote: Anzahl der Versuchspersonen, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum

| Variable | Variablenname | N | M | SD | Min | Max |
|------------|---------------|-----|------|------|-----|-----|
| Chemienote | CHEMNOTE | 131 | 8.69 | 2.80 | 1 | 15 |

8.1.2.2 Skalen zum chemiespezifischen Selbstkonzept und zum Chemieinteresse

Die Skalen zum chemiespezifischen Selbstkonzept und zum Chemieinteresse wurden am IPN schon häufiger für Forschungszwecke verwendet (Stracke, 2004; Urhahne, 2002). Sie stellen eine Erweiterung und Anpassung auf das Fach Chemie der Skalen zum fachspezifischen Selbstkonzept und Interesse in Mathematik von Köller, Schnabel und Baumert (2000c) dar. Köller et al. (2000) verstehen fachspezifische Selbstkonzepte als unterste Ebene eines hierarchisch strukturierten Gesamtselbstkonzeptes und fachspezifisches Interesse im Sinne der Person-Gegenstands-Theorie als Kognitionen, Emotionen und motivationale Zustände, die aus der Auseinandersetzung der Person mit einem (fachspezifischen) Gegenstand entstehen. Die einzelnen Items der beiden Skalen bestehen aus Aussagesätzen, die auf einer vierstufigen Likert-Skala mit den Skalenpunkten „trifft nicht zu“ (1), „trifft etwas zu“ (2), „trifft ziemlich zu“ (3) und „trifft voll zu“ (4) bewertet werden sollen. Die genauen Items finden sich im Gesamtfragebogen (siehe Anhang A). Die ersten neun Items sollen das chemiespezifische Selbstkonzept erfassen, die nächsten acht Items das Chemieinteresse.

Einige Items der beiden Skalen sind negativ formuliert, die Antwortskalen wurden daher zunächst entsprechend umkodiert (die betreffenden Items sind in Anhang B Tabelle 1 und 2 angegeben). Insgesamt fehlte in der Skala zum chemiespezifischen Selbstkonzept bei einer Person in einem Item ein Wert, in der Skala zum Chemieinteresse fehlte bei zwei Personen bei jeweils einem Item ein Wert. Diese drei fehlenden Werte wurden mit Hilfe der benachbarten Itemwerte der jeweiligen Person durch eine Interpolation der umliegenden Items ersetzt. Itemanalysen (siehe Anhang C, Tabelle 1 und 2) ergaben für beide Skalen eine ausreichende Schwankung der Itemschwierigkeiten, wobei keines der verwendeten Items als zu schwierig oder zu leicht eingestuft wurde. Nachdem aus der Interessenskala ein Item eliminiert wurde, sind die Trennschärfekennwerte für beide Skalen als gut zu bewerten. Sie schwanken für die Selbstkonzept-Skala zwischen $r_{it} = .50$ und $r_{it} = .79$ und für die Interessen-Skala zwischen $r_{it} = .51$ und $r_{it} = .75$. Auch die internen Konsistenzen sind als gut zu bewerten. Die Summen der Items der jeweiligen Skalen bilden die Skalengesamtwerte. Die Kennwerte für beide Skalen sind in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7: Kennwerte der Skalen zum chemiespezifischen Selbstkonzept und zum Chemieinteresse

| Skala | Variablenname | N | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|----------------------------------|---------------|-----|------------|-------|------|-----|-----|--------------------|
| Chemiespezifisches Selbstkonzept | SELBTSKO | 131 | 9 | 23.31 | 6.30 | 11 | 36 | .91 |
| Chemieinteresse | INTERESS | 131 | 7 | 15.26 | 4.87 | 7 | 28 | .86 |

8.1.2.3 Textbezogenes metakognitives Wissen

Zur Erfassung des textbezogenen metakognitiven Wissens wurde ein Test von Schneider und Schlagmüller (2004b) eingesetzt. Die Messung von textbezogenem metakognitiven Wissen wurde als eine Operationalisierung von allgemeinerem, domänengenerelleren metakognitiven Wissen angesehen. Dies begründet sich darin, dass metakognitives Wissen über die Verarbeitung von Texten schon früh in der Entwicklung erworben wird und in den verschiedensten Domänen seine Anwendung findet (Schlagmüller et al., 2001).

Im Metagedächtnistest für Lesestrategien von Schneider und Schlagmüller (2004b) werden sechs konkrete Lernsituationen vorgegeben. Zu jeder der vorgegebenen Situationen werden mehrere Strategien genannt, die mit Schulnoten bewertet werden sollen. Zuvor wurde für diese Strategien von Experten eine Rangordnung festgelegt. Die Auswertung erfolgt über Quasi-Paarvergleiche. Für eine Bewertung der schlechteren Alternative mit einer schlechteren Noten gibt es 1 Punkt. Wurden beide Alternativen gleich gut bewertet gibt es 0,5 Punkte, ansonsten 0 Punkte. Auf diese Weise werden alle möglichen Paare für jede der vorgegebenen Lernsituationen untereinander verglichen und hieraus eine Skala gebildet. Bei den Bewertungen der Strategien durch die Schüler fehlten insgesamt 10 Bewertungen. Diese fehlenden Werte gingen jedoch auf unterschiedliche Schüler zurück. Paarvergleiche, bei denen ein Wert fehlte, wurden mit 0 Punkten bewertet. Diese leichte Unterschätzung der Leistung der Schüler mit fehlenden Werten wurde in Kauf genommen, da 10 fehlende Werte bei insgesamt 4192 Datenpunkten (131 Schülern x 32 Lernstrategienbewertungen) als geringfügig eingeschätzt wurden.

Schneider und Schlagmüller (2004b) übermittelten den Test in der Fassung, die auch in PISA 2003 verwendet wurde, samt einer Auswertungssyntax. Der in der zweiten Person formulierte Test wurde in die dritte Person übertragen, da Elftklässler in der Schule üblicherweise gesiezt werden. Der gesamte Test findet sich in Anhang A.

Mit Hilfe der Auswertungssyntax wurden die Quasi-Paarvergleiche für die vorliegende Stichprobe berechnet. Die Autoren geben selbst eine Cronbach-Alpha-Reliabilität von $\alpha = .89$ an (Schneider & Schlagmüller, 2004a). Auch in der vorliegenden Stichprobe wurden die 40 von den Autoren in der Auswertungssyntax angegebenen Paarvergleiche zu einer Skala zusammengefügt. Diese Skala erreicht in der vorliegenden Untersuchung die gleiche, als gut zu bewertende, interne Konsistenz ($\alpha = .89$) wie bei den Autoren. Weiterhin wurde auch eine eigene Itemanalyse durchgeführt, die jedoch zu ähnlichen Ergebnissen kam. Daher wurde der schon von Schneider und Schlagmüller (Schneider & Schlagmüller, 2004a; Schneider & Schlagmüller, 2004b) dokumentierten Kombination von Items der Vorzug gegeben. Die genauen Kennwerte der Itemanalysen

finden sich in Anhang C, Tabelle 3. Ein Überblick über die Kennwerte der Skala in der vorliegenden Stichprobe ist in Tabelle 8 gegeben.

Tabelle 8: Kennwerte der Skalen zum textbezogenen metakognitiven Wissen und Interesse

| Skala | Variablenname | N | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|-------------------------------------|---------------|-----|------------|-------|------|-----|-----|--------------------|
| Textbezogenes metakognitives Wissen | METASCOR | 131 | 40 | 32.47 | 5.62 | 11 | 40 | .89 |

8.1.2.4 Chemiespezifisches metakognitives Wissen

Der Fragebogen zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen wurde im Rahmen der hier vorgestellten Studien selbst entwickelt und erprobt. Er stellt eine analoge Entwicklung zu dem Metagedächtnistest für Mathematik von Artelt (Ramm et al., 2006) und dem Metagedächtnistest für Textverständnis von Schneider und Schlagmüller (Ramm et al., 2006; Schneider & Schlagmüller, 2004b) dar. In diesen Tests werden die Schüler mit möglichst realistischen Aufgabensituationen konfrontiert und sollen dann verschiedene vorgegebene Vorgehensweisen mit Schulnoten bewerten.

Zunächst sammelte die Verfasserin zusammen mit einer Chemiedidaktikerin des IPN (Koch, 2005) Situationen, die ähnlich wie die Aufgabensituationen in den beiden in PISA verwendeten Metagedächtnistests dem Erfahrungshintergrund der zu befragenden Lerner nahe kommen sollten¹. Dabei sollten die Situationen nicht unbedingt schon von der Fragebogen-Zielgruppe erlebt worden sein. Sie sollten aber so angelegt sein, dass die Lerner sie sich gut vorstellen und dementsprechend auch angeben können, wie sie in einer solchen Situation vorgehen würden. Es wurde angestrebt, die theoretisch postulierten Bereiche metakognitiven Wissens in der Chemie aus Abschnitt 4.1 mit diesen Aufgabensituationen abzudecken. Die Zuordnung der Aufgabensituationen des Fragebogens zu diesen Bereichen findet sich in Tabelle 9, der vollständige Fragebogen findet sich in Anhang A.

In einem weiteren Schritt wurden nun wieder von Koch und der Verfasserin zusammen „Vorgehensweisen“ oder metakognitive Strategien verschiedener Güte für jede der Aufgabensituationen entwickelt. Die Entwicklung dieser Antwortalternativen entstand zum einen auf Grund eigener Überlegungen und wurde zum anderen durch Ergebnisse einer Vorstudie unterstützt.

¹ Hier sei auch die Unterstützung durch die gesamte Abteilung für Chemiedidaktik des IPN bei der Entwicklung dieses Tests erwähnt. In einem Forschungskolloquium brachten die Mitarbeiter vielfältige, kreative Vorschläge für die Testentwicklung ein, die teilweise aufgenommen wurden.

Tabelle 9: Zuordnung der Aufgabensituationen des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstest zu den theoretisch postulierten Bereichen des metakognitiven Wissens

| Bereich metakognitiven Wissens | Aufgabe/n des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Urteils-/Bewertungsstrategien | Aufgabe 1 |
| Hypothesen generieren | Aufgabe 2, Aufgabe 4, Aufgabe 9 |
| Planen von Experimenten | Aufgabe 4, Aufgabe 8, Aufgabe 9 |
| Durchführung von Experimenten (Befolgen eines Plans) | Aufgabe 5, Aufgabe 7 |
| Auswertung eines Experiments/Interpretation von Ergebnissen | Aufgabe 2, Aufgabe 6, Aufgabe 7 |
| Umgang mit unerwarteten oder kontraintuitiven Sachverhalten und „Fehlern“ | Aufgabe 2, Aufgabe 6, Aufgabe 7 |
| Lernen mit Modellzeichnungen, Visualisierungen | Aufgabe 3 |

In dieser Vorstudie wurden die ersten sieben entwickelten Aufgaben 27 Schülern des 11. und 13. Jahrgangs vorgelegt und gefragt, wie sie in einer solchen Situation weiter vorgehen würden. Die gegebenen Antworten flossen auf zwei unterschiedlichen Wegen in die Entwicklung der Antwortalternativen ein. Zum einen wurden adäquat erscheinende Antworten genutzt, um möglichst schülergerechte „gute“ Antwortalternativen zu formulieren. Zum anderen wurden nicht so adäquat erscheinende Strategien der Schüler genutzt, um weniger gute Antwortalternativen zu entwickeln. Beispiele für Schülerantworten aus dieser Vorstudie sind in Anhang B angegeben.

In einem nächsten Schritt sollte die Bewertung der Antwortalternativen durch eine Expertenbeurteilung abgesichert werden. Es wurde eine Testform erstellt, die insgesamt acht Aufgaben (in der Zwischenzeit wurde eine achte Aufgabe entwickelt) mit jeweils vier bis sechs Antwortvorschlägen enthielt, die durch Notenvergabe bewertet werden sollten. Diese Testform wurde insgesamt 17 Experten vorgelegt, die alle Mitarbeiter des IPN waren. Das Expertentum dieser 17 Mitarbeiter beruht darauf, dass sie fachlich entweder einen chemiedidaktischen oder einen pädagogisch-psychologischen Hintergrund haben. Eine später entwickelte neunte Aufgabe wurde an die Experten nachgereicht, wobei diese Aufgabe dann auf Grund von Rücklaufschwierigkeiten nur noch von zehn Experten beurteilt wurde.

Bei einer Auswertung mittels Quasi-Paarvergleichen wären theoretisch sechs Paarvergleiche bei Aufgaben mit vier Antwortalternativen (eine Aufgabe), zehn Paarvergleiche bei Aufgaben mit fünf Antwortalternativen (drei Aufgaben) und fünfzehn Paarvergleiche bei Aufgaben mit sechs Antwortalternativen (fünf Aufgaben) möglich. Daraus resultiert eine Gesamtanzahl theoretisch möglicher Paarvergleiche von

111. Die Auswertung des Expertenratings ergab jedoch, dass manche Antwortalternativen nicht in eine eindeutige Rangreihenfolge gebracht werden konnten. Daher wurden die Rangreihenfolgen der Antworten solange modifiziert, bis sie möglichst gut auf die Daten des Expertenratings passten.

Das hieraus entstandene Ranking der Antwortalternativen, aus dem insgesamt 85 Quasi-Paarvergleiche resultieren, lautet wie folgt :

Aufgabe 1: 1 = c,d,e 2 = f,b 3 = a (11 Quasi-Paarvergleiche)

Aufgabe 2: 1 = d 2 = b,e 3 = a,c,f (11 Quasi-Paarvergleiche)

Aufgabe 3: 1 = a,b,c,f 2 = d 3 = e (9 Quasi-Paarvergleiche)

Aufgabe 4: 1 = c 2 = a 3 = b,e 4 = d (9 Quasi-Paarvergleiche)

Aufgabe 5: 1 = c 2 = a 3 = d 4 = b (6 Quasi-Paarvergleiche)

Aufgabe 6: 1 = a,d,f 2 = b 3 = c,e (11 Quasi-Paarvergleiche)

Aufgabe 7: 1 = e 2 = a,d,f 3 = b,c (11 Quasi-Paarvergleiche)

Aufgabe 8: 1 = e 2 = a 3 = c,d 4 = b (9 Quasi-Paarvergleiche)

Aufgabe 9: 1 = a,c 2 = b 3 = d,e (8 Quasi-Paarvergleiche)

Für jeden Vergleich zweier Antworten, die diesem Ranking entsprachen, wurde der Quasi-Paarvergleich mit 1 bewertet. Wenn ein Experte die beiden Antwortvorschläge als gleich gut beurteilt hatte, wurde ein halber Punkt vergeben und kein Punkt, wenn die nach dem Ranking bessere Antwort von dem Experten für schlechter gehalten wurde. Die Häufigkeitsverteilung der Experten auf diese Punktwerte ist in Anhang C, Tabelle 5, angegeben. Auch bei Zugrundelegung dieses Rankings mussten, nach Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der Experten auf die Punktwerte, noch sechs der Quasi-Paarvergleiche ausgeschlossen werden, da das Rating dieser Vergleiche durch die Experten nicht eindeutig genug ausfiel. In Anhang C, Tabelle 4, sind alle Quasi-Paarvergleiche angegeben, die aus dem Ranking resultieren. Diejenigen Quasi-Paarvergleiche, die auf Grund der Ergebnisse des Expertenratings ausgeschlossen wurden, sind gekennzeichnet. Als Kriterium für die weitere Verwendung eines Paarvergleichs auf Grund des Expertenratings wurde festgelegt, dass mindestens 12 der 17 Experten (das entspricht 70,6%), bzw. 7 der 10 Experten (70%) bei Aufgabe 9, den Paarvergleich in der im Ranking vorgegebenen Weise bewertet haben, also einen Punktwert von 1 erreicht haben müssen, damit dieser noch in die weitere Auswertung eingehen kann.

In einem weiteren Schritt wurden Itemanalysen der verbliebenen Quasi-Paarvergleiche durchgeführt. In mehreren Analyseschritten wurden jeweils diejenigen Items (insgesamt

15) ausgeschlossen, die eine Trennschärfe unter $r_{it} = .15$ aufwiesen (siehe Anhang C, Tabelle 4). So reduzierten sich die verwertbaren Quasi-Paarvergleiche von 79 auf 62. Mit den neun fehlenden Werten des Datensatzes für diesen Test wurde genauso verfahren, wie beim textbezogenen Metawissenstest beschrieben. Die Kennwerte der resultierenden Skala chemiespezifischen metakognitiven Wissens sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Kennwerte der Skala zum chemiespezifischem metakognitiven Wissen

| Skala | Variablenname | N | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|------------------------------------------|---------------|-----|------------|-------|------|-----|-----|--------------------|
| Chemiespezifisches metakognitives Wissen | METACHEM | 131 | 62 | 42.92 | 8.32 | 19 | 57 | .89 |

8.1.2.5 Wissenstest Chemie

Als Kriterium für die Untersuchung der Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests sollte das chemische Wissen der Schüler erhoben werden. Bei der Auswahl eines solchen Wissenstests für die vorliegende Fragebogenstudie mussten die unterschiedlichsten Anforderungen beachtet werden. Zum einen sollten die chemischen Fähigkeiten möglichst breit erhoben werden, zum anderen sollte der Wissenstest weitestgehend unbeeinflussbar von gerade im Unterricht behandelten Themen sein, da eine Standardisierung des Unterrichtsgeschehens in den verschiedenen Klassen nicht gegeben war. Weiterhin sollte der Wissenstest einen möglichst breiten Fähigkeitsbereich messen können. Auf der Suche nach passenden Items für einen Test, der ein solches chemisches Grundwissen misst, zog die Verfasserin die internationalen Schulleistungsstudien TIMSS II und PISA heran. In diesen Studien wurden Fähigkeitstests bezüglich des Chemiewissens in den Klassenstufen 7, 8 (TIMSS II), 9 und teilweise 10 (PISA) durchgeführt, d. h. mit Schülern, die ca. zwei bis vier Jahre jünger waren als die Teilnehmer der vorliegenden Studie. Jedoch erschien eine Erhebung von Mittelstufenwissen auf den zweiten Blick als durchaus sinnvoll, da dieses durch den aktuellen Unterricht der elften Jahrgangsstufe eher unbeeinflusst ist und das schon erworbene Grundwissen der Chemie darstellt, auf dem der Unterricht der Oberstufe aufbaut. Dennoch wurden aus dem TIMSS-Test (Baumert et al., 1998) gezielt diejenigen Aufgaben ausgewählt, die in der TIMS-Studie bei achten Klassen eine besonders hohe Schwierigkeit (also einen niedrigen Schwierigkeitsindex) aufwiesen. Da von den chemisch orientierten PISA-Aufgaben (in PISA werden die Naturwissenschaften als Ganzes untersucht) zum Zeitpunkt der Untersuchungsplanung nur die Aufgabe „Ozon“ aus PISA 2000 freigegeben war, fiel die Auswahl auf diese Aufgabe, die ebenfalls in den Wissenstest miteinbezogen wurde (OECD Programme for International Student Assessment, 2001). Ergänzend wurden Aufgaben aus einem laufenden Promotionsprojekt von Christiansen aus der Abteilung für Chemiedidaktik

am IPN in den Wissenstest miteinbezogen (Christiansen, 2006). Der so zusammengestellte Wissenstest findet sich in Anhang A.

Bei der Auswertung der offenen Antworten des Wissenstests wurden die Vorgaben aus TIMSS, PISA und von Christiansen bezüglich ihrer Promotionsstudie genau beachtet (Christiansen, 2006; OECD Programme for International Student Assessment, 2001; Third International Mathematics and Science Study (TIMSS), 1995). Eigene Studien bezüglich der Interraterreliabilität der Auswertung der offenen Antworten wurden nicht durchgeführt, da Anstrengungen zur Sicherung der Auswertungsobjektivität schon im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchungen unternommen wurden, aus denen die Items ursprünglich stammen. Die vorliegenden Kodiervorgaben wurden von der Verfasserin eingehalten.

Items mit fehlenden Antworten wurden mit Null bewertet. Dieses Vorgehen schien berechtigt, da kein in die Auswertung einbezogener Schüler die Testbearbeitung ganz abbrach und somit keine weiteren Items des Fragebogens mehr bearbeitete. Der Wissenstest weist nach dem Ausschluss von 5 Items mit zu hoher oder geringer Schwierigkeit bzw. zu geringer Trennschärfe eine interne Konsistenz von $\alpha = .68$ auf (siehe Tabelle 11 und Anhang C, Tabelle 5). Diese interne Konsistenz kann für Forschungszwecke noch als ausreichend bewertet werden. Die Möglichkeit der Aufteilung der Testitems auf mehrere Faktoren wurde nach einer Hauptkomponentenanalyse verworfen, in der ein starker Abfall der Eigenwerte zwischen dem ersten und dem zweiten Faktor beobachtet werden konnte, was für eine einfaktorielle Struktur des Tests spricht.

Tabelle 11: Kennwerte des Wissenstests Chemie

| Skala | Variablenname | N | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|--------------------|---------------|-----|------------|------|------|-----|-----|--------------------|
| Wissenstest Chemie | CHEMWIS | 131 | 15 | 9.21 | 2.97 | 1 | 15 | .68 |

8.1.2.6 Problemlösetest

Mit dem Einsatz eines Problemlösetests in der vorliegenden Studie soll das fächerübergreifende Kriterium Problemlösefähigkeit operationalisiert werden. Als Indikator für die allgemeine Problemlösefähigkeit wurde ein Set von Aufgaben aus den Problemlösetestheften aus PISA 2003 verwendet, da sie an einer großen Stichprobe erfolgreich erprobt wurden und die Problemlösefähigkeit mit alltagsnahen, recht motivierenden Aufgaben messen. Ein Problem ergibt sich, ähnlich wie beim Chemie-Wissenstest, daraus, dass die Testaufgaben für die Gruppe der 15-jährigen konzipiert wurde, für Schüler also, die im Mittel ca. zwei Jahre jünger sind als die Schüler der untersuchten Stichprobe. Um diesem Problem Rechnung zu tragen, wurde wieder

angestrebt, Aufgaben auszuwählen, die in der PISA-Stichprobe eine hohe Schwierigkeit aufwiesen.

Die in PISA 2003 einmalig international verwendeten Problemlöse-Aufgaben erfordern die „Anwendung von Denkstrategien allgemeinerer Art (induktiv, deduktiv, analogiebasiert, kombinatorisch, metakognitiv, etc.) auf komplexe, fächerübergreifende Problemstellungen“ (IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, 2006). Kontexte der Aufgaben sind die Bereiche „Privater Bereich“, „Arbeit und Freizeit“ sowie „Lokale Umgebung und Schule“. Die Aufgaben beinhalten drei unterschiedliche Problemlösetypen: Entscheidungen treffen, Systeme analysieren und entwerfen sowie Fehlersuche.

Die Auswertung der offenen Antworten wurde mit Hilfe des „Marking-Guide“ der PISA-Studie durchgeführt (OECD Programme for International Student Assessment, 2003). Für die Itemanalyse und die Bildung des Skalengesamtwerts wurden die offenen Antworten, die mit 0, 1 und 2 bewertet werden konnten, in ein dichotomes Antwortformat mit 0 und 1 umkodiert (siehe Anhang C, Tabelle 6). Bei dieser Umkodierung wurden die Schwierigkeitsindizes der jeweiligen Items beachtet. Die neun verwendeten Problemlöse-Items weisen in dieser Stichprobe eine Cronbach-Reliabilität von $\alpha = .60$, was für die vorliegende Studie als gerade noch ausreichend bewertet wird. Die Kennwerte der gebildeten Skala finden sich in Tabelle 12, die Itemanalysen in Anhang C, Tabelle 6.

Tabelle 12: Kennwerte des Problemlösetests

| Skala | Variablenname | N | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|-----------------|---------------|-----|------------|------|------|-----|-----|--------------------|
| Problemlösetest | PROBLEM | 131 | 9 | 6.09 | 2.00 | 0 | 9 | .60 |

8.1.3 Auswertungsmethoden

Zur Auswertung werden im Wesentlichen gängige statistische Analysemethoden wie Korrelationen oder Regressionsanalysen angewendet. Für die Auswertung wurde das Datenanalyseprogramm SPSS 14 zu Hilfe genommen. Als etwas speziellere Methode wurde die Pfadanalyse auf Grundlage von Strukturgleichungsmodellen genutzt, deren Prinzipien und Modellgeltungsparameter im Folgenden kurz beschrieben werden sollen. Eine ausführliche Beschreibung von Methoden auf Grundlage von Strukturgleichungsmodellen bieten Bollen (1989) oder Kline (2005). Die Pfadanalyse wurde mit Hilfe von AMOS 6 berechnet, welches seit der Version 5 zum SPSS-Programmpaket gehört.

Unter dem Begriff „Strukturgleichungsmodelle“ werden eine Vielzahl von statistischen Verfahren wie Regressionsanalysen, Pfadanalysen oder konfirmatorische Faktorenanalysen zusammengefasst. Diese bekannteren statistischen Verfahren stellen

innerhalb der Strukturgleichungsmodelle Spezialfälle dar (Arbuckle & Wothke, 1999). Auf der Grundlage von Varianz-Kovarianz-Matrizen und Mittelwerten von empirisch erhobenen Variablen ermöglichen Strukturgleichungsmodelle, Aussagen über die „kausalen“ Beziehungen von Variablen zu treffen. Dieses Ziel einer Kausalinterpretation ist ein wichtiges Merkmal von Pfadanalysen im Gegensatz zu Regressionsanalysen. Es ist jedoch Vorsicht hinsichtlich der kausalen Interpretation von Pfaden geboten. Optimal für eine Kausalinterpretation wäre eine entsprechende zeitliche Abfolge der Erhebung von Variablen. Da eine solche zeitliche Strukturierung von Untersuchungen jedoch nur selten gegeben ist, ist eine gute theoretische Herleitung des Modells ratsam.

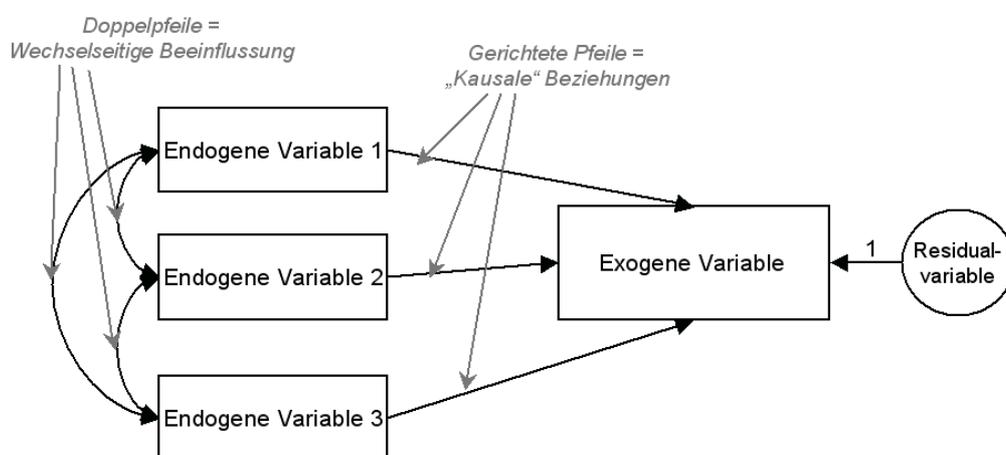


Abbildung 8: Grafische Darstellung von Pfadmodellen

Empirisch erhobene Variablen heißen in der Terminologie der Strukturgleichungsmodelle manifeste oder direkt beobachtete Variablen und werden mit Hilfe von Rechtecken dargestellt. Als manifeste Variablen werden in dieser Untersuchung Skalengesamtwerte eingesetzt und in einem Fall (Chemienote) auch ein Einzelitem. Als Gegenstück zu solchen manifesten Variablen können auch latente Variablen spezifiziert werden, die durch Ovale dargestellt werden und in Messmodellen mit den manifesten Variablen verbunden sind. Da in Pfadanalysen, wie sie in dieser Studie verwendet werden, jedoch nur manifeste Variablen enthalten sind, wird hierauf nicht weiter eingegangen. Die Variablen in einem Pfadmodell werden nun auf Grund theoretischer Überlegungen mit Pfeilen verbunden. Gerichtete Pfeile stehen für „kausale“ Beziehungen und Doppelpfeile für ungerichtete Zusammenhänge (Kovarianz oder Korrelation) zweier Variablen. Die Einflussvariablen des Pfadmodells werden exogene Variablen genannt, während alle Variablen, auf die ein Pfeil gerichtet ist, als endogene Variablen bezeichnet werden. In Strukturgleichungsmodellen und damit auch im Spezialfall der Pfadanalyse muss für jede endogene Variable eine Residual- oder

Fehlervariable spezifiziert werden. Die Pfade von dieser Residualvariablen zur exogenen Variable werden üblicherweise mit dem Regressionsgewicht 1 versehen. Die grafische Darstellung eines Pfadmodells und die Arten von Variablen sind in Abbildung 8 veranschaulicht. In dieser Abbildung ist eine multiple Regressionsgleichung dargestellt, die mathematisch als eine einzelne Linearkombination formuliert werden kann. Pfadmodelle können jedoch auch genutzt werden, um die Effekte mehrerer endogener Variablen auf mehrere exogene Variablen gleichzeitig zu berechnen und so Mehrgleichungssysteme mit mehreren Linearkombinationen zu berechnen.

In Abbildung 9 ist ein Pfaddiagramm dargestellt, für dessen mathematische Abbildung zwei Gleichungen notwendig sind.

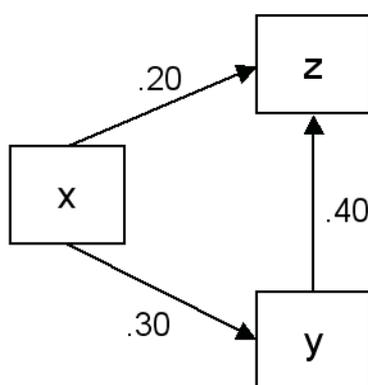


Abbildung 9: Pfadmodell mit zwei Gleichungen (ohne Residualvariablen)

Die beiden Regressionsgleichungen für dieses Beispiel lauten:

$$y = .30 \cdot x + \text{Residualvariable}$$

$$z = .20 \cdot x + .40 \cdot y + \text{Residualvariable}$$

Die Pfadkoeffizienten der Pfadanalyse entsprechen partiellen standardisierten Regressionsgewichten, die anhand der Korrelationsmatrix und eines Gleichungssystems ermittelt werden können (Bühner, 2006). Theoretisch wäre jedoch auch eine Bestimmung mit Hilfe der entsprechenden Regressionsgleichungen möglich (Backhaus, Erichson, Plinke & Weiber, 2000).

An dem Beispiel aus Abbildung 9 lassen sich auch die Begriffe indirekter, direkter und totaler Effekt illustrieren. Der direkte Effekt von x auf z beträgt in diesem Beispiel .20, während der indirekte Effekt von x auf z über die Variable y sich aus dem Produkt der Einzelpfade berechnen lässt, also $.30 \cdot .40 = .12$. Der totale Effekt berechnet sich nun aus der Summe des indirekten und direkten Effekts und würde in diesem Fall .32 betragen.

Da bei der praktischen Anwendung meist mehr Korrelationen oder Kovarianzen zur Verfügung stehen als Parameter geschätzt werden müssen (überidentifizierte Modelle mit einer positiven Anzahl von Freiheitsgraden), sind die angesprochenen Gleichungssysteme zur Errechnung der Parameter (z. B. Pfadkoeffizienten) nicht mehr eindeutig lösbar. Daher stehen in AMOS 6 verschiedene iterative Schätzverfahren zur Verfügung, von denen im Rahmen dieser Studie die ML (Maximum-Likelihood)-Schätzung verwendet werden soll, bei der die Wahrscheinlichkeit, dass die Daten auf das erzeugte Modell passen, maximiert wird.

Für die Beurteilung der Modellgüte stehen ein exakter Modellgütetest und approximative Fit-Indizes zur Verfügung (Bühner, 2006). Als exakter Test der Modellgüte ist der Chi-Quadrat-Test ein Maß für die Abweichung der empirischen Kovarianzen von den auf Grund des Modells geschätzten Kovarianzen. Da bei diesem Test die Nullhypothese besagt, dass die empirischen Kovarianzen den modelltheoretischen Kovarianzen entsprechen, muss der empirische p-Wert über dem gewählten Signifikanzniveau liegen, um eine Modellgeltung annehmen zu können. Voraussetzungen für den Chi-Quadrat-Test sind, dass die Kovarianz-Matrix Grundlage der Berechnung ist, multivariate Normalverteilung vorliegt und die Stichprobe groß genug ist. Eine ausreichend große Stichprobe ist laut Backhaus et al. (2000) schon ab $N = 100$ gegeben. Von einem guten Modell-Fit kann weiterhin ausgegangen werden, wenn der χ^2 -Wert im Verhältnis zu den Freiheitsgraden (χ^2 / df) möglichst klein wird, Backhaus et al. (2006) geben als Obergrenze 2.5 an.

Vor dem Hintergrund der relativ restriktiven Voraussetzungen des Chi-Quadrat-Tests stehen zusätzlich als approximative Modellgütekriterien die sogenannten Fit-Indizes zur Verfügung. In dieser Studie werden als Fit-Indizes der NFI, der CFI und der RMSEA verwendet. Der NFI (Normed-Fit-Index) und der CFI (Comparative-Fit-Index) sind sogenannte komparative Fit-Indizes, die einen Vergleich mit einem besonders schlecht passenden „Null“-Modell vornehmen. Im Gegensatz zum NFI berücksichtigt der CFI zusätzlich die Anzahl der Freiheitsgrade des Modells (Backhaus et al., 2006). Der NFI und der CFI schwanken zwischen 0 und 1, wobei Werte über .95 für einen guten Modellfit stehen (Bühner, 2006). Der RMSEA (Root-Mean-Square-Error of Approximation) betrachtet die Abweichung der beobachteten von der geschätzten Varianz-Kovarianzmatrix. Bei einer Stichprobe mit $N < 250$ signalisiert ein Wert $\leq .08$ einen guten Modellfit (Bühner, 2006).

Neben diesen Overall-Fit-Indizes können die einzelnen nichtstandardisierten Regressionsgewichte auf Signifikanz geprüft werden, indem die Prüfgröße C.R. (Critical Ratio) berechnet wird, die sich aus der Division des entsprechenden nichtstandardisierten Regressionsgewichts durch seinen Standardfehler ergibt. Diese Prüfgröße kann mit Hilfe des t-Tests auf Signifikanz geprüft werden (Backhaus et al., 2006).

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass mit den beschriebenen Gütemaßen Modelle identifiziert werden können, die relativ gut auf die Daten passen. Dieses bedeutet jedoch nicht, dass es nicht noch viele andere Modelle geben kann, die dieselben Daten genauso gut oder noch besser repräsentieren. Es kann daher mit Hilfe dieser Methode niemals ein einzig „wahres“, allgemeingültiges Modell für ein vermutetes theoretisches Konstrukt gefunden werden.

8.2 Ergebnisse

Da es sich um eine Studie mit korrelativem Charakter mit nur einem Messzeitpunkt handelt, werden in Tabelle 13 zunächst die Interkorrelationen der betrachteten Variablen berichtet. Für diese Interkorrelationen wurden Signifikanztests ohne Adjustierung des Alpha-Fehlers durchgeführt. Dieses begründet sich darin, dass im Folgenden nicht alle signifikanten Korrelationen auch interpretiert werden sollen, sondern vielmehr die empirischen Daten nur zur Überprüfung einiger weniger Hypothesen genutzt werden sollen. Die Darstellung der Interkorrelationstabelle erfolgt nur zur allgemeinen Orientierung des Lesers über die bivariaten Zusammenhänge der erhobenen Variablen.

Tabelle 13: Interkorrelationen der Variablen aus Studie I

| | CHEM- NOTE | DEU- NOTE | SELBST -KO | INTE- RESS | META- CHEM | META- SCOR | CHEM- WIS | PRO- BLEM |
|----------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| CHEMNOTE | 1 | .20* | .58** | .40** | .32** | .05 | .25** | .23** |
| DEUNOTE | | 1 | -.08 | -.04 | .27** | .06 | .13 | -.01 |
| SELBSTKO | | | 1 | .66** | .31** | .04 | .40** | .21* |
| INTERESS | | | | 1 | .43** | .21* | .44** | .22* |
| METACHEM | | | | | 1 | .47** | .42** | .21* |
| METASCOR | | | | | | 1 | .45** | .27** |
| CHEMWIS | | | | | | | 1 | .44** |
| PROBLEM | | | | | | | | 1 |

* $p < .05$, ** $p < .01$

8.2.1 Konkurrente Validität des entwickelten Tests zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen

Fragestellung 1.1 bezog sich auf die konkurrente Validität des entwickelten Tests zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen bezüglich des relativ proximalen Kriteriums Chemiewissen (Hypothese 1.1.1) und des etwas distaleren Kriteriums Problemlösefähigkeit (Hypothese 1.1.2). Die Feststellung der konkurrenten Validität eines Testwerts geschieht in der Regel durch den Bezug dieses Testwerts zu Kriterienwerten mit Hilfe der Berechnung von Korrelationen (Lienert & Raatz, 1994). Wie Tabelle 13 zu entnehmen ist, werden beide bivariaten Korrelationen signifikant, wobei die Korrelation zwischen chemiespezifischem metakognitiven Wissenstest (METACHEM) und dem Chemiewissen (CHEMWIS) mit $r = .42^{**}$ wesentlich deutlicher ausfällt als die Korrelation zwischen dem chemiespezifischen metakognitiven Wissenstest und der Problemlösefähigkeit (PROBLEM) mit $r = .21^*$. Die Hypothesen 1.1.1 (Zusammenhang von chemiespezifischem metakognitiven Wissen und Chemiewissen) und 1.1.2 (Zusammenhang von chemiespezifischem metakognitiven Wissen und Problemlösefähigkeit) können also bestätigt werden. Der vergleichsweise größere Zusammenhang des chemiespezifischen metakognitiven Wissens mit dem Chemiewissen als mit der Problemlösefähigkeit lässt sich dadurch erklären, dass das Chemiewissen als domänenspezifisches Kriterium eine größere Nähe zum untersuchten Testwert aufweist als die Problemlösefähigkeit, die ein allgemeines kognitives Kriterium darstellt.

8.2.2 Inkrementelle Validität des Tests zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen

Die zweite und ganz zentrale Fragestellung (Fragestellung 1.2) der ersten Studie ist die Frage nach der inkrementellen Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests. Verbessert der entwickelte Test die Vorhersage des nahen Kriteriums Chemiewissen noch über die Vorhersagekraft anderer Tests hinaus? Dies ist besonders interessant im Hinblick auf die vermuteten domänenspezifischen Anteile des metakognitiven Wissens. Die Hypothese 1.2.1 besagt, dass der positive Zusammenhang zwischen chemiespezifischem metakognitiven Wissen und Chemiewissen bestehen bleibt, wenn der Einfluss allgemeinerer metakognitiver Fähigkeiten (hier operationalisiert als textbezogenes metakognitives Wissen) eliminiert wird. Die Hypothesen 1.2.2 und 1.2.3 lauten entsprechend, nur dass hier der Einfluss der Problemlösefähigkeit (Hypothese 1.2.2) und der Problemlösefähigkeit zusammen mit den allgemeinen metakognitiven Fähigkeiten (Hypothese 1.2.3) eliminiert werden soll

Zur Überprüfung dieser Hypothesen zur inkrementellen Validität wurden zunächst Partialkorrelationen verwendet, in denen der Einfluss domänenübergreifender Prädiktoren für das Chemiewissen wie textbezogenes metakognitives Wissen (METASCOR) und Problemlösefähigkeit (PROBLEM) eliminiert wurde. Veenman, Elshout und Meijer (1997) wählten dieselbe Auswertungsmethode in einer verwandten Fragestellung (siehe Abschnitt 3.3).

Die berechneten Partialkorrelationen in Tabelle 14 zeigen an, dass der Zusammenhang zwischen dem chemiespezifischen metakognitiven Wissenstest und dem Chemiewissen nach Herausparsialisierung anderer Prädiktoren zwar abfällt, dass aber ein substantieller, signifikanter Zusammenhang bestehen bleibt. Dieser signifikante Zusammenhang von $r = .24$ entspricht einer inkrementellen Varianzaufklärung von 5.86% durch chemiespezifisches metakognitives Wissen, wenn die Einflüsse der Problemlösefähigkeit und des textbezogenen metakognitiven Wissen eliminiert werden.

Tabelle 14: Partialkorrelationen des chemiespezifischen metakognitiven Wissens mit dem Chemiewissen unter Ausschluss des Einflusses der Variablen textbezogenes metakognitives Wissen und Problemlösefähigkeit

| Partialkorrelation | |
|-------------------------------------------------------------|-------|
| $r_{\text{METACHEM,CHEMWIS} \cdot \text{METASCOR}}$ | .26** |
| $r_{\text{METACHEM,CHEMWIS} \cdot \text{PROBLEM}}$ | .37** |
| $r_{\text{METACHEM,CHEMWIS} \cdot \text{METASCOR,PROBLEM}}$ | .24** |

** $p < .01$

Am stärksten sinkt die Korrelation durch die Kontrolle des Einflusses des textbezogenen metakognitiven Wissens (von $r = .42$ auf $r = .26$). Durch die Eliminierung des Einflusses des Problemlösetests sinkt die Korrelation hingegen nur um .05 von $r = .42$ auf $r = .37$. Die zusätzliche Herausparsialisierung des Problemlösetests neben dem Ausschluss des Einflusses des textbezogenen metakognitiven Wissens senkt die Korrelation nur um weitere .02, so dass eine signifikante Korrelation von $r = .24$ bestehen bleibt. Dies spricht dafür, dass der chemiespezifische metakognitive Wissenstest hauptsächlich Varianzanteile des Kriteriums Chemiewissen aufklärt, die sich von denen des Problemlösetests unterscheiden, während die beiden metakognitiven Wissenstests einen stärkeren gemeinsamen Varianzanteil aufklären.

Der chemiespezifische metakognitive Wissenstest gleicht dem textbezogenen metakognitiven Wissenstest hinsichtlich seiner prädiktiven Validität also mehr als dem Problemlösetest. Das spricht dafür, dass die metakognitiven Wissenstests ähnlichere Fähigkeiten messen als der verwendete Problemlösetest.

Eine andere Methode zur Feststellung der inkrementellen Validität eines Tests wurde in einer einflussreichen Metaanalyse über Personalauswahlverfahren von Schmidt und Hunter (1998) verwendet. Sie schlagen als Methode eine hierarchische Regressionsanalyse vor. Bei dieser regressionsanalytischen Methode werden die einzelnen Prädiktoren schrittweise in einer durch den Forscher vorgegebenen Reihenfolge in die Regressionsgleichung einbezogen (Hays, 1995).

Tabelle 15: Die inkrementelle konkurrente Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests (METACHEM) bezüglich des Kriteriums Chemiewissen bei Anwendung von hierarchischen Regressionsanalysen

| Prädiktoren | Validität (r) | Multiple Korrelation (R) | Validitätszuwachs durch die Ergänzung | Prozentzuwachs an Validität | Determinationskoeffizient (R^2) | R^2 -Zuwachs durch die Ergänzung | R^2 -Prozentzuwachs | Standardisiertes Regressionsgewicht (β) |
|-------------|---------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|
| METASCOR | .45 | | | | .20 | | | .33** |
| METACHEM | .42 | .51 | .06 | 13% | .26 | .06 | 30% | .26** |
| PROBLEM | .44 | | | | .20 | | | .37** |
| METACHEM | .42 | .55 | .11 | 25% | .31 | .11 | 55% | .34** |
| METASCOR | .45 | | | | .20 | | | .26** |
| PROBLEM | .44 | .56 | .11 | 24% | .32 | .12 | 60% | .33** |
| METACHEM | .42 | .60 | .04 | 7% | .36 | .04 | 13% | .23** |

** $p < .01$

Solche hierarchischen Regressionsanalysen wurden auch mit den vorliegenden Daten berechnet. Im vorliegenden Fall wurde in der ersten Regressionsanalyse als erster Prädiktor das textbezogene metakognitive Wissen in die Regressionsgleichung eingeschlossen und anschließend durch das chemiespezifische metakognitive Wissen ergänzt. Schmidt und Hunter (1998) merken an, dass der prozentuale Zuwachs an Validität auch gleichzeitig der prozentuale Zuwachs an Nutzen oder praktischem Wert ist. Dieser prozentuale Zuwachs beträgt bei einer Kombination mit dem textbezogenen metakognitiven Wissen 13% (siehe Tabelle 15). Der entwickelte Test zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen hat also einen bedeutenden praktischen Wert, der über den eines eher domänengenerellen Verfahrens zur Messung metakognitiven Wissens hinausgeht. Setzt man den chemiespezifischen metakognitiven Wissenstest zusätzlich zu dem allgemeinen kognitiven Prädiktor Problemlösefähigkeit ein, so ergibt sich sogar ein Validitätszuwachs um 25%. Dieser Zuwachs zeigt an, dass der Test einen erheblichen zusätzlichen Nutzen in Bezug auf einen solchen allgemeinen kognitiven Prädiktor hat. Die inkrementelle Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests verringert sich dagegen deutlich, wenn das textbezogene

metakognitive Wissen und die Problemlösefähigkeit als Prädiktoren kombiniert werden und das chemiespezifische metakognitive Wissen als dritter Prädiktor in die Regressionsgleichung eingeführt wird: Dieser trägt dann nur noch 7% zur Validitätssteigerung bei. Diese Validitätssteigerung spricht jedoch immer noch für einen gewissen praktischen Wert des domänenspezifischen Verfahrens. In Tabelle 15 sind zusätzlich zur Validität (r) auch die Determinationskoeffizienten (R^2) und die entsprechenden Zuwächse des Determinationskoeffizienten durch die zusätzliche Aufnahme des chemiespezifischen metakognitiven Wissens als Prädiktor angegeben, da Bortz (1999) die Zunahme des Determinationskoeffizienten als Maß für die „Nützlichkeit“ eines Tests vorschlägt. Determinationskoeffizienten können als Anteil der aufgeklärten Varianz des Kriteriums durch die Prädiktoren interpretiert werden.

8.2.3 Einflussfaktoren auf das chemiespezifische metakognitive Wissen

In der Hypothese 1.3 wurde angenommen, dass die Variablen Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept und Vorwissen in Chemie prädiktiv sind für das chemiespezifische metakognitive Wissen. Ob die angenommenen Einflussfaktoren tatsächlich das chemiespezifische metakognitive Wissen beeinflussen, soll mit Hilfe hierarchischen multiplen Regressionsanalyse empirisch überprüft werden. Die hierarchische Einschluss-Methode wurde auf Grund der aus dem Erwartungs-Wert-Modell von Eccles und Wigfield angenommenen Reihenfolge der Wirkung der Einflussfaktoren gewählt. Die Regressionsmodelle dieses Ansatzes sind in Tabelle 16 dargestellt. Im ersten Regressionsmodell der hierarchischen Regression werden 10% der Varianz der abhängigen Variable chemiespezifisches metakognitives Wissen durch das Vorwissen in Chemie aufgeklärt ($R^2 = .10$; $R^2_{\text{adj.}} = .10$; $F(1,129) = 14.75$; $p < .001$). Diese Varianzaufklärung steigert sich nur leicht auf 12%, wenn man das chemiespezifische Selbstkonzept als Prädiktor hinzunimmt ($R^2 = .12$; $R^2_{\text{adj.}} = .11$; $F(2,128) = 9.09$; $p < .001$). Das Regressionsgewicht des chemiespezifischen Selbstkonzeptes wird in diesem zweiten Regressionsmodell nicht signifikant. Im dritten Regressionsmodell aus Tabelle 16 zeigen die beiden Prädiktoren Chemieinteresse und Chemienote als Operationalisierung des Vorwissens in Chemie einen signifikanten Einfluss auf das Kriterium, während das chemiespezifische Selbstkonzept ein leicht negatives, jedoch nicht signifikantes, standardisiertes Regressionsgewicht aufweist ($R^2 = .21$; $R^2_{\text{adj.}} = .19$; $F(3,127) = 11.31$; $p < .001$).

Tabelle 16: Unstandardisierte und standardisierte Regressionsgewichte samt Signifikanztests für die hierarchischen Regressionsmodelle zur Vorhersage des Kriteriums chemiespezifisches metakognitives Wissen

| Prädiktoren | Unstandardisiertes Regressionsgewicht (B) | Standardschätzfehler (SE B) | Standardisiertes Regressionsgewicht (β) | t (127) | p = |
|-------------|-------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|---------|---------|
| CHEMNOTE | .95 | .25 | .32 | 3.84 | <.001** |
| CHEMNOTE | .64 | .30 | .22 | 2.12 | .04* |
| SELBSTKO | .24 | .13 | .18 | 1.78 | .08 |
| CHEMNOTE | .62 | .29 | .21 | 2.14 | .03* |
| SELBSTKO | -.10 | .16 | -.08 | -.64 | .53 |
| INTERESS | .67 | .18 | .39 | 3.73 | <.001** |

** p < .05, * p < .01

Diese Ergebnisse lassen sich durch die Multikollinearität der Prädiktoren erklären. Multikollinearität ist laut Bortz (1999) als die wechselseitige, lineare Abhängigkeit von Variablen im Kontext multivariater Verfahren definiert. Das chemiespezifische Selbstkonzept ist mit den beiden anderen Prädiktorvariablen hoch korreliert. Es ist zu vermuten, dass der gefundene Zusammenhang des chemiespezifischen Selbstkonzepts mit dem chemiespezifischen metakognitiven Wissen ($r = .31^{**}$) teilweise durch gemeinsame Varianzanteile mit den Einflussvariablen Vorwissen in Chemie und Chemieinteresse vermittelt wird. Wird die Variable chemiespezifisches Selbstkonzept nicht in das Regressionsmodell miteinbezogen ($R^2 = .21$; $R^2_{adj.} = .20$; $F(2,128) = 16.84$; $p < .001$), so verschlechtert sich der korrigierte Determinationskoeffizient ($R^2_{adj.}$) nicht². Dies weist darauf hin, dass die im Prädiktor chemiespezifisches Selbstkonzept enthaltenen Informationen redundant sind mit den Informationen, die schon in den Variablen Vorwissen in Chemie und Chemieinteresse enthalten sind (vgl. Bortz, 1999). Die leicht veränderten Regressionskoeffizienten des Regressionsmodells ohne chemiespezifisches Selbstkonzept als unabhängige Variable sind in Tabelle 17 dargestellt.

² Es wird an dieser Stelle der korrigierte Determinationskoeffizient verglichen, da der unkorrigierte Determinationskoeffizient in seiner Höhe durch die Anzahl der Prädiktoren beeinflusst wird (Backhaus et al., 2006).

Tabelle 17: Unstandardisierte und standardisierte Regressionsgewichte und Signifikanztests für das modifizierte Regressionsmodell zur Vorhersage des Kriteriums chemiespezifisches metakognitives Wissen

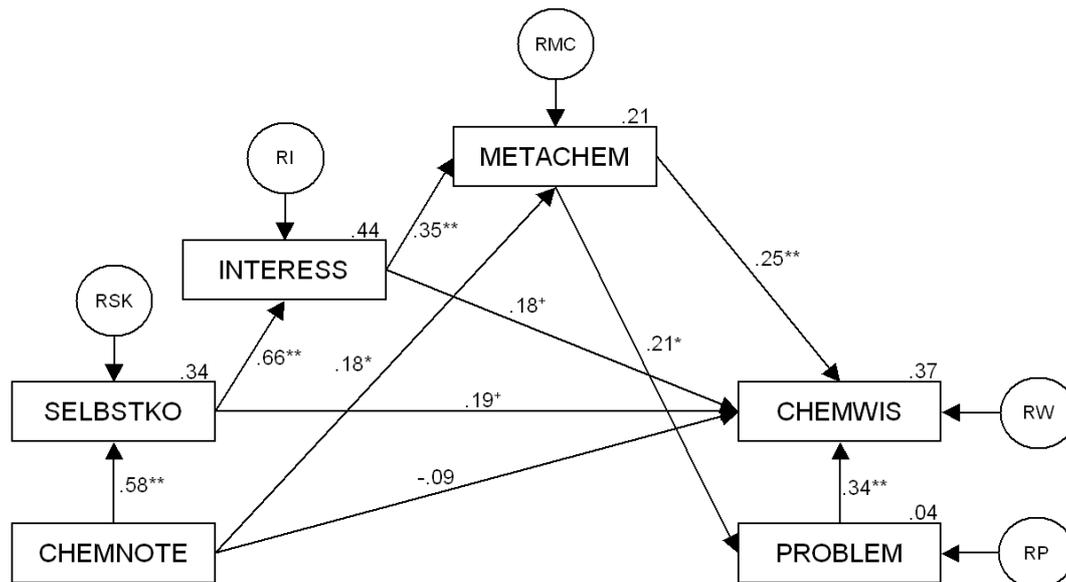
| Prädiktoren | Unstandardisiertes Regressionsgewicht (B) | Standardschätzfehler (SE B) | Standardisiertes Regressionsgewicht (β) | t (128) | p = |
|-------------|-------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|---------|---------|
| CHEMNOTE | .53 | .26 | .18 | 2.09 | .04* |
| INTERESS | .61 | .15 | .36 | 4.14 | <.001** |

** p < .05, * p < .01

8.2.4 Pfadanalyse über das Modell der chemiespezifischen Metakognition

Das in Abschnitt 4.3 aufgestellte Modell der chemiespezifischen Metakognition soll entsprechend der Hypothese 1.4 empirisch überprüft werden. Diese empirische Überprüfung wurde mit Hilfe einer Pfadanalyse durchgeführt (siehe Abschnitt 8.1.3 für eine nähere Beschreibung der Auswertungsmethode).

Für die Pfadanalyse wurden die im Modell der chemiespezifischen Metakognition theoretisch erwarteten Wirkungszusammenhänge mit Hilfe der operationalisierten Variablen in ein Pfadmodell umgesetzt (siehe Abbildung 10). In dem für die Pfadanalyse spezifizierten Modell sind Pfade von den chemiespezifischen Einflussvariablen zum Chemiewissen eingezeichnet, die im theoretischen Modell in Abschnitt 4.3, Abbildung 7 nicht explizit beschrieben wurden, da hier die chemiespezifische Metakognition im Mittelpunkt stand. Theoretische Überlegungen zu Zusammenhängen zwischen den erhobenen fachspezifischen motivationalen und kognitiven Variablen und dem fachspezifischen Wissen unterstützen jedoch die Berücksichtigung der entsprechenden Pfade deutlich (siehe auch Abschnitte 4.2.1 und 4.2.2). Diese Pfade wurden zusätzlich in das Modell einbezogen, da ein Weglassen theoretisch erwartbarer Pfade dazu führen könnte, dass das Modell insgesamt nicht mehr auf die Daten passt und daher von den globalen Modellgüte-Indizes abgewiesen wird. Des Weiteren wurde der zunächst erwartete Pfad vom chemiespezifischen Selbstkonzept zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen in diesem Modell nicht mehr berücksichtigt, da die Regressionsanalysen im vorherigen Abschnitt gezeigt haben, dass die Multikollinearität der Einflussvariablen dazu führt, dass bei gleichzeitiger Berücksichtigung der drei Einflussvariablen kein direkter Einfluss des chemiespezifischen Selbstkonzepts angenommen werden kann.



$\chi^2 = 6.09$; $df = 5$; $p = .30$; $NFI = .97$; $CFI = .99$; $RMSEA = .04$
 Pfadkoeffizienten: * $p < .05$; ** $p < .01$

Abbildung 10: Pfadmodell der chemiespezifischen Metakognition

Das aus diesen Überlegungen resultierende Pfadmodell ist in Abbildung 10 dargestellt. Im Modell werden insgesamt 21% der Varianz des chemiespezifischen metakognitiven Wissens und 37% der Varianz des Wissenstests Chemie aufgeklärt. Die errechneten Gütemaße zeigen, dass das theoretisch formulierte Modell gut auf die erhobenen Daten passt (siehe Abbildung 10). Die Hypothese 1.4 kann also auf Grund der verwendeten globalen Gütemaße (χ^2 , χ^2/df , NFI, CFI und RMSEA) insgesamt bestätigt werden. Die einzelnen Pfadkoeffizienten und ihr Verhältnis untereinander sollen im Folgenden genauer betrachtet werden.

Das chemiespezifische metakognitive Wissen zeigt einen deutlich signifikanten direkten ($\beta = .25$) und einen schwächeren indirekten ($\beta = .07$) standardisierten Effekt über die Problemlösefähigkeit auf das Chemiewissen. Der totale standardisierte Effekt beträgt $\beta = .32$. Die im Pfadmodell in Abbildung 10 eingezeichneten Koeffizienten wurden, wie in Abschnitt 8.1.3 beschrieben, mit Hilfe des C.R. auf Signifikanz getestet; die indirekten und totalen Effekte können mit Hilfe von AMOS, basierend auf einer Bootstrap-Approximation, auf Signifikanz getestet werden. Für die Berechnung dieser Signifikanztests wurden jeweils 1000 Bootstrap-Samples gezogen. Als Methode für die Konstruktion der Vertrauensintervalle auf Basis der Bootstrap-Samples wurde „bias-corrected“ gewählt. Der indirekte Effekt des chemiespezifischen metakognitiven Wissens über die Problemlösefähigkeit auf das Chemiewissen wird auf dem 5%-Niveau signifikant ($p < .05$, zweiseitiger Test, siehe Tabelle 19). Auch die partiellen standardisierten Regressionskoeffizienten zwischen chemiespezifischem

metakognitiven Wissen, Problemlösefähigkeit und Chemiewissen wurden, wie im Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie erwartet, signifikant (siehe Abbildung 10). Folglich ist auch der totale Effekt des chemiespezifischen metakognitiven Wissens signifikant ($p < .01$, zweiseitiger Test, siehe Tabelle 18). Die Vorhersagekraft des chemiespezifischen metakognitiven Wissens (siehe auch Abschnitte 8.2.1 und 8.2.2) zeigt sich also auch in diesem Pfadmodell. Zudem zeigt sich auch der im Modell theoretisch formulierte Einfluss der allgemeinen kognitiven Variable Problemlösefähigkeit auf das Chemiewissen.

Die im Pfadmodell zusätzlich zum Modell aus Abbildung 7 (siehe Abschnitt 4.3) spezifizierten, aber durchaus theoretisch erwartbaren Pfade zwischen den Einflussvariablen und dem Chemiewissen wurden für das chemiespezifische Selbstkonzept und Interesse in der Tendenz signifikant. Für den direkten Effekt des Vorwissens in Chemie auf das Chemiewissen ergab sich ein leicht negativer, jedoch nicht signifikanter Effekt. Dieser mangelnde Einfluss des Vorwissens kann wieder durch die Multikollinearität der Einflussvariablen erklärt werden. Als zweite Erklärung kommt in Frage, dass die direkten Pfade im Pfadmodell durch die Spezifizierung der indirekten Effekte verkleinert werden. Für die standardisierten totalen Effekte ergibt sich im Pfadmodell für das Vorwissen in Chemie eine Schätzung von $\beta = .19$, für das chemiespezifische Selbstkonzept eine Schätzung von $\beta = .38$ und für das Chemieinteresse eine Schätzung von $\beta = .29$ (siehe Tabelle 18). Diese Schätzungen der totalen Effekte liegen höher als die der direkten Effekte in Abbildung 10. Beim Vorwissen in Chemie führt die Vermittlung über andere Variablen dazu, dass die indirekten Effekte zusammen größer sind als der totale Effekt.

Es ist weiterhin zu beobachten, dass die Einflussvariablen tatsächlich in den im erweiterten Erwartungs-Wert-Modell von Eccles und Wigfield (Eccles, 1983; Wigfield & Eccles, 2000, siehe Abschnitt 4.2.3) beschriebenen Zusammenhängen stehen. Im Pfadmodell beeinflusst die Chemienote als bisherige Lernerfahrung signifikant das chemiespezifische Selbstkonzept als Erwartungskomponente, welches seinerseits wieder einen signifikanten Einfluss auf das Chemieinteresse als Wertkomponente hat.

Tabelle 18: Von AMOS geschätzte totale standardisierte Effekte

| | CHEMNOTE | SELBSTKO | INTERESS | METACHEM |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| METACHEM | .32** | | | |
| CHEMWIS | .19* | .38** | .29** | .32** |

* $p < .05$, ** $p < .01$

Die von AMOS geschätzten indirekten Effekte der Einflussfaktoren über das chemiespezifische metakognitive Wissen auf das Chemiewissen werden sowohl für das

Vorwissen in Chemie ($p < .01$, zweiseitiger Test) als auch für das chemiespezifische Selbstkonzept ($p < .01$, zweiseitiger Test) sowie für das Chemieinteresse ($p < .01$, zweiseitiger Test) signifikant (siehe Tabelle 19). Dieses Ergebnis des Pfadmodells weist auf eine eventuelle Mediatorfunktion des chemiespezifischen metakognitiven Wissens hin, die theoretisch auch im Modell der chemiespezifischen Metakognition (siehe Abschnitt 4.3) hergeleitet wurde.

Tabelle 19: Von AMOS geschätzte indirekte standardisierte Effekte

| | CHEMNOTE | SELBSTKO | INTERESS | METACHEM |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| INTERESS | .39** | | | |
| METACHEM | .14** | .24** | | |
| PROBLEM | .07* | .05* | .07* | |
| CHEMWIS | .28** | .19** | .11** | .07* |

* $p < .05$, ** $p < .01$

Eine Mediatorvariable ist dadurch gekennzeichnet, dass sie den Zusammenhang zwischen einer unabhängigen und einer abhängigen Variable (teilweise) erklärt. Die Mediatorvariable ist dabei gleichzeitig abhängige und unabhängige Variable (Baron & Kenny, 1986). So soll das chemiespezifische metakognitive Wissen einerseits durch die postulierten Einflussvariablen beeinflusst werden und andererseits seinerseits das Chemiewissen beeinflussen. Ein Hinweis für die Annahme einer Mediatorvariablen ist das Vorhandensein eines signifikanten indirekten Effektes. Weitere Kriterien für Mediatoren wurden von Baron und Kenny (1986) beschrieben (siehe Abschnitt 8.2.5). Die Existenz eines signifikanten indirekten Effektes kann nach Baron und Kenny als eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung für eine Mediatorvariable angesehen werden. Zusätzlich muss ein signifikanter totaler Effekt des Prädiktors auf das Kriterium gegeben sein. Die mit Hilfe der Bootstrap-Approximation berechneten Signifikanztests für die totalen Effekte der Einflussfaktoren auf das Chemiewissen ergaben sowohl für das Vorwissen in Chemie ($p < .05$, zweiseitiger Test) als auch für das chemiespezifische Selbstkonzept ($p < .01$, zweiseitiger Test) sowie für das Chemieinteresse ($p < .01$, zweiseitiger Test) signifikante Effekte (siehe Tabelle 18). Da sich jedoch der indirekte Effekt der Einflussvariable Vorwissen in Chemie dadurch erhöht, dass er zusätzlich durch die beiden anderen Einflussvariablen vermittelt wird und die Wirkung des chemiespezifischen Selbstkonzepts in diesem Modell gar nicht direkt über das chemiespezifische metakognitive Wissen vermittelt wird, sollen zusätzlich die einfachen Mediatormodelle für jede Einflussvariable einzeln untersucht werden. Einfache Mediation bedeutet, dass nur Mediatormodelle mit einem Prädiktor, einem mutmaßlichen Mediator und einem Kriterium betrachtet werden (Preacher & Hayes, 2004). Die Mediatorfunktion einer Variablen kann für die einfache Mediation

mit Hilfe eines von Baron und Kenny (1986) entwickelten Tests analysiert werden. Der Frage der Mediatorfunktion des chemiespezifischen metakognitiven Wissens in den einfachen Mediatormodellen soll im nächsten Abschnitt in Form einer Post-Hoc-Analyse nachgegangen werden. Der direkte Einfluss des chemiespezifischen Selbstkonzepts soll in dieser Post-Hoc-Analyse wieder berücksichtigt werden, da er in den vorhergehenden Analysen auf Grund der hohen Multikollinearität der Einflussvariablen aus den Berechnungen ausgeschlossen werden musste. In den nun folgenden einfachen Mediatormodellen könnte sich der Einfluss des chemiespezifischen Selbstkonzepts, der theoretisch in Abschnitt 4.2.2.1 hergeleitet wurde, jedoch durchaus zeigen.

8.2.5 Post-Hoc-Analyse: Mediatorfunktion des metakognitiven Wissens in den einfachen Mediatormodellen

Baron und Kenny (1986) haben drei Kriterien vorgelegt, nach denen eine Mediatorvariable dann vorliegt, wenn

- a) ein signifikanter Effekt des Prädiktors auf den mutmaßlichen Mediator besteht,
- b) ein signifikanter Effekt des Mediators auf das Kriterium besteht und
- c) ein signifikanter Effekt zwischen Prädiktor und Kriterium besteht und bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Effekte des Prädiktors und des mutmaßlichen Mediators der Effekt des Prädiktors auf das Kriterium nicht mehr signifikant ist oder substantiell absinkt, der signifikante Effekt des Mediators aber bestehen bleibt.

Ist der Regressionskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium bei der Überprüfung von c) nicht mehr signifikant, so spricht man von einer vollständigen Mediation; sinkt er nur substantiell ab, spricht man von einer partiellen Mediation.

Diese Kriterien sollen mit Hilfe von jeweils zwei einfachen und einer multiplen Regression geprüft werden. Als Einflussvariablen werden dabei getrennt voneinander das Chemieinteresse, das chemiespezifische Selbstkonzept und das Vorwissen in Chemie betrachtet. Mutmaßlicher Mediator ist das chemiespezifische metakognitive Wissen. Die Ergebnisse der Auswertung zu der Frage, ob das chemiespezifische metakognitive Wissen bezüglich der einfachen Mediatorenmodelle als Mediator fungiert, sind in Abbildung 11 zu finden.

Bezüglich des Vorwissens in Chemie fungiert das chemiespezifische metakognitive Wissen laut den von Baron und Kenny aufgestellten Kriterien als vollständiger Mediator. Die einfachen Regressionen des Prädiktors auf das Kriterium und des Prädiktors auf den Mediator sind signifikant. Berücksichtigt man die Wirkung des

Prädiktors Vorwissen in Chemie, die über den Mediator vermittelt wird, sinkt der direkte Effekt dieser Variablen in den nichtsignifikanten Bereich.

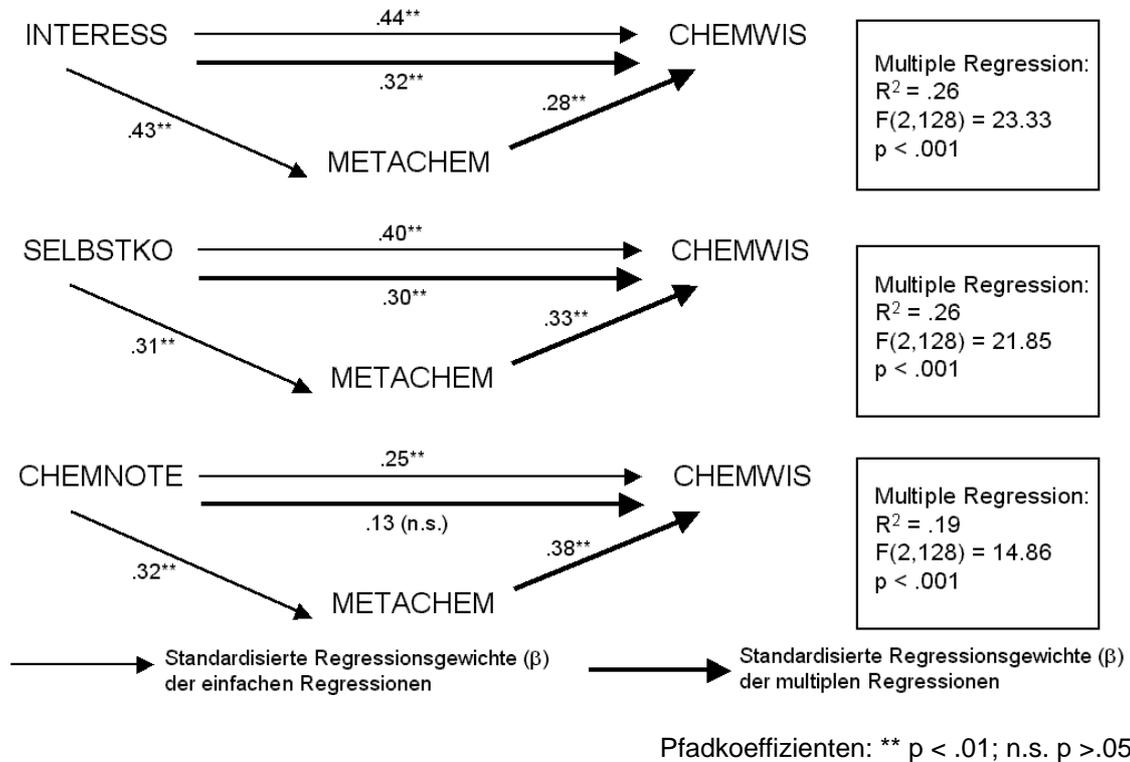


Abbildung 11: Überprüfung der Mediatorfunktion des chemiespezifischen metakognitiven Wissens mit der Methode von Baron und Kenny (1986)

Die medierende Wirkung des chemiespezifischen metakognitiven Wissens ist bei den anderen beiden Einflussvariablen nur partiell ausgeprägt. Die einfachen Regressionen werden beide signifikant, wie von Baron und Kenny in den Kriterien a und c gefordert. In den multiplen Regressionen bleiben jedoch die Regressionsgewichte der direkten Effekte eindeutig signifikant, obwohl die Regressionsgewichte der direkten Effekte in der multiplen Regression gegenüber den Regressionsgewichten der totalen Effekte deutlich absinken (beim chemiespezifischen Selbstkonzept um 25%, beim Chemieinteresse um 27%). Um festzustellen, ob der direkte Effekt in diesen beiden Mediatormodellen substantiell niedriger ist als der totale Effekt (Kriterium c von Baron und Kenny), kann die Signifikanz des indirekten Effekts geprüft werden, die der Differenz zwischen totalem und direktem Effekt des Prädiktors auf das Kriterium entspricht. Diese Signifikanz soll auch für den Prädiktor Vorwissen in Chemie berechnet werden, da theoretisch die Möglichkeit besteht, dass der direkte Effekt des Prädiktors auf das Kriterium in der multiplen Regression in den nichtsignifikanten Bereich absinkt,

obwohl sich das Regressionsgewicht des direkten Effekts nur wenig von dem Regressionsgewicht des totalen Effekts unterscheidet (Preacher & Hayes, 2004).

Die Signifikanz des indirekten Effekts kann durch eine Handauswertung mit Hilfe des Sobel-Tests überprüft werden (Baron & Kenny, 1986). Mit Hilfe des Sobel-Tests kann der Standardfehler des indirekten Effekts berechnet werden. Die Prüfgröße ergibt sich, indem man den indirekten Effekt (berechnet auf Grund der unstandardisierten Regressionsgewichte) durch seinen Standardfehler teilt. Diese Prüfgröße kann dann mit der Standardnormalverteilung verglichen werden. Voraussetzung für das Anwenden der Normalverteilung ist, dass eine ausreichend große Stichprobe vorliegt (Preacher & Hayes, 2004), was für den vorliegenden Fall angenommen wird. Das genaue Vorgehen zur Berechnung der Prüfgröße ist in Anhang D beschrieben. Es liegen laut dem Sobel-Test für alle drei Prädiktoren in den einfachen Mediatormodellen signifikante indirekte Effekte vor ($p \leq .01$). Das bedeutet gleichzeitig, dass die Differenzen zwischen den direkten und den indirekten Effekten in den einfachen Mediatormodellen signifikant sind.

In den einfachen Mediatormodellen kann also eine Mediatorfunktion für alle drei Prädiktorvariablen angenommen werden. Im Gegensatz zum multiplen Mediatormodell kann eine (partielle) Mediatorfunktion, folgt man den Kriterien von Baron und Kenny (1986) und dem Sobel-Test, auch für die Einflussvariablen chemiespezifisches Selbstkonzept und Vorwissen in Chemie verzeichnet werden. Dieser Unterschied in der Mediatorfunktion des chemiespezifischen metakognitiven Wissens zwischen den einfachen Mediatormodellen und dem multiplen Mediatormodell kann auf die hohe Multikollinearität der Einflussfaktoren zurückgeführt werden.

8.3 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel der ersten Studie war es, das chemiespezifische metakognitive Wissen mit anderen chemiespezifischen Variablen und der allgemeinen kognitiven Variable Problemlösefähigkeit in Beziehung zu setzen. Es sollten einerseits Erkenntnisse über die (inkrementelle) Validität des selbstentwickelten Tests zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen gesammelt werden. Andererseits sollte ein theoretisch postuliertes Modell der chemiespezifischen Metakognition empirisch überprüft werden. An dieser Stelle sollen die Ergebnisse der ersten Studie zusammengefasst und diskutiert werden. Eine Integration der Ergebnisse der ersten und zweiten Studie sowie ein Ausblick finden sich in Kapitel 10.

Hinsichtlich der konkurrenten Validität des entwickelten Tests zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen können die Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden: Sowohl zwischen dem entwickelten chemiespezifischen metakognitiven Wissenstest

und dem Chemiewissen (Hypothese 1.1.1) als auch zwischen diesem Test und der allgemeinen Problemlösefähigkeit (Hypothese 1.1.2) besteht ein positiver Zusammenhang. Der Zusammenhang zwischen chemiespezifischem metakognitiven Wissen und der Problemlösefähigkeit fällt dabei wesentlich niedriger aus als der entsprechende Zusammenhang mit dem Chemiewissen. Dies war zu erwarten, da die Problemlösefähigkeit ein eher distales domänenübergreifendes Kriterium darstellt, während das Chemiewissen ein proximaleres domänenspezifisches Kriterium darstellt.

Zu beachten sind bei der Interpretation der Validität die recht niedrigen Reliabilitäten der Kriterien Problemlösefähigkeit ($\alpha = .60$) und Chemiewissen ($\alpha = .68$). Die Validität eines Tests hängt mit den Reliabilitäten des untersuchten Tests einerseits und des Kriteriums andererseits zusammen. Dies lässt sich inhaltlich dadurch erklären, dass der tatsächliche Zusammenhang zwischen zwei eher ungenauen Messungen auch nur unzureichend geschätzt werden kann. Die Validität kann nur maximal die Quadratwurzel des Produkts der Reliabilitäten des zu validierenden Test und des Kriteriums annehmen (Bühner, 2006). Dieser Maximalwert beträgt für die Validität hinsichtlich der Problemlösefähigkeit $r_{\max} = .71$ und für die Validität hinsichtlich des Chemiewissens $r_{\max} = .78$. Dieses schränkt den theoretischen Schwankungsbereich der Validität, der normalerweise zwischen -1 und 1 liegt, erheblich ein. Ausgehend von diesen Überlegungen kann eine einfache Minderungskorrektur der konkurrenten Validitätsberechnung durchgeführt werden, wobei die Validität für Messungenauigkeiten der Kriterien bereinigt wird. Bei dieser einfachen Minderungskorrektur wird die Validität durch die Wurzel der Reliabilität des Kriteriums dividiert. Es ergibt sich eine korrigierte konkurrente Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissens bezüglich des Chemiewissens von $r_{\text{kor.}} = .51^{**}$ und bezüglich der Problemlösefähigkeit von $r_{\text{kor.}} = .27^{**}$. Die konkurrente Validität des Tests ist also als gegeben anzusehen, besonders wenn man bedenkt, dass zur Bestimmung dieser Validität keine ganz nahen Kriterien verwendet wurden.

Fragestellung 1.2 bezieht sich auf die inkrementelle Validität des Tests zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen. An diese Frage wurde mit zwei verschiedenen Auswertungsmethoden herangegangen: Zum einen mit Partialkorrelationen, zum anderen mit hierarchischen Regressionsanalysen. Mit beiden Auswertungsmethoden konnten die Hypothese 1.2.1 (inkrementelle Validität bei Eliminierung des Einflusses des textbezogenen metakognitiven Wissens), die Hypothese 1.2.2 (inkrementelle Validität bei Eliminierung des Einflusses der Problemlösefähigkeit) und die Hypothese 1.2.3 (inkrementelle Validität bei gleichzeitiger Eliminierung des Einflusses des textbezogenen metakognitivem Wissens und der Problemlösefähigkeit) bestätigt werden. Die inkrementelle Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissens ist im Fall der Hypothese 1.2.3 zwar recht klein, kann aber auf Grund ihrer statistischen Signifikanz (die sich sowohl in der Partialkorrelation als auch im

signifikanten Regressionsgewicht ausdrückt) als substantiell angesehen werden. Auch eine gewisse praktische Bedeutsamkeit kann dieser inkrementellen Validität bei Eliminierung des Einflusses von textbezogenem metakognitiven Wissen und Problemlösefähigkeit zugesprochen werden, da sich die Vorhersage des Chemiewissens durch den entwickelten Test um ca. 7% verbessert (bemessen an der multiplen Korrelation; die Varianzaufklärung verbessert sich um rund 13%). Der nach Herauspartialisierung der domänengenerellen Einflussgrößen bestehende Zusammenhang zwischen chemiespezifischem metakognitiven Wissen und Chemiewissen kann als der domänenspezifische Anteil des Zusammenhangs angesehen werden. Es scheint also einen domänenspezifischen Anteil des metakognitiven Wissens zu geben, der eine prädiktive Erklärungskraft hat, die über die der allgemeinen metakognitiven Fähigkeiten und Problemlösefähigkeiten hinausgeht. Es kann allerdings auch die Annahme der Existenz von domänengenerellen Anteilen der Metakognition bestätigt werden: Das textbezogene metakognitive Wissen korreliert signifikant mit dem Chemiewissen und sagt es in den berechneten Regressionsmodellen mit vorher.

Ein weiterer Schritt der Auswertung befasste sich mit der Frage nach den Einflussfaktoren auf das chemiespezifische metakognitive Wissen (Fragestellung 1.3). Es ergab sich, dass bei einer hierarchischen Betrachtung der Einflussvariablen nur das Chemieinteresse und das Vorwissen in Chemie, nicht aber das chemiespezifische Selbstkonzept prädiktiv für das chemiespezifische metakognitive Wissen sind. Dieses Ergebnis wurde auf eine recht hohe Multikollinearität der Einflussvariablen zurückgeführt. Insofern kann die Hypothese 1.3 nur als teilweise bestätigt angesehen werden. Bei gleichzeitiger Beachtung aller drei Einflussvariablen scheinen nur das Chemieinteresse und das Vorwissen in Chemie einen Einfluss auf das chemiespezifische metakognitive Wissen zu haben. Das chemiespezifische Selbstkonzept hingegen ist in dieser Studie bei Einbezug der weiteren Einflussvariablen nicht prädiktiv für das chemiespezifische metakognitive Wissen. Der vermutete Einfluss scheint sich über gemeinsame Varianzanteile mit den anderen beiden Einflussvariablen zu äußern.

Betrachtet man die bivariaten Korrelationen der untersuchten Variablen, so verhält sich der Test zum textbezogenen metakognitiven Wissen bezüglich der Variablen Problemlösefähigkeit und Chemiewissen fast wie ein Paralleltest. Dieser Eindruck ändert sich gravierend, wenn die Korrelationen mit den Einflussvariablen Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept und Vorwissen in Chemie betrachtet werden. Mit diesen Einflussvariablen zeigt der chemiespezifische metakognitive Wissenstest deutliche Zusammenhänge, während der textbezogene metakognitive Wissenstest mit diesen Variablen keine Zusammenhänge bzw. einen relativ niedrigen Zusammenhang mit dem Chemieinteresse aufweist. Gerade in diesen Zusammenhängen mit anderen domänenspezifischen Variablen im Modell der chemiespezifischen

Metakognition (Fragestellung 1.4) liegt der eigentliche Wert des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests.

Diese Beziehungen wurden im Pfadmodell in Abschnitt 8.2.4 einer empirischen Überprüfung unterzogen. Die Interpretation dieses Pfadmodells ist hinsichtlich der Einflüsse von Variablen auf andere Variablen gewissen Einschränkungen unterlegen, da die Studie auf nur einem Messzeitpunkt beruht. Dennoch konnte das theoretisch begründete Modell der chemiespezifischen Metakognition und damit die Hypothese 1.4 auf globaler Ebene weitgehend bestätigt werden. Chemieinteresse und Vorwissen in Chemie erweisen sich als prädiktiv für das chemiespezifische metakognitive Wissen. Das chemiespezifische metakognitive Wissen ist weiterhin als ein guter Prädiktor für das Chemiewissen anzusehen, wie auch schon anhand der konkurrenten und inkrementellen Validität des Tests deutlich wurde. Auch hinsichtlich der Problemlösefähigkeit erweist sich der Test als prädiktiv.

Die globale Bestätigung des Pfadmodells kann auch als eine erste Bestätigung der Konstruktvalidität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests angesehen werden. Die Konstruktvalidität ist dann gegeben, wenn sich ein Test bezüglich der aus der Theorie abgeleiteten Hypothesen hypothesenkonform verhält (Bortz & Döring, 2003; Lienert & Raatz, 1994). Das Modell der untersuchten chemiespezifischen Metakognition wurde in Kapitel 4 theoretisch hergeleitet und konnte durch Regressionsanalysen in Abschnitt 8.2.3, in der Pfadanalyse in Abschnitt 8.2.4 und in der Post-Hoc-Analyse der einfachen Mediatormodelle in Abschnitt 8.2.5 weitgehend empirisch bestätigt werden. Diese empirische Bestätigung des theoretisch vorhergesagten Modells spricht für die Konstruktvalidität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests.

Für die Interpretation des Pfadmodells muss die recht hohe Multikollinearität der Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Bühner (2006) bezeichnet die Kollinearität ab Korrelationen von $r > .85$ als sehr hoch und rät diesem Fall dazu, die entsprechenden Variablen zu eliminieren, da sie besonders bei ML-Schätzungen (wie im vorliegenden Fall) zu Schätzproblemen führen können. Die höchste empirische Korrelation ist zwischen Chemieinteresse und chemiespezifischem Selbstkonzept zu beobachten und liegt bei $r = .66$; sie ist damit laut Bühner (2006) nicht zu hoch. Hohe Korrelationen der Einflussvariablen waren auch auf Grund der Theorie zu erwarten. Das Erwartungswert-Modell von Eccles und Wigfield (Eccles et al., 1982; Wigfield & Eccles, 2000) zeigt die theoretischen Zusammenhänge zwischen den Einflussvariablen auf. Diese Zusammenhänge wurden, wie in anderen Untersuchungen auch, in dieser Studie empirisch bestätigt. Auch in anderen Untersuchungen konnten hohe Zusammenhänge zwischen den hier betrachteten Einflussfaktoren gefunden werden. Urhahne (2002) fand in einer Studie mit 66 Elft- und Zwölftklässlern eine bivariate Korrelation zwischen den Variablen chemiespezifisches Selbstkonzept und Chemieinteresse von $r = .40$, die mit

ähnlichen Skalen wie in der vorliegenden Studie gemessen wurden. In einer Studie über das mathematische Selbstkonzept wurde eine Korrelation zwischen Interesse und Selbstkonzept von $r = .59$ gefunden (Köller et al., 2000c); diese entspricht ungefähr der Größenordnung in der vorliegenden Studie. Auch die Korrelationen dieser beiden Prädiktorvariablen mit dem Vorwissen in Chemie, welches mit Hilfe der letzten Chemienote operationalisiert wurde, sind recht hoch ausgeprägt. Dies kann für das chemiespezifische Selbstkonzept dadurch erklärt werden, dass Schulnoten Informationen darstellen, die in das Selbstkonzept mit eingehen und das Selbstkonzept seinerseits auf Schulnoten einwirkt. Entsprechendes konnte in einer Studie von Marsh (1990) gezeigt werden. In der Studie von Köller et al. (2000c) konnten hohe Zusammenhänge der Schulleistung mit mathematischem Selbstkonzept ($r = .52$) und Interesse an Mathematik ($r = .65$) gefunden werden. Die Zusammenhänge zwischen Selbstkonzept und Interesse mit der Chemienote in dieser Studie, bzw. mit der mittleren Lernleistung in der Studie von Köller et al., liegen deutlich höher als in Metaanalysen (Hansford & Hattie, 1982; Schiefele et al., 1993, siehe Abschnitte 4.2.1.1, 4.2.1.2). Positiv ist an diesen Zusammenhängen zu bewerten, dass in dieser Studie die Chemienote eine recht valide Form der Erfassung von fachspezifischem Vorwissen zu sein scheint (zur Validität von Schulnoten vgl. Tent, 2001).

Eine wichtige Funktion, die die chemiespezifische Metakognition im theoretisch hergeleiteten Modell einnimmt, ist, dass sie den Einfluss von kognitiven und motivationalen Lernervariablen auf den Wissenserwerb vermitteln soll. Diese Mediatorenfunktion konnte in dieser Studie empirisch bestätigt werden. Im multiplen Mediatormodell bildet das chemiespezifische metakognitive Wissen bezüglich des Chemieinteresses einen Mediator. Betrachtet man die einfachen Mediatormodelle, so übernimmt das chemiespezifische metakognitive Wissen für alle drei Einflussvariablen eine Mediatorfunktion. Hierin ist eine Bestätigung der domänenspezifischen Qualität des chemiespezifischen metakognitiven Wissens zu sehen. Ein Teil des Einflusses, den die Einflussfaktoren auf das Chemiewissen ausüben, scheint also erst durch das chemiespezifische metakognitive Wissen vermittelt zu werden. Das textbezogene metakognitive Wissen mag zwar bezüglich des Chemiewissens und der Problemlösefähigkeit Vorhersagequalitäten haben, die sich teilweise mit den Varianzanteilen des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests überschneiden, aber auf Grund der mangelnden Korrelation mit den Einflussfaktoren kann eine Mediatorfunktion des textbezogenen metakognitiven Wissens bezüglich der Einflussfaktoren ausgeschlossen werden.

Die Einflussvariablen Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept und chemisches Vorwissen können zum Teil als Resultat des Chemieunterrichts angesehen werden (für eine kurze Beschreibung der Interaktion zwischen Angebots- und Nutzungsseite von Unterricht siehe Abschnitt 4.3). Sieht man Chemieinteresse,

chemiespezifisches Selbstkonzept und das Vorwissen in Chemie als eine Art Chemiekompetenz, die durch den Chemieunterricht mit aufgebaut wird, so kann diese in der Schule erworbene Kompetenz anscheinend besser auf eine erneute Anwendung dieser Kompetenz in einem Chemiewissenstest wirken, wenn man das chemiespezifische metakognitive Wissen berücksichtigt. Diese Überlegung ist für die Schulpraxis insofern von Bedeutung, als sie die Notwendigkeit der Förderung von fachspezifischem metakognitiven Wissen unterstreicht. Solches fachspezifisches metakognitives Wissen kann anscheinend von entscheidender Bedeutung sein für die Übertragbarkeit von schulischem Vorwissen und auch des in der Schule erworbenen chemiespezifischen Selbstkonzepts und des Chemieinteresses auf neue Situationen. Eine solche Übertragung des schulischen Chemiewissens wurde in den Aufgaben des verwendeten Chemiewissenstests, die teilweise aus TIMSS und PISA stammten, gefordert. So kann chemiespezifische Metakognition anscheinend, wie von Mähler und Hasselhorn (2001, siehe Abschnitt 3.2.1.1) angenommen, die Funktion eines innerfachlichen Transfervehikels einnehmen. Dies ist interessant, da deutsche Schüler in den Aufgaben der internationalen Schulleistungstudien TIMSS und PISA (z. B. Baumert et al., 1997; PISA-Konsortium Deutschland, 2004), die häufig einen Transfer von Wissen auf neue Situationen fordern, nur mittelmäßig abschneiden. So könnte eine gezieltere Förderung von chemiespezifischem metakognitiven Wissen im Chemieunterricht wahrscheinlich dazu beitragen, den innerfachlichen Transfer von Chemiewissen zu fördern.

Zusammengefasst konnten mit dieser Studie erste Hinweise für die Bedeutung fachspezifischen metakognitiven Wissens am Beispiel der Chemie gewonnen werden. Der selbstkonstruierte chemiespezifische metakognitive Wissenstest erweist sich als reliabel und als valide in Bezug auf das proximalere domänenspezifische Kriterium Chemiewissen und auf das distalere allgemeinkognitive Kriterium Problemlösefähigkeit. Auch seine Konstruktvalidität konnte in der vorliegenden Studie untermauert werden. Seine Aussagekraft zeigt sich besonders in seinen Zusammenhängen mit anderen fachspezifischen Variablen, die im Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie formuliert wurden und empirisch auf Ebene des globalen Modells bestätigt werden konnten. In diesem Modell wird die Bedeutung des chemiespezifischen metakognitiven Wissens als Vermittler zwischen in der Schule erworbenen Chemiekompetenzen und dem in einer neuen Testsituation gezeigten Chemiewissen deutlich. Diese Vermittlerrolle ist für das allgemeinere metakognitive Wissen, wie es mit dem textbezogenen metakognitiven Wissenstest gemessen wurde, in der vorliegenden Studie nicht gegeben.

9 Studie II: Exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie

In der zweiten Studie sollte der Versuch unternommen werden, die exekutive Metakognition beim Lernen in Chemie mit einem Kurztraining zu fördern. Dieses Training sollte sowohl hinsichtlich seiner Wirkung auf die exekutive Metakognition direkt als auch auf die Wirkung bezüglich der Lernleistung untersucht werden. In anderen Fächerdomänen wurden ähnliche Kurztrainings schon erfolgreich angewandt (Bannert, 2003; Hasselhorn, 1992; Hasselhorn & Körkel, 1983).

9.1 Methode

9.1.1 Versuchspersonen

An dieser Studie nahmen 2005 im Zeitraum von Ende August bis Ende September insgesamt 28 Schüler der 12. und 13. Jahrgangsstufe aus drei Kieler Schulen teil. Diese Schüler wurden durch ihre jeweilige Chemielehrkraft mit Hilfe eines Informationszettels akquiriert (siehe Anhang E). Die jeweilige Lehrkraft wurde gebeten, explizit darauf hinzuweisen, dass jeder Schüler an dieser Studie teilnehmen könne und dafür kein bestimmter Leistungsstand im Schulfach Chemie von Nöten sei. Der Aufwand der Teilnahme an der Studie samt Anreise zum IPN wurde mit 30 Euro entschädigt. An dem ausgeteilten Informationszettel war ein Anmeldebogen angeheftet, den die Schüler ausfüllen sollten, wenn sie an der Studie teilnehmen wollten. Auf dem Anmeldebogen wurden schon bestimmte Lernvoraussetzungen erfragt (Chemienote, chemiespezifisches Selbstkonzept, Chemieinteresse). Dadurch sollte schon bei der Anmeldung ein gewisser Einsatz von den Versuchspersonen gefordert werden und so die Wahrscheinlichkeit für ernstgemeinte Anmeldungen erhöht werden. Von 32 angemeldeten Versuchspersonen nahmen 28 tatsächlich an der Studie teil, 4 zunächst angemeldete Teilnehmer sagten auf Grund plötzlich aufgetretener Termenschwierigkeiten oder auf Grund von Krankheit ab.

Es soll nun kurz die Stichprobe beschrieben werden. Die Versuchspersonen waren im Mittel $M = 18.30$ Jahre alt ($SD = .87$, $N = 27$, eine fehlende Altersangabe) und teilten sich auf in sieben männliche und 21 weibliche Personen. Sechs Schüler besuchten die 12. und 22 die 13. Jahrgangsstufe. Sieben der teilnehmenden Schüler besuchten einen Leistungskurs, 21 nahmen an Chemie-Grundkursen teil. Die Durchschnittsnote betrug $M = 10.56$ Punkte ($SD = 2.71$). Man beachte die recht hohe Standardabweichung, die zeigt, dass das Notenspektrum gut ausgeschöpft wurde (Min = 3 Punkte, Max = 15 Punkte). Die Durchschnittsnoten unterschieden sich je nach betrachtetem Kurstyp, Grundkursschüler hatten in dieser Stichprobe eine Durchschnittsnote von

M = 9.80 Punkten (SD = 2.55), während Leistungskursschüler eine Durchschnittsnote von M = 12.71 Punkten (SD = 1.98) aufwiesen.

9.1.2 Versuchsablauf und Design

Die Untersuchung wurde an zwei Untersuchungsterminen in den Räumen des IPN durchgeführt. Beim ersten Termin nahmen alle Versuchspersonen an einer Gruppenuntersuchung, beim zweiten Termin nahmen sie jeweils an einer Einzeluntersuchung teil. Die Gruppenuntersuchung dauerte ca. eine Stunde und fand an drei Terminen statt, von denen die Teilnehmer einen auswählen konnten. Die Termine für die Einzeluntersuchungen wurden bei der Gruppenuntersuchung vergeben und dauerten ca. zwei Stunden. Die Einzeluntersuchungen fanden innerhalb von drei Wochen nach der Gruppenuntersuchung statt. Die Versuchsleitung der Einzeluntersuchungen wurde entweder von der Verfasserin oder einer wissenschaftlichen Hilfskraft übernommen. Dieses Vorgehen hatte den Vorteil, dass auch zwei Personen zeitgleich an der Einzeluntersuchung teilnehmen konnten. Das Design und der Ablauf der Studie ist in Abbildung 12 skizziert.

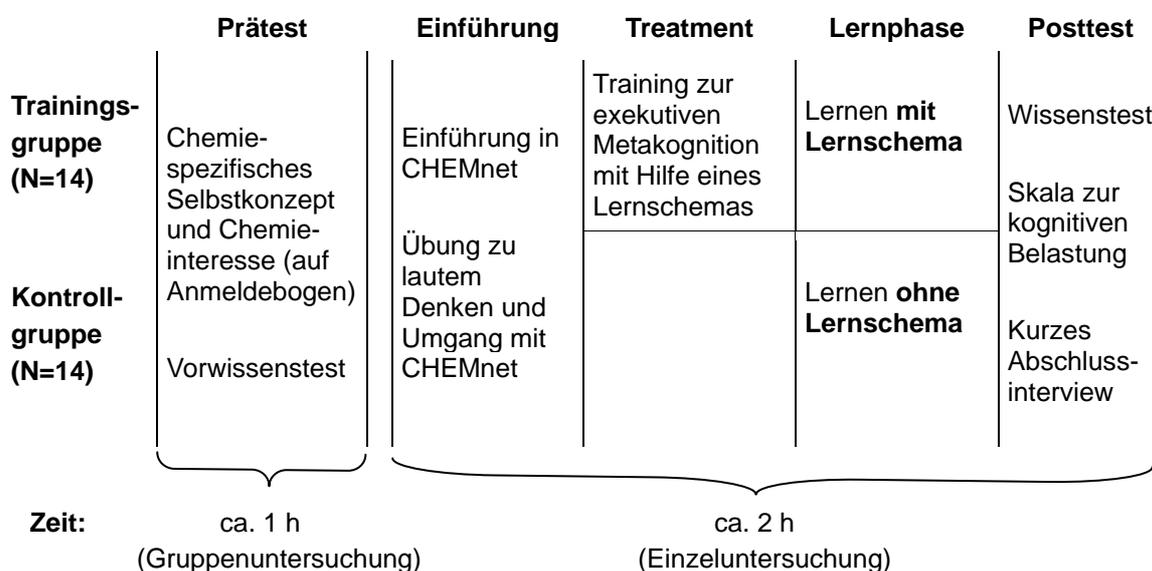


Abbildung 12: Versuchsablauf und Design der Studie II

Die Studie wurde als Kontrollgruppenstudie durchgeführt, damit eine Aussage über den Trainingserfolg im Vergleich zu einer untrainierten Gruppe getroffen werden konnte. Die Teilnehmer wurden nach Festsetzung der Termine für die zweistündige Einzeluntersuchung zufällig auf die beiden Untersuchungsgruppen aufgeteilt. Die Stichprobe ist relativ klein gewählt, da die geplante Auswertung der Protokolle lauten

Denkens als sehr aufwändig antizipiert wurde. Das bedeutet gleichzeitig, dass nur große Effekte des Trainings signifikant werden können. Dies ist bei einer Trainingsstudie, bei der auch die praktische Bedeutsamkeit von Effekten eine entscheidende Rolle spielt, jedoch nicht unbedingt ein Nachteil.

Im Folgenden soll der Ablauf der Untersuchung genauer beschrieben werden. In der Gruppenuntersuchung wurden zunächst die Versuchsleiterinnen vorgestellt und der Ablauf der Untersuchung genau erläutert. Dann wurde mit jedem Teilnehmer ein Termin für die Einzeluntersuchung vereinbart. Nach dem Ausfüllen der Terminkärtchen sollten die Teilnehmer einen Prätest ausfüllen, der einen Vorwissenstest zum Thema „Chemisches Gleichgewicht“ enthielt (siehe Abschnitt 9.1.6.2).

Die Termine der Einzeluntersuchung lagen in der Regel nachmittags zwischen 13 und 18 Uhr und wurden für die Teilnehmer auf einem Terminkärtchen fixiert. Zusätzlich wurde versucht, alle Untersuchungsteilnehmer am Abend vor der Einzeluntersuchung noch einmal telefonisch zu kontaktieren, um diese an ihren Termin zu erinnern.

Als Lernmaterial wurde während der Einzeluntersuchung der Hypertext CHEMnet benutzt (siehe Abschnitt 9.1.3). Die Instruktionen der Einzeluntersuchung wurden in einem Instruktionsleitfaden schriftlich festgehalten, um eine Standardisierung bei der Durchführung durch zwei verschiedene Versuchsleiterinnen zu gewährleisten. Diese Instruktionen wurden von den Versuchsleiterinnen mehrfach, teilweise mit einer „Schauspiel-Versuchsperson“, geübt und auf Grund dieser Erfahrungen verbessert. Wichtige Instruktionen wurden den Versuchspersonen zusätzlich zur mündlichen Instruktion auf blauen DIN-A5-Karten vorgelegt (siehe Anhang F).

Zu Beginn der Einzeluntersuchung wurde den Versuchspersonen zunächst der Ablauf der Untersuchung anhand einer blauen Instruktionskarte vorgestellt. Dann wurden beide Untersuchungsgruppen kurz in die Bedienung von CHEMnet eingeführt, indem die Navigation und die Bedeutung der in CHEMnet verwendeten Piktogramme erklärt wurden. Danach wurde beiden Untersuchungsgruppen die blaue Karte mit der Instruktion zum lauten Denken vorgelegt (siehe Anhang F). Beides, sowohl die Bedienung von CHEMnet als auch das laute Denken, sollten die Teilnehmer daraufhin ca. 10 Minuten anhand einer Aufgabe zum Kapitel „Atome“ (siehe Anhang F) in CHEMnet üben.

Im Anschluss daran wurde mit den zur Trainingsgruppe gehörenden Versuchspersonen ein Kurztraining der exekutiven Metakognition durchgeführt (siehe Abschnitt 9.1.4). Dieses Training dauerte ungefähr 20 Minuten. Nach dem Training oder für die Kontrollgruppe nach der Einführung in CHEMnet und das laute Denken gab es eine fünfminütige Pause.

Während der Lernphase war den Versuchspersonen in beiden Versuchsbedingungen freigestellt, sich Notizen zu machen. Notizblätter und Stifte wurden bereitgestellt. Diese Möglichkeit wurde von einem Großteil der Teilnehmer in sehr stark unterschiedlichem Ausmaß genutzt. Die Lernzeit sollte insgesamt 40 Minuten betragen. In diesen Zeitraum ging die benötigte Zeit für das Lesen und Verstehen der Lernaufgabe (siehe Anhang F) mit ein. Einige Teilnehmer waren deutlich früher mit dem Lernen fertig. Wenn sie die Aufgabe ihrer Ansicht nach wirklich vollständig bearbeitet hatten, wurde dann nach einer Pause zum Wissenstest übergegangen. Die mittlere Lernzeit, gemessen an den Protokollen lauten Denkens (siehe Abschnitt 9.1.2) beträgt $M = 2091$ Sekunden ($SD = 313.74$), was 34:51 Minuten entspricht. Während der gesamten Lernphase sollte die Versuchsperson laut Denken. Nach der Lernphase hatte die Versuchsperson wieder eine fünfminütige Pause.

Nach der Pause wurde ein Posttest durchgeführt. Inhalte dieses Posttests waren ein abschließender Wissenstest und eine Skala zur kognitiven Belastung (siehe Abschnitt 9.1.6.2 und 9.1.6.3). Zum Abschluss der Einzeluntersuchung wurde ein kurzes Abschlussinterview durchgeführt (siehe Abschnitt 9.1.6.4).

9.1.3 Der Hypertext CHEMnet

Die Lernphase der Untersuchung fand im Rahmen der Einzeluntersuchung statt und wurde mit Hilfe der im Internet zugänglichen Hypertext-Lernumgebung CHEMnet durchgeführt (www.chemievorlesung.uni-kiel.de). Diese Lernumgebung wurde am IPN unter der Federführung von Nick (2004) entwickelt und mit der Serverskriptsprache php4 auf einem apache-Web-Server verwirklicht. Die Hauptzielgruppe von CHEMnet waren ursprünglich Studierende der Chemie; schon seit Jahren wird die Plattform jedoch auch von Schülern, Lehrern sowie Diplom-Chemikern und Hochschullehrern genutzt (Nick & Andresen, 2001; Nick, Andresen, Lübker & Thumm, 2003). Für die vorliegende Studie wurde das Kapitel zum Chemischen Gleichgewicht ausgewählt. Dieses Kapitel ist, wie die anderen Kapitel auch, gut für Schüler der 12. oder 13. Jahrgangsstufe geeignet, da es an Wissen, welches in der Mittelstufe oder der 11. Jahrgangsstufe vermittelt wird, anknüpft. Das Thema Chemisches Gleichgewicht wird in der Regel in der 11. Klasse unterrichtet, insofern war die Lernphase der Studie für die Schüler eine Wiederholung und es konnte daher erwartet werden, dass sie schon ein gewisses Vorwissen mitbringen.

Hauptbestandteil der Lernumgebung sind kurze modularisierte Texte; hinzu kommen an einigen Stellen Fotos, Grafiken, Videos sowie dreidimensionale Struktursimulationen und Flash-Animationen. In dem genutzten Kapitel sind die beiden letztgenannten Medientypen jedoch nicht zu finden. Eine Besonderheit von CHEMnet sind

Piktogramme, die auf bestimmte Arten von Zusatzinformationen hinweisen. Diese Piktogramme sind in Abbildung 13 genauer beschrieben.

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Information - Zusätzliche und ausführlichere Erklärungen und Informationen, die den Basis-Text erweitern und ergänzen. |
|  | Beispiel - Beispiele, die zum besseren Verständnis der Inhalte des Textes dienen. |
|  | Gedächtnisstütze - Kleine Hilfen zum besseren Behalten und Verständnis von Zusammenhängen. |
|  | Wurzelzeichen - Ausführliche Berechnungsschritte, Herleitung von Formeln und mathematischen Zusammenhängen. |
|  | Video - Experiment-Videos im RealPlayer-Format |
|  | Information Biologie - Fächerübergreifende Zusatzinformationen aus dem Bereich der Biologie |

Abbildung 13: Bedeutung der von CHEMnet verwendeten Piktogramme, Screenshot aus www.chemievorlesung.uni-kiel.de

Die Bildschirmaufteilung von CHEMnet folgt einer klassischen Aufteilung mit einem Menü, welches im oberen Bildschirmbereich zu finden ist, und einer Navigationsleiste, die sich am linken Bildschirmrand befindet. Navigiert werden kann zum einen, indem man linear in den Inhalten vor- und zurückblättert oder sich im Strukturbaum eine Ebene nach oben bewegt (Seitennavigation); eine weitere Navigationsmöglichkeit besteht darin, bestimmte Kapitel oder Unterkapitel direkt anzuwählen (Hauptnavigation). Die Seitennavigation ist in Orange dargestellt, während die Hauptnavigation dunkelblau unterlegt ist. Jedem Kapitel ist eine Kapitelübersicht übergeordnet. Die Bildschirmgestaltung von CHEMnet ist in einem Screenshot, der die Kapitelübersicht des Kapitels zum Chemischen Gleichgewicht zeigt, in Abbildung 14 dargestellt.

CHEMnet wurde als Material schon in verschiedenen Studien am IPN genutzt. Stracke (2004) nutzte das CHEMnet-Kapitel zum Chemischen Gleichgewicht als Lernmaterial in einer Studie zur Wissensdiagnose mit Concept Maps. Nick führte mit Kollegen selbst zahlreiche Studien über die Nutzergruppen und Nutzungsarten von CHEMnet sowie über den Lernnutzen von 3D-Simulationen in CHEMnet durch (Nick & Andresen, 2001; Nick et al., 2003; Nick & Urhahne, 2004). Schanze und Urhahne nutzten ein CHEMnet-Kapitel zu Säuren und Basen, um die Auswirkungen von Zielvorgaben und Linearität des Hypertexts beim Lernen mit demselben zu untersuchen (Schanze, 2001; Urhahne, 2002; Urhahne & Schanze, 2003). CHEMnet kann also als eine eingehend erprobte Lernumgebung bezeichnet werden.

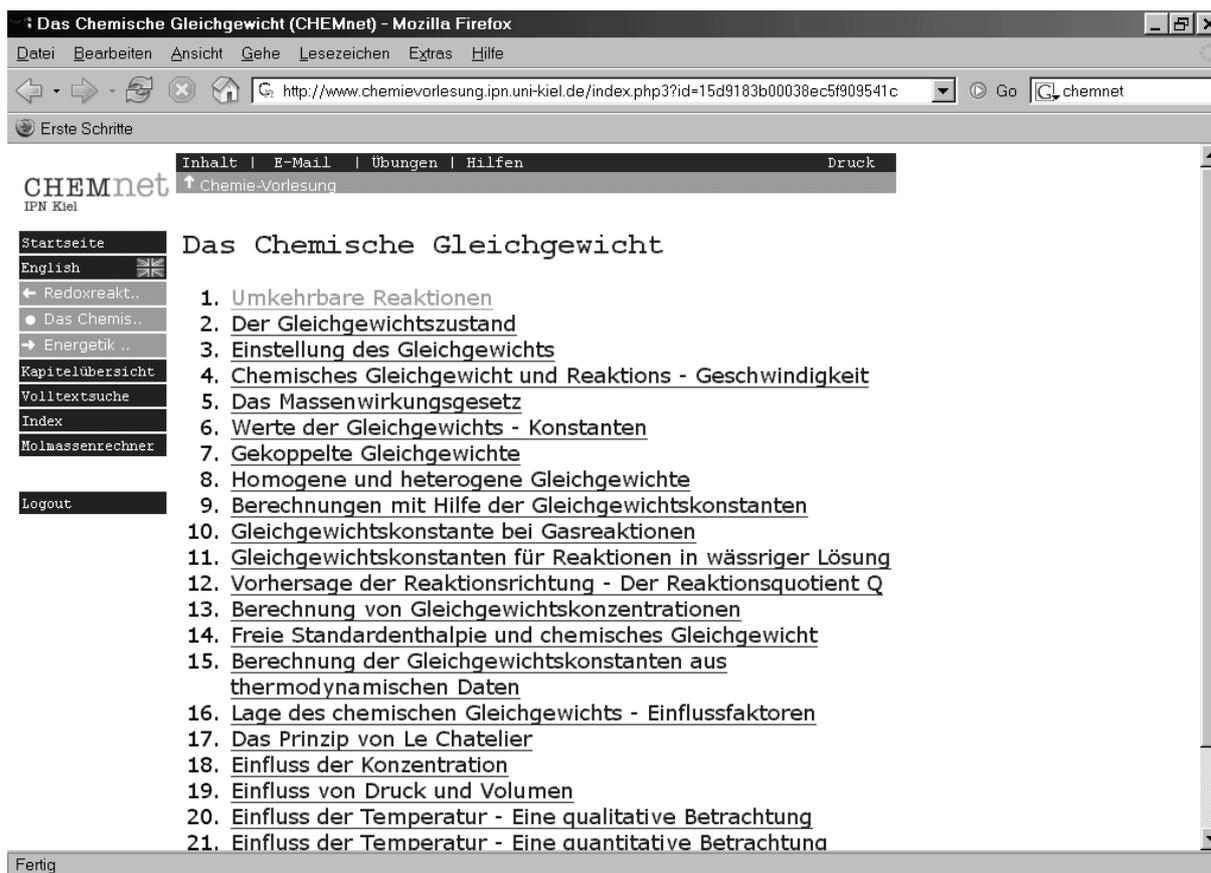


Abbildung 14: Screenshot der Bedienungsfläche von ChemNet (www.chemievorlesung.uni-kiel.de)

9.1.4 Kurztraining exekutiver Metakognition

Es soll nun das ca. 20-minütige Kurztraining exekutiver Metakognition genauer beschrieben werden. Dieses Training nimmt auf schon existente Trainings Bezug. Hasselhorn (1992) entwickelte im Rahmen eines allgemeinen Metakognitionstrainings ein Arbeitsblatt, auf dem Phasen der exekutiven Metakognition beschrieben waren. Bannert (2003; 2004) adaptierte ein solches Training für das Lernen mit Hypertext (vgl. Kapitel 6). In der vorliegenden Untersuchung wurde die Idee eines Trainings der exekutiven Metakognition auf den verwendeten Hypertext CHEMnet angepasst. Dazu wurde ein Lernschema entwickelt, welches in Abbildung 15 wiedergegeben ist.

Innerhalb des Trainings wurden Prinzipien des Beobachtungs- oder Modelllernens angewendet (Bandura, 1977). Nach einer kurzen Einleitung über den Aufbau und Nutzen des Lernschemas demonstrierte die Versuchsleiterin jede der im Lernschema aufgeführten Phasen anhand einer Aufgabe zur CHEMnet-Seite „Karies durch Säuren“. Während des Trainings wurde jede im Lernschema dargestellte Phase zunächst erklärt und kurz begründet, wozu diese Phase dient. Eine Begründung wurde geliefert, da in der Forschung zu Metakognition und Lernstrategien teilweise die Forderung aufgestellt

wurde, dem Lernenden den Sinn und Zweck einzelner (metakognitiver) Strategien offenzulegen, um so eine bessere Akzeptanz zu erreichen (Aebli & Ruthemann, 1987). Dann führte die Versuchsleiterin die Anwendung der Lernaktivität anhand des Beispiels vor. Abschließend wurde nach der Erklärung jeder Phase gefragt, ob der Teilnehmer noch Fragen bezüglich dieser Phase habe. Die genauen Instruktionen des gesamten Kurztrainings sind in Anhang G abgedruckt.

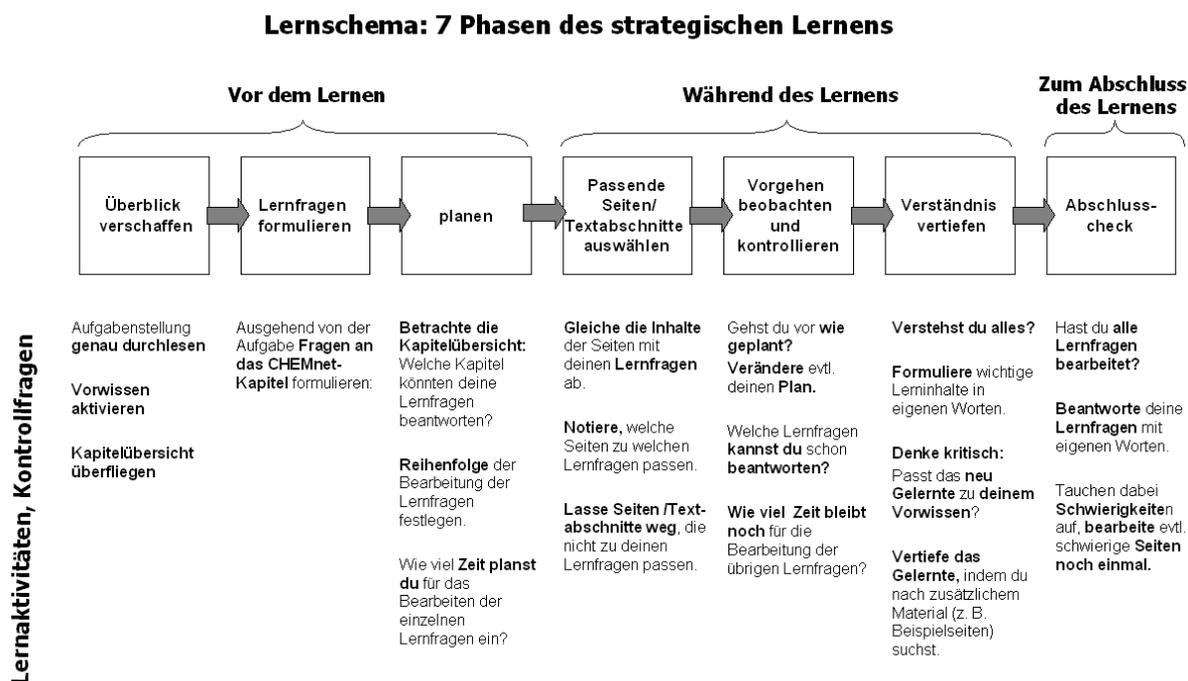


Abbildung 15: Lernschema zum Kurztraining der exekutiven Metakognition

Zum Abschluss des Trainings sollte die Versuchsperson der Versuchsleiterin erzählen, was die strategischen Lernphasen beinhalteten. Dazu wurde nur das Flussdiagramm aus Abbildung 15 vorgelegt, die aufgeführten Lernaktivitäten wurden mit einem Blankopapier abgedeckt. Die Versuchsperson sollte nun berichten, was ihr über den Inhalt der einzelnen Phasen in Erinnerung geblieben war. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Versuchsperson dies nicht als Prüfung auffassen sollte und es vielmehr um die Klärung von Missverständnissen gehe. Bei den nun folgenden Ausführungen der Versuchsperson wurden jedoch durchaus eigene Interpretationen des Phasenmodells zugelassen und es wurde versucht, nur wirklich grobe Missverständnisse auszuräumen.

Während der auf das Training folgenden Lernphase hatten die Versuchspersonen der Trainingsgruppe das Lernschema zu den Phasen des strategischen Lernens aus Abbildung 15 zur Verfügung, außerdem bekamen sie ein Arbeitsblatt, in das sie ihre persönlichen Lernfragen und die dazu gefundenen Seiten oder Abschnitte in CHEMnet eintragen konnten (siehe Anhang H).

9.1.5 Operationalisierung der exekutiven Metakognition mit Protokollen lauten Denkens

Die exekutive Metakognition wurde in der zweiten Studie direkt mittels der Methode des lauten Denkens erfasst. Wie in Kapitel 5 herausgearbeitet, ist diese Methode, wie auch konkurrente Erhebungsmethoden im Allgemeinen, zur Erfassung der exekutiven Metakognition gegenüber retrospektiven Erhebungsmethoden, wie z. B. Fragebögen, vorzuziehen. Im Folgenden soll die gesamte Datengewinnung und -verarbeitung bezüglich der Protokolle lauten Denkens geschildert werden. Zunächst soll das Vorgehen bei der Aufnahme beschrieben werden (Abschnitt 9.1.5.1), dann wird auf die Transkription dieser Aufnahmen eingegangen (Abschnitt 9.1.5.2), daran schließen die Beschreibung der Kodierung (Abschnitt 9.1.5.3) und eine weitere Analyse der Kategorien (Abschnitt 9.1.5.4) an.

9.1.5.1 Vorgehen bei Instruktion und Aufnahme des lauten Denkens

Die Instruktion zum lauten Denken (siehe Anhang F) wurde den Ratschlägen von Ericsson und Simon (1993, siehe Abschnitt 5.2.2) folgend gestaltet. So hatte jede Versuchsperson zunächst Gelegenheit, sich anhand der Beispielaufgabe „Atome“ (siehe Anhang F) an das laute Denken zu gewöhnen. Das verwendete digitale Aufnahmegerät (Olympus DM 20) produzierte sehr gute Aufnahmen, so dass die Versuchspersonen nicht besonders laut sprechen mussten. Es war für die Versuchspersonen somit möglich, „vor sich hin zu sprechen“, ohne dabei von der Versuchsleiterin mit einer Bitte um mehr Lautstärke unterbrochen zu werden und dadurch die Aufmerksamkeit auf die Versuchsleiterin lenken zu müssen. Auch wurde die Schaffung einer sozialen Situation vermieden, indem ein direkter Blickkontakt zwischen Versuchsperson und Versuchsleiterin nicht möglich war, sich die Versuchsleiterin möglichst weit entfernte und sich augenscheinlich mit etwas Anderem beschäftigte.

9.1.5.2 Transkription

Nach Beendigung der Versuchsreihe wurden die digitalen Daten zunächst transkribiert und dann kodiert. Für beide Arbeitsschritte wurde das IPN-eigene Programm Videograph[®] (Rimmele, 2002) eingesetzt. In den Programmhilfen des Videograph[®] wird explizit darauf hingewiesen, dass sich dieser auch zur Transkription und Kodierung von Tonaufnahmen eignet.

Die Verfasserin wurde bei der Transkription der Tonaufnahmen durch zwei wissenschaftliche Hilfskräfte unterstützt. Zur Transkription lagen als

Zusatzinformationen die Notizzettel und bei der Kontrollgruppe das Arbeitsblatt zum Eintragen der Lernfragen der jeweiligen Versuchsperson vor. Für die Transkription bietet der Videograph[®] spezielle Funktionen. Im Videograph[®] kann ein Editorfenster zur Texteingabe aufgerufen werden. In der Zeitleiste der Audio- oder Videodatei kann ein Intervall eingestellt werden, welches dann im Endlosdurchlauf abgespielt wird, bis per Mausklick in das nächste Intervall gesprungen wird. Für die Erstellung der Transkripte wurden jeweils 10-Sekunden-Intervalle genutzt. Der Videograph[®] ermöglicht zudem einen Export der Transkripte z. B. in ein Textverarbeitungsprogramm, der Export kann entweder mit oder ohne Angabe der Zeitintervalle im Transkript erfolgen.

Für die Transkription wurden Transkribierregeln aufgestellt, die sich an einem Transkriptionsmanual von Seidel, Kobarg und Rimmel (2003a) orientieren, jedoch auf Grund der sich unterscheidenden Forschungsfragen verkürzt sind und die Besonderheiten des vorliegenden Lernszenarios berücksichtigen (siehe Anhang I). Auf der Basis der Transkripte der Audiodaten konnte nun die Kodierung vorgenommen werden.

9.1.5.3 Kodierung

Für die Kodierung wurde eigens ein Kodiersystem entwickelt. Dieses Kodiersystem nimmt auf schon verwendete Kodiersysteme für metakognitive und kognitive Strategien Bezug (Bannert, 2003; Konrad, 2005; Kunz & Drewniak, 1991; Kunz et al., 1992; Richter et al., 2005). Diese verschiedenen Kodiersysteme wurden in Abschnitt 5.2.2 miteinander verglichen.

Für die Entwicklung des eigenen Kodiersystems wurde entschieden, dass der Planungsbereich ausdifferenziert werden soll, da dieses gut zum verwendeten Lernszenario unter Verwendung eines Hypertexts passt. Durch das Verwenden des Hypertexts sind gerade zu Anfang Orientierungsaktivitäten zu erwarten. Die verwendete Lernaufgabe könnte eine Beschäftigung mit Lernzielen zur Folge haben und in der Planung des Lernprozesses sollen diese beiden Aspekte, die Orientierung und das Beschäftigen mit Lernzielen, integriert und in einen inhaltlichen und zeitlichen Ablauf gebracht werden. Des Weiteren wurde zwischen strategy-utility-monitoring, comprehension-monitoring und Evaluation unterschieden. Strategy-utility-monitoring und comprehension-monitoring stellen zwei qualitativ unterschiedliche Prozesse dar: Im einen Prozess werden die gewählte Planung und die daraus resultierenden Strategien überwacht, im anderen Prozess wird das eigentliche Verstehen der Lerninhalte hinterfragt. Beide Prozesse können zu Regulationsaktivitäten führen. In der abschließenden Evaluation werden im Idealfall sowohl strategy-utility-monitoring- als auch comprehension-monitoring-Aktivitäten parallel ausgeführt. In dieser Lernphase beurteilt der Lerner die Vollständigkeit und Qualität der Lernzielerreichung oder

Aufgabenbearbeitung abschließend. Das aus den Vergleich schon existierender Kategoriensysteme und den voranstehenden Überlegungen resultierende Kodiersystem ist in Tabelle 20 kurz dargestellt. Das ausführliche Kodiersystem, welches die eigentliche Kodiergrundlage bildete, findet sich in Anhang J.

Tabelle 20: Kategorien des Kodiersystems zur exekutiven Metakognition

| Kategorie exekutiver Metakognition | Kurzbeschreibung der Kategorie |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Orientierung | Vor und während des Lernprozesses erfolgende Aktivitäten der Orientierung. Es wird z. B. die Aufgabenstellung paraphrasiert oder die Struktur des CHEMnet Kapitels überflogen. Es geht hierbei eher um eine erste inhaltliche Auseinandersetzung als um die Ableitung von Handlungsanleitungen, die den Lernzielen zuzuordnen wären. |
| Festlegen von Lernzielen | Zu Beginn oder während der Lernphase wird eine Ausrichtung auf die vorgegebenen oder selbst formulierten Lernziele thematisiert. |
| Planung | Die Kategorie Planung kennzeichnet Sinneinheiten, in denen der Lösungsweg, ein Teil davon oder zu erreichende Teilziele antizipiert werden (Artzt & Armour-Thomas, 1992). Der Lerner überlegt hierbei, in welcher Reihenfolge er welche Lernmaterialien bearbeiten möchte, um seine Lernziele zu erreichen. Entscheidend ist hierbei die Antizipation, also die gedankliche Vorwegnahme chronologisch späterer Handlungsteile. |
| Comprehension-monitoring | Beobachtung der eigenen Lernhandlung und Kontrolle der Lernzielerreichung hinsichtlich des Verständnisses. |
| Strategy-utility-monitoring | Beobachtung der eigenen Lernhandlung und Kontrolle der Lernzielerreichung hinsichtlich eines Lernplanes, den die Versuchsperson gefasst hat. |
| Regulation | Hierbei wird der Lernvorgang in Folge des Monitoring verändert. Das Monitoring muss hierzu vorher nicht laut ausgesprochen worden sein. Durch Regulation werden im Monitoring erkannte Lernschwierigkeiten behoben, indem z. B. versucht wird, das Verständnis zu verbessern oder das Behalten zu fördern. Hierzu verwenden die Lernenden bewusst oder unbewusst kognitive Lernstrategien. |
| Abschließende Evaluation | Hierbei gleicht der Lerner abschließend seine Lernergebnisse mit den individuellen oder in der Aufgabe vorgegebenen Lernzielen ab. Hierbei steht nicht der <i>Kontrollprozess</i> , sondern die abschließende <i>Beurteilung und Sicherung</i> von Lernergebnissen im Vordergrund. |

Zur Verdeutlichung der Indikatoren der einzelnen Kategorien wurden nach Sichtung einiger Protokolle lauten Denkens Beispielzitate in das Kodiersystem eingefügt. Anhand dieses Kodiersystems kodierte die Verfasserin alle 28 vorliegenden Protokolle. Die Kodierung beginnt mit dem lauten Lesen der Aufgabe durch die Versuchsperson und endet mit der Beendigung der Lernphase durch die Versuchsleiterin.

Für die Kodierung wurde ein *time-sampling* oder Zeitstichproben-Verfahren angewandt (Bortz & Döring, 2003). Ein solches Verfahren hat auch Seidel (2003) in einer Videostudie verwendet. In dieser Studie gibt es thematische Verwandtheiten zur

vorliegenden Studie, da kognitive Lernstrategien (Elaboration und Organisation) kodiert wurden. Eine Kodierung von Lernstrategien in 10-Sekunden-Intervallen ist also durchaus sowohl theoretisch sinnvoll als auch praktisch durchführbar. Deshalb scheint diese Methode auch für die exekutive Metakognition sehr geeignet. Es wurden daher jeweils 10-Sekunden-Intervalle hinsichtlich der exekutiven Metakognition kodiert. Innerhalb der 10-Sekunden-Intervalle sollte das Kodiersystem disjunkt angewendet werden, d. h. es konnte nur eine Kodierung vergeben werden, simultane Kodierungen waren nicht möglich. In dem Fall, dass metakognitive Aktivitäten aus zwei verschiedenen Bereichen in einem Intervall vorkamen, musste die Kodiererin entscheiden, welche Kategorie besser passte.

Auch diese Kodierung wurde mit Hilfe des Videograph[®] vorgenommen. Dazu wurden zunächst die im Kodiersystem beschriebenen Kategorien in das Programm übertragen. Für die eigentliche Eingabe der Kodierung kann ein Kodierfenster aufgerufen werden, in dem die Kodierungen eingegeben werden. Die eingegebenen Kodierungen werden direkt in der Zeitleiste der Tonaufnahme farbig angezeigt. Ist ein Intervall kodiert, kann durch die einfache Betätigung einer Pfeiltaste ins nächste Kodierintervall gesprungen werden.

Tabelle 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bereiche exekutiver Metakognition

| Bereiche exekutiver Metakognition | N | Absolute Häufigkeiten | | | | Relative Häufigkeiten | | | |
|-----------------------------------------|----|-----------------------|-------|-----|-----|-----------------------|-------|-------|-------|
| | | M | SD | Min | Max | M | SD | Min | Max |
| Orientierung | 28 | 4.86 | 5.56 | 0 | 22 | 1.97 | 2.33 | 0 | 8.50 |
| Festlegen von Lernzielen | 28 | 6.57 | 6.72 | 0 | 24 | 2.64 | 2.73 | 0 | 10 |
| Planung | 28 | 7.36 | 9.59 | 0 | 36 | 2.96 | 3.84 | 0 | 15.40 |
| Strategy-utility-monitoring | 28 | 21.79 | 9.23 | 5 | 44 | 8.61 | 3.51 | 1.90 | 16.80 |
| Comprehension-monitoring | 28 | 10.21 | 6.74 | 0 | 25 | 3.98 | 2.56 | 0 | 9.70 |
| Regulation | 28 | 15.43 | 9.62 | 2 | 39 | 6.01 | 3.65 | .70 | 15.30 |
| Evaluation | 28 | 11.82 | 12.15 | 0 | 38 | 4.79 | 4.96 | 0 | 15.00 |
| Keine exekutive Metakognition | 28 | 175.04 | 36.71 | 100 | 233 | 69.04 | 12.83 | 39.20 | 90.90 |

Die absoluten und relativen Häufigkeiten beziehen sich jeweils auf die kodierten 10-Sekunden-Intervalle. Für die relative Häufigkeit wurde die Anzahl der jeweiligen 10-Sekunden-Intervalle durch die Gesamtanzahl an 10-Sekunden-Intervallen geteilt.

Zur Bestimmung der Interraterreliabilität der Kodierungen bewertete eine Psychologiestudentin vier Protokolle lauten Denkens mit insgesamt 1002 Beobachtungseinheiten. Sie orientierte sich dabei am vorher beschriebenen Kodiersystem. Die prozentuale Übereinstimmung der Kodierungen lag bei 85%, Cohens

Kappa lag bei $\kappa = .70$. Diese Kennwerte für die Interraterreliabilität sind als zufriedenstellend zu bewerten (vgl. Bortz & Döring, 2003; Diehl & Staufenbiehl, 2002).

Die nun vorliegenden Häufigkeiten der einzelnen Bereiche exekutiver Metakognition wurden in relative Häufigkeiten umgerechnet, um einen eventuellen Einfluss unterschiedlicher Lernzeiten zu eliminieren. Die Kennwerte der einzelnen Bereiche exekutiver Metakognition sind in Tabelle 21 dargestellt.

9.1.5.4 Reanalyse der Kategorien

In Abschnitt 5.2.2 (siehe Tabelle 5) wurden Autoren mit verschiedenen Auffassungen hinsichtlich der Ausdifferenziertheit der Bereiche exekutiver Metakognition vorgestellt. Daher soll der gewählte relativ ausdifferenzierte Ansatz hinsichtlich seiner inneren Zusammenhänge analysiert werden. Dazu wurden die bivariaten Korrelationen aller kodierten Bereiche exekutiver Metakognition, basierend auf den relativen Häufigkeiten dieser Bereiche, berechnet (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Interkorrelationen der relativen Häufigkeiten der Bereiche exekutiver Metakognition

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------|---|-------|-------|-----|------|-------|------|
| 1 Orientierung | 1 | .72** | .47* | .26 | -.01 | .13 | .12 |
| 2 Festlegen von Lernzielen | | 1 | .76** | .19 | .07 | -.12 | .16 |
| 3 Planung | | | 1 | .08 | .05 | .04 | .24 |
| 4 Strategy-utility-monitoring | | | | 1 | -.21 | .03 | .22 |
| 5 Comprehension-monitoring | | | | | 1 | .62** | -.10 |
| 6 Regulation | | | | | | 1 | .12 |
| 7 Evaluation | | | | | | | 1 |

* $p \leq .05$, ** $p \leq .01$

Die Korrelationstabelle zeigt starke Zusammenhänge zwischen den drei Planungskategorien und einen starken Zusammenhang zwischen comprehension-monitoring und Regulation. Die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Planungsvariablen sind durchaus plausibel und werden z. B. auch im Kategoriensystem von Richter et al. (2004) so angenommen. Der Zusammenhang zwischen comprehension-monitoring (Verständniskontrolle) und Regulation (Verständnisverbesserung) lässt sich eventuell damit erklären, dass bei den tatsächlichen

Denkvorgängen diese beiden Bereiche exekutiver Metakognition ineinander übergehen und die Verständniskontrolle schon zur Verständnisverbesserung beiträgt.

Um die Möglichkeit einer Variablenaggregation zu prüfen, wurde nun eine Faktorenanalyse durchgeführt, für die insgesamt vier unabhängige Faktoren angenommen wurden: eine Planungskomponente, eine strategy-utility-monitoring-Komponente, eine Verständniskontroll- und Verständnisverbesserungskomponente und eine Evaluationskomponente. Die Stichprobe ist für die Anwendung einer Faktorenanalyse zwar sehr klein, jedoch gibt es Grund zu der Annahme, dass die Informationen einiger Kategorien zusammengefasst werden könnten. Backhaus (2000) gibt an, dass bei einer Faktorenanalyse die Stichprobe mindestens so groß wie die Anzahl der Variablen, besser jedoch dreimal so groß sein sollte. Dieses Kriterium ($7 \text{ Variablen} \cdot 3 = 21$, $N = 28$) ist im vorliegenden Fall erfüllt.

Als Extraktionsmethode wurde die Hauptkomponentenanalyse gewählt. Nach dem Kaiser-Guttman-Kriterium ergeben sich drei Faktoren mit einem Eigenwert größer als 1. Da jedoch vier Faktoren erwartet wurden und der vierte Faktor rund 12 % zur Varianzaufklärung beiträgt, wurden 4 Faktoren extrahiert (siehe Tabelle 23). Auch der Scree-Test (siehe Abbildung 16) widerspricht dieser Extraktion nicht.

Tabelle 23: Eigenwerte und Prozent aufgeklärter Varianz und kumulierte Prozente aufgeklärter Varianz durch die Hauptkomponenten

| Hauptkomponente | Eigenwert | Prozent aufgeklärter Varianz | Prozent kumulierter aufgeklärter Varianz |
|-----------------|-----------|------------------------------|------------------------------------------|
| 1 | 2.46 | 35.14 | 35.14 |
| 2 | 1.66 | 23.65 | 58.79 |
| 3 | 1.14 | 16.30 | 75.09 |
| 4 | .84 | 12.03 | 87.11 |

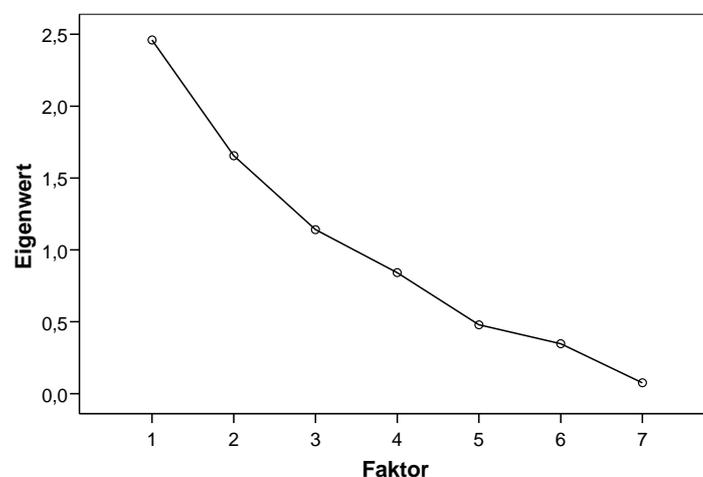


Abbildung 16: Screeplot der Eigenwerte

Die Kommunalitäten der einzelnen Variablen liegen bei dieser Extraktion sehr hoch ($M = .87$, $SD = .06$, siehe Tabelle 24), was für eine recht stabile Lösung trotz kleiner Stichprobenzahl spricht. Als Rotationsmethode wurde die Varimax-Rotation gewählt, da zum einen unabhängige Faktoren angenommen wurden und andererseits zuvor eine oblique Rotation durchgeführt wurde, bei der die Faktoren nur gering korrelierten (siehe Korrelationsmatrix in Tabelle 24). Die Ladungsmatrix der extrahierten Hauptkomponenten ist in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 24: Kommunalitäten der Variablen bei der 4-Faktorenlösung

| Kategorie | Kommunalitäten (h^2) |
|-----------------------------|--------------------------|
| Orientierung | .77 |
| Festlegen von Lernzielen | .92 |
| Planung | .80 |
| Strategy-utility-monitoring | .91 |
| Comprehension-monitoring | .84 |
| Regulation | .89 |
| Evaluation | .96 |

Tabelle 25: Interkorrelationen der Faktoren

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|-----|------|-----|
| 1 | 1 | .04 | .17 | .15 |
| 2 | | 1 | -.06 | .00 |
| 3 | | | 1 | .15 |
| 4 | | | | 1 |

Rotationsmethode: Promax ($Kappa = 4$)

Tabelle 26: Ladungsmatrix nach Varimax-Rotation

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Orientierung | .79 | | .36 | |
| Festlegen von Lernzielen | .96 | | | |
| Planung | .85 | | | .25 |
| Strategy-utility-monitoring | | | .94 | |
| Comprehension-monitoring | | .88 | -.24 | |
| Regulation | | .92 | | |
| Evaluation | | | | .97 |

Faktorladungen zwischen $-.15$ und $.15$ werden nicht dargestellt.

Fettdruck: Zuordnung zu den neuen Variablen

Das Ergebnis der Faktorenanalyse entspricht den zuvor formulierten Überlegungen. Da die drei Planungskategorien anscheinend ähnliche Informationen enthalten, sollen sie unter der neuen Variable „Planung“ zusammengefasst werden. Ebenso scheinen die Kategorien comprehension-monitoring und Regulation redundante Informationen zu enthalten und sollen in der neuen Variable „Verständnisregulation“ zusammengefasst werden. Die Variablen strategy-utility-monitoring und Evaluation bleiben als Einzelvariablen bestehen. Die neu zusammengefassten Variablen werden durch Summenbildung aus den eingehenden Einzelkategorien berechnet. Die Kennwerte und Variablennamen der resultierenden Variablen für die weitere Auswertung sind in Tabelle 27 aufgeführt. Die Itemanalysen der beiden Neuberechneten Variablen finden sich in Anhang K. Die internen Konsistenzen der Items der beiden Neuberechneten Variablen sind als zufriedenstellend zu bewerten (siehe Tabelle 27).

Tabelle 27: Kennwerte der neugebildeten Variablen der Bereiche exekutiver Metakognition basierend auf den relativen Häufigkeiten

| Variable | Variablenname | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|-----------------------------|---------------|------------|------|------|------|-------|--------------------|
| Planung | PLAN | 3 | 7.59 | 7.87 | 0 | 29.60 | .82 |
| Strategy-utility-monitoring | MONITOR | 1 | 8.61 | 3.51 | 1.90 | 16.40 | ./. |
| Verständnisregulation | REGULAT | 2 | 9.99 | 5.62 | 1.40 | 21.60 | .74 |
| Evaluation | EVALUAT | 1 | 4.79 | 4.96 | 0 | 15.00 | ./. |

9.1.6 Weitere Erhebungsinstrumente

Die nun vorzustellenden weiteren Erhebungsinstrumente dienen einerseits der Kontrolle von Störvariablen und andererseits der Messung der abhängigen Variablen Lernleistung und kognitive Belastung. Mit den Instrumenten zu den chemiespezifischen Lernervoraussetzungen (Abschnitt 9.1.6.1, chemiespezifisches Selbstkonzept und Chemieinteresse) und zum Vorwissen (Abschnitt 9.1.6.2) soll die Äquivalenz der Untersuchungsgruppen hinsichtlich dieser wichtigen Variablen kontrolliert werden. Eine solche Kontrolle der Äquivalenz der Lernervoraussetzungen soll trotz einer Randomisierung der Verteilung der Versuchspersonen auf die Untersuchungsgruppen angesichts der kleinen Stichprobengröße durchgeführt werden. Mit den Skalen des Wissenstests (Abschnitt 9.1.6.2) soll die tatsächliche Lernleistung der Versuchspersonen festgestellt werden. Mit der Skala zur kognitiven Belastung und dem kurzen Abschlussinterview (Abschnitt 9.1.6.3) sollen schließlich eventuelle unerwünschte Effekte des angewendeten Kurztrainings zur exekutiven Metakognition und des lauten Denkens kontrolliert werden.

9.1.6.1 Kurzskalen zum chemiespezifischen Selbstkonzept und zum Chemieinteresse

Zusammen mit dem Anmeldebogen wurden Kurzskalen zum chemiespezifischen Selbstkonzept und zum Chemieinteresse erhoben. Diese Skalen stellen Kurzformen der in Studie I verwendeten Skalen dar (siehe Abschnitt 8.1.2.2). Die einzelnen Items der beiden Skalen bestehen wieder aus Aussagesätzen, die auf einer vierstufigen Likert-Skala mit den Skalenpunkten „trifft nicht zu“ (1), „trifft etwas zu“ (2), „trifft ziemlich zu“ (3) und „trifft voll zu“ (4) bewertet werden sollen.

Die negativ formulierten Items der Kurzskalen wurden zunächst entsprechend umkodiert, die betreffenden Items sind in Anhang N, Tabelle 1 und 2, angegeben. Es gab keine fehlenden Werte. Die Itemanalysen sind ebenfalls in Anhang N zu finden. Die Trennschärfen sind in beiden Skalen als gut zu bewerten, nachdem aus der Kurzsкала für Chemieinteresse eine Item entfernt wurde. Die Kennwerte der Kurzskalen sind in Tabelle 28 angegeben.

Tabelle 28: Kennwerte der Skalen zum chemiespezifischen Selbstkonzept und Chemieinteresse

| Skala | Variablenname | N | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|----------------------------------|---------------|----|------------|-------|------|-----|-----|--------------------|
| Chemiespezifisches Selbstkonzept | SELBSTKO | 28 | 6 | 16.54 | 3.28 | 9 | 23 | .83 |
| Chemieinteresse | INTERESS | 28 | 2 | 5.75 | 1.51 | 2 | 8 | .64 |

9.1.6.2 Vorwissenstest und Wissenstest

Für den Vorwissenstest und den Wissenstest wurden Aufgaben aus einem Wissenstest zum Chemischen Gleichgewicht von Stracke (2004) genutzt. Dieser Test wurde zwar für Studienanfänger der Chemie entwickelt, doch Stracke (2004) bemerkt selbst, dass diese in ihrem Wissensstand über das Chemische Gleichgewicht Oberstufenschülern entsprechen. Der Test wurde als umfassender Wissenstest zum Chemischen Gleichgewicht mit Erinnerungs-, Verständnis- und Anwendungsfragen entwickelt. Die beiden verwendeten Tests (Vorwissenstest und Wissenstest), die bis auf einige Aufgaben identisch sind, können im Anhang L eingesehen werden.

Die Aufgaben wurden entsprechend der in der Aufgabenstellung (siehe Anhang F) für die Lernphase formulierten Lernziele in drei unterschiedliche thematische Unterskalen eingeteilt: „Gleichgewichtszustand und Massenwirkungsgesetz“ (GZMW), „Einflüsse auf das Gleichgewicht“ (EGLW) und „Interpretation der Gleichgewichtskonstanten“ (IGK). Diese Einteilung ist ebenfalls im Anhang L kenntlich gemacht. Die ersten beiden thematischen Unterskalen zu „Gleichgewichtszustand und Massenwirkungsgesetz“ und den „Einflüssen auf das Gleichgewicht“ waren in den Lernzielen enthalten, die in der Aufgabenstellung für beide Untersuchungsgruppen aufgeführt wurden. Die dritte

Unterskala war nicht als Lernziel der Aufgabe anzusehen, konnte aber mit dem in CHEMnet zur Verfügung stehenden Lernmaterial beantwortet werden.

Für die offenen Antworten wurde nach Sichtung der Fragebögen ein Kodierschema erstellt, welches sich an dem von Stracke (2004) formulierten Erwartungshorizont orientiert (siehe Anhang M). Bei den Multiple-Choice-Aufgaben wurde jeweils ein Punkt für die richtig angekreuzte/n Antwort/en vergeben, in Aufgabe GZMW 5 wurde ein Punkt vergeben, wenn die Stelle in einer Abbildung zur Einstellung des Gleichwichts gekennzeichnet wurde, in der die Konzentrationslinien der beteiligten Stoffe parallel verlaufen. Zur Bestimmung der Interraterreliabilität der offenen Antworten wurden diese neben der Verfasserin noch von einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin der Abteilung für Chemiedidaktik am IPN kodiert. Da die Aufgaben IGK3, IGK4, IGK5 und GZMW2 im Vorwissenstest übereinstimmend von beiden Ratern für alle Teilnehmer mit 0 Punkten bewertet wurden, wurden diese Aufgaben aus der Auswertung des Vorwissenstests ausgeschlossen. Für die übrigen Aufgaben betrug das durchschnittliche Cohens Kappa, berechnet auf der Basis aller 28 Datensätze, $\kappa = .83$, die genauen Kappa-Werte für alle Aufgaben sind ebenfalls dem Anhang M zu entnehmen. Aus dem abschließenden Wissenstest wurde wieder das Item IGK3 ausgeschlossen, da es wieder von beiden Ratern übereinstimmend bei allen Versuchspersonen mit 0 Punkten bewertet worden war. Das durchschnittliche Cohens Kappa des Wissenstests beträgt $\kappa = .80$, die genauen Kappa-Werte finden sich wieder in Anhang M. Sowohl die Kappa-Werte für den Vorwissenstest als auch für den Wissenstest können als insgesamt sehr gut beurteilt werden (vgl. Diehl & Staufenbiehl, 2002).

Als nächstes wurden, um Itemanalysen durchführen zu können, die teilweise mehrstufigen Antwortformate in dichotome Antwortformate mit den Stufen 0 und 1 umkodiert (siehe Anhang M). Für die Umkodierung wurden die Schwierigkeitsindizes der jeweiligen Items beachtet. Bei der Analyse des Vorwissenstests wurden die unterschiedlichen thematischen Skalen noch nicht berücksichtigt, da hier noch keine Unterschiede des Vorwissens bezüglich verschiedener Themen erwartet wurden. Diese Unterschiede sollten erst aus der gestellten Aufgabe resultieren. Die Itemanalyse (siehe Anhang N, Tabelle 3) führte zum Ausschluss einiger Items, so dass eine ausreichende interne Konsistenz erreicht werden konnte (siehe Tabelle 29). Der abschließende Wissenstest wurde einerseits hinsichtlich der oben aufgeführten Unterskalen analysiert, außerdem wurde der Wissenstest auch zu einer Gesamtskala zusammengefasst. Die Kennwerte und internen Konsistenzen der Unterskalen des Wissenstests und des Gesamtwissenstests sind ebenfalls Tabelle 29 zu entnehmen; die zugehörigen Itemanalysen sind in Anhang N, Tabelle 4, aufgeführt.

Tabelle 29: Kennwerte der Skalen zum Vorwissens- und Wissenstest

| Skala | Variablenname | N | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|------------------------------------------------|---------------|----|------------|-------|------|-----|-----|--------------------|
| Vorwissen | VORWISS | 28 | 8 | 3.79 | 2.17 | 0 | 8 | .68 |
| Gleichgewichtszustand/ Massenwirkungsgesetz | GZMW | 28 | 7 | 5.07 | 1.94 | 1 | 7 | .74 |
| Einflüsse auf das Gleichgewicht | EGLW | 28 | 7 | 4.11 | 1.66 | 0 | 7 | .60 |
| Interpretation der Gleichgewichtskonstanten | IGK | 28 | 6 | 2.82 | 1.52 | 0 | 5 | .56 |
| Gesamtwissenstest | WTGESAMT | 28 | 19 | 11.29 | 3.47 | 2 | 17 | .73 |

9.1.6.3 Kognitive Belastung

Die Cognitive Load Theory geht auf Sweller (1988) zurück. Die Theorie geht von einem begrenzten Speicher des Arbeitsgedächtnisses aus (Baddeley, 1992). Die Theorie beschäftigt sich damit, welche Faktoren, wie z. B. die Vertrautheit mit dem Lernmaterial oder die Nutzung verschiedener Modalitäten, die kognitive Belastung beeinflussen können. Es werden drei Arten der kognitiven Belastung unterschieden: Intrinsic, Extraneous und Germane (Paas, Renkl & Sweller, 2004; Sweller, VanMerriënboer & Paas, 1998). Intrinsic Load wird durch die Komplexität des Lernmaterials im Verhältnis zum Vorwissen des Lerners bestimmt, Extraneous Load ist gekennzeichnet durch Informationsverarbeitungsprozesse, die vom Lernmaterial gefordert werden, aber nicht unmittelbar zum Wissenserwerb beitragen, während Germane Load ebenfalls vom Lernmaterial verursacht wird, allerdings Prozesse anregt, die zum Wissenserwerb beitragen. Diese drei Teilbereiche zusammen ergeben die gesamte kognitive Belastung, die, sollte sie die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses überschreiten, bewirken kann, dass das Lernen ineffektiv wird.

Besonders bei der Forschung zum computergestützten Lernen findet die Cognitive Load Theory häufig Anwendung. Da die in der vorliegenden Studie im Training der exekutiven Metakognition erlernten Aktivitäten eventuell eine zusätzliche kognitive Belastung zum Lernen mit dem Hypertext darstellen könnten, soll die empfundene kognitive Belastung auch am Ende dieser Untersuchung als Kontrollvariable mit einer Skala erfasst werden. Friedrich und Mandl (1992) berichten, dass Strategietrainings Lerner häufig zusätzlich kognitiv belasten und so paradoxe Effekte von Strategietrainings erklärt werden können. Renkl, Gruber, Weber, Lerche und Schweizer (2003) stellten ein Dual-Task-Paradigma zur Erfassung der kognitiven Belastung online vor. Von einer solchen Online-Erfassung soll in dieser Studie jedoch abgesehen werden, da die kognitive Belastung nicht im Mittelpunkt des Forschungsinteresses steht und nur zur zusätzlichen Erklärung der Ergebnisse genutzt werden soll. Die genutzte Skala zur kognitiven Belastung geht auf Nerdel (2003) zurück. Die Skala wurde so modifiziert,

dass eine einheitliche Likert-Skala mit den Skalenpunkten „trifft nicht zu“ (1), „trifft etwas zu“ (2), „trifft ziemlich zu“ (3) und „trifft voll zu“ (4) verwendet werden konnte. Die Itemanalysen (siehe Anhang N, Tabelle 6) ergaben angemessene Schwierigkeiten und Trennschärfen für jedes Item, so dass alle Items in den Gesamtskalenwert eingehen konnten. Die Kennwerte der Skala zur kognitiven Belastung sind in Tabelle 30 angegeben.

Tabelle 30: Kennwerte der Skala zur kognitiven Belastung

| Skala | Variablenname | N | Itemanzahl | M | SD | Min | Max | Cronbachs α |
|---------------------|---------------|----|------------|-------|------|-----|-----|--------------------|
| Kognitive Belastung | KBGESAMT | 28 | 8 | 13.29 | 3.68 | 8 | 22 | .80 |

9.1.6.4 Kurzes Abschlussinterview

In einem kurzen Abschlussinterview wurden alle Versuchspersonen gefragt, wie sie mit dem lauten Denken zurecht gekommen seien und ob sie denken würden, dass sie etwas dazugelernt hätten. Die Personen der Trainingsgruppe wurden zusätzlich gefragt, ob sie Probleme mit der Anwendung des Lernschemas gehabt hätten. Die Antworten der Versuchsperson wurden von der jeweiligen Versuchsleiterin stichwortartig notiert.

Mit den Fragen sollte kontrolliert werden, ob eventuell und wenn ja welche unerwünschten Effekte kognitiver, motivationaler oder emotionaler Art durch das Training und/oder das laute Denken aufgetreten sind.

9.1.7 Auswertungsmethoden

Im Rahmen der Auswertung sollen für mehrere Variablen Unterschiede bzw. Gleichheiten in der zentralen Tendenz in den beiden Untersuchungsgruppen festgestellt werden. Als statistische Testverfahren stehen für den Vergleich der zentralen Tendenz zweier unabhängiger Gruppen entweder der t-Test, der auf Mittelwertsunterschiede prüft, oder der Mann-Whitney-U-Test, der Medianunterschiede betrachtet, zur Auswahl. Der t-Test setzt zum einen die Normalverteiltheit der Variablen in den beiden zu vergleichenden Gruppen und zum anderen die Varianzenhomogenität der Variablen in beiden Gruppen voraus. Die Normalverteiltheit wird in der Regel ab $N = 20$ pro Gruppe als erfüllt angesehen (Bortz, 1999); dieses Kriterium wird in der vorliegenden Studie jedoch nicht erreicht. Andererseits verweist Bortz (1999) auf die relative Robustheit des t-Tests gegen Voraussetzungsverletzungen, wenn die Stichproben in beiden Gruppen gleich groß sind (in dieser Studie erfüllt) und die Varianzenhomogenität beachtet wird (SPSS stellt für den Fall, dass der Levene-Test auf Varianzenhomogenität signifikant wird, ein Freiheitsgradkorrekturverfahren zur Verfügung). Diesen Überlegungen folgend soll in den folgenden Signifikanzberechnungen der t-Test verwendet werden.

Die gerichteten Hypothesen sollen einseitig getestet werden, das Signifikanzniveau wird auf $\alpha = .05$ festgesetzt. Eine α -Korrektur soll nicht durchgeführt werden, da die geprüften Hypothesen ausreichende inhaltliche Unabhängigkeit aufweisen. Als Indiz für die praktische Bedeutsamkeit der einzelnen Mittelwertsunterschiede sollen die Effektstärken d der Unterschiede berechnet werden. Die Effektstärken werden als Differenz der Mittelwerte geteilt durch die gemeinsame Streuung der Untersuchungsgruppen berechnet (Bortz & Döring, 2003). Die Effektstärke d kann laut Bortz und Döring (2002) wie folgt klassifiziert werden: $d = .20$ ist als kleine Effektstärke anzusehen, $d = .50$ ist als mittlere Effektstärke zu beurteilen und $d = .80$ kann als große Effektstärke interpretiert werden.

9.2 Ergebnisse

9.2.1 Zur Äquivalenz der Untersuchungsgruppen

Im Prinzip kann bei einer Kontrollgruppenstudie bei einer zufälligen Zuteilung der Versuchspersonen auf die Untersuchungsbedingungen von einer Kontrolle aller möglichen Störvariablen ausgegangen werden. Jedoch kann es bei recht kleinen Stichproben trotzdem zu erheblichen systematischen Verzerrungen zwischen den Untersuchungsgruppen kommen. Daher sollen die in dieser Studie erhobenen Lernervoraussetzungen (Vorwissen, chemiespezifisches Selbstkonzept und Chemieinteresse) auf ihre Äquivalenz hin überprüft werden. Die Ergebnisse der entsprechenden t -Tests sind in Tabelle 31 aufgeführt und sprechen dafür, dass die Untersuchungsgruppen in den untersuchten Lernervoraussetzungen als äquivalent angenommen werden können.

Tabelle 31: Kennwerte und t -Tests der Untersuchungsgruppen bezüglich der Lernervoraussetzungsvariablen

| Lerner- voraussetzungs- variable | Kontrollgruppe | | | Trainingsgruppe | | | df | t | p (zwei- seitig) |
|----------------------------------------|----------------|-------|------|-----------------|-------|------|----|------|---------------------|
| | N | M | SD | N | M | SD | | | |
| VORWISS | 14 | 3.36 | 2.17 | 14 | 4.21 | 2.15 | 26 | 1.05 | .30 |
| SELBSTKO | 14 | 15.93 | 3.54 | 14 | 17.14 | 3.01 | 26 | .98 | .34 |
| INTERESS | 14 | 5.93 | 1.44 | 14 | 5.57 | 1.60 | 26 | .62 | .54 |

Eine weitere Störgröße könnte die Durchführung durch zwei verschiedene Versuchsleiterinnen darstellen. Es sind jedoch keine signifikanten oder bedeutsamen Versuchsleiterereffekte in einer der im Folgenden berichteten abhängigen Variablen zu verzeichnen.

9.2.2 Unterschiede der Untersuchungsgruppen bezüglich der exekutiven Metakognition

Die Fragestellung 2.1 bezieht sich auf den Erfolg des Trainings der exekutiven Metakognition. An dieser Stelle soll zunächst die Hypothese 2.1.1 überprüft werden, die annimmt, dass trainierte Schüler mehr exekutive Metakognition zeigen als untrainierte Schüler. Die exekutive Metakognition wurde in dieser Studie durch die kodierten Bereiche exekutiver Metakognition in den Protokollen lauten Denkens operationalisiert.

Tabelle 32: Kennwerte und t-Tests der Untersuchungsgruppen bezüglich der Bereiche exekutiver Metakognition

| Exekutive Metakognition | Kontrollgruppe | | | Trainingsgruppe | | | df | t | p (einseitig) | d |
|-------------------------|----------------|-------|------|-----------------|-------|------|---------------|------|---------------|------|
| | N | M | SD | N | M | SD | | | | |
| PLAN | 14 | 1.60 | 1.50 | 14 | 13.58 | 7.00 | 14.20 (korr.) | 6.26 | <.001 ** | 2.36 |
| MONITOR | 14 | 7.48 | 4.09 | 14 | 9.74 | 2.47 | 26 | 1.77 | .04* | .67 |
| REGULAT | 14 | 10.49 | 5.02 | 14 | 9.50 | 6.32 | 26 | .46 | .33 | -.17 |
| EVALUAT | 14 | 2.80 | 4.30 | 14 | 6.78 | 4.91 | 26 | 2.28 | .02* | .86 |

* $p < .05$, ** $p < .01$. Die Freiheitsgrade eines t-Tests wurden auf Grund mangelnder Varianzhomogenität korrigiert (korr.).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 32 zu betrachten. Die Mittelwertsunterschiede der Variablen Planung, strategy-utility-monitoring und Evaluation werden auf dem 5%-Niveau signifikant, für die Variable Verständnisregulation ist kein signifikanter Mittelwertsunterschied zu verzeichnen. Der Mittelwertsunterschied in der Variable strategy-utility-monitoring weist einen mittleren bis großen Effekt auf, während die Unterschiede in den Variablen Planung und Evaluation einen großen Effekt aufweisen. Die Hypothese 2.1.1 kann also hinsichtlich der Bereiche Planung, strategy-utility-monitoring und Evaluation bestätigt werden.

Der Bereich der Verständnisregulation scheint durch das Kurztraining exekutiver Metakognition bei der Betrachtung der Mittelwerte dagegen unbeeinflusst. Die Hypothese, dass die Trainingsgruppe mehr Verständnisregulation zeigt als die Kontrollgruppe, kann also nicht bestätigt werden.

Insgesamt können diese Ergebnisse auf Grund einer Bestätigung der Hypothese 2.1.1 hinsichtlich drei der vier Bereiche exekutiver Metakognition (Planung, strategy-utility-monitoring, Evaluation) und der Ablehnung der Hypothese in nur einem Bereich (Verständnisregulation) als weitgehende Bestätigung der Hypothese 2.1.1 angesehen werden.

9.2.3 Unterschiede der Untersuchungsgruppen bezüglich des Lernerfolgs

Es folgt nun die Überprüfung der Hypothese 2.1.2, die besagt, dass trainierte Personen einen höheren Lernerfolg aufweisen als untrainierte. Der für diese Fragestellung verwendete Wissenstest wurde auf Grund inhaltlicher Überlegungen in die Unterskalen „Gleichgewichtszustand/Massenwirkungsgesetz“ (GZMW), „Einflüsse auf die Gleichgewichtslage“ (EGLW) und „Interpretation der Gleichgewichtskonstanten“ (IGK) aufgeteilt. Die Ergebnisse der t-Tests für diese Unterskalen des Wissenstests und des Gesamtwissenstests (WTGESAMT) sind in Tabelle 33 aufgeführt.

Tabelle 33: Kennwerte und t-Tests der Untersuchungsgruppen bezüglich der Unterskalen des Wissenstests und des Gesamtwissenstests

| Wissenstest- skalen | Kontrollgruppe | | | Trainingsgruppe | | | df | t | p (ein- seitig) | d |
|------------------------|----------------|-------|------|-----------------|-------|------|----|------|--------------------|------|
| | N | M | SD | N | M | SD | | | | |
| GZMW | 14 | 4.43 | 1.95 | 14 | 5.71 | 1.77 | 26 | 1.83 | .04* | .69 |
| EGLW | 14 | 3.43 | 1.74 | 14 | 4.79 | 1.31 | 26 | 2.33 | .01* | .89 |
| IGK | 14 | 3.00 | 1.30 | 14 | 2.64 | 1.74 | 26 | .62 | .27 | -.23 |
| WTGESAMT | 14 | 10.00 | 3.76 | 14 | 12.57 | 2.71 | 26 | 2.08 | .02* | .78 |

* $p < .05$, ** $p < .01$

Der Mittelwertsunterschied des Gesamtwissenstests wird signifikant und weist einen großen Effekt auf. Interessanter sind für diese Studie jedoch die Ergebnisse der Unterskalen, da hier das Abschneiden im Wissenstest an der Lernziel- oder Aufgabenrelevanz der einzelnen Items des Wissenstests relativiert wird. Die Mittelwertsunterschiede für die Skalen „Gleichgewichtszustand/Massenwirkungsgesetz“ und „Einflüsse auf die Gleichgewichtslage“ sind signifikant, während der Mittelwertsunterschied der Gruppen für die Variable „Interpretation der Gleichgewichtskonstanten“ nicht signifikant wird. Interessant ist an diesen Ergebnissen, dass die Themenbereiche „Gleichgewichtszustand/Massenwirkungsgesetz“ und „Einflüsse auf die Gleichgewichtslage“ Gegenstand der Lernziele der Aufgabe waren, die zu Anfang der Lernphase den Schülern der Kontroll- und Trainingsgruppe gegeben wurde, während das Thema „Einflüsse auf die Gleichgewichtslage“ nicht explizit Gegenstand dieser Aufgabe war. Es könnte also die Vermutung geäußert werden, dass die metakognitiv trainierten Schüler die Aufgabe besser verarbeiteten und sich dementsprechend eher mit aufgabenrelevanten Inhalten des CHEMnet-Kapitels auseinandersetzten. Diese Vermutung soll in Abschnitt 9.2.5 anhand der Verlaufsprotokolle aus CHEMnet explorativ untersucht werden.

9.2.4 Zusammenhang zwischen exekutiver Metakognition und Lernerfolg

Hypothese 2.2 besagt, dass positive Zusammenhänge zwischen exekutiver Metakognition und Lernerfolg bestehen. Zur Prüfung dieser Hypothese sind in Tabelle 34 die Korrelationen zwischen den Bereichen exekutiver Metakognition und den Skalen des Wissenstests aufgeführt. Die meisten Zusammenhänge zwischen den Bereichen exekutiver Metakognition und den LernerfolgsvARIABLEN werden nicht signifikant. Eine Ausnahme bilden die Korrelationen zwischen Planungsaktivitäten und der Wissenstestskala „Einflüsse auf die Gleichgewichtslage“ und der tendenzielle Zusammenhang zwischen Evaluationsaktivitäten und derselben Wissenstestskala. Für die Wissenstestskala „Interpretation der Gleichgewichtskonstanten“ wären solche Zusammenhänge auch nicht unbedingt zu erwarten gewesen, da der Erwerb dieses Wissens nicht explizit Thema der Aufgabe war und offensichtlich daher auch nicht von der metakognitiv trainierten Gruppe besser gelernt wurde (siehe vorheriger Abschnitt). Deswegen ist auch kein Zusammenhang zwischen den Bereichen exekutiver Metakognition und dem der Wissenstestskala „Interpretation der Gleichgewichtskonstanten“ zu erwarten, da eine metakognitive Verarbeitung der Aufgabe eher dazu führen müsste, dass sich die Lerner nicht mit Lernmaterialien zu diesem Themenbereich beschäftigen.

Tabelle 34: Korrelationen zwischen den Variablen exekutiver Metakognition und LernerfolgsvARIABLEN

| | PLAN | MONITOR | REGULAT | EVALUAT |
|----------|-------|---------|---------|------------------|
| GZMW | .18 | -.10 | -.11 | .21 |
| EGLW | .48** | .01 | .10 | .37 ⁺ |
| IGK | .04 | -.28 | .11 | -.19 |
| WTGESAMT | .37* | -.15 | .03 | .25 ⁺ |

⁺ p < .10, ** p < .01

Doch auch für die Unterskalen, für die Zusammenhänge mit der exekutiven Metakognition zu erwarten gewesen wären, zeigen sich diese nur recht spärlich. Für den Bereich des strategy-utility-monitoring und der Verständnisregulation sind keine oder sogar leicht negative Zusammenhänge mit dem Lernerfolg zu verzeichnen. Nur für die Kategorien Planung und Evaluation sind mit der Unterskala „Gleichgewichtszustand/Massenwirkungsgesetz“ leichte, nicht signifikante Zusammenhänge zu beobachten und mit der Unterskala „Einflüsse auf die Gleichgewichtslage“ signifikante, bzw. in der Tendenz signifikante Zusammenhänge. Insgesamt kann die Hypothese 2.2 also nur teilweise bestätigt werden.

Der Einfluss des Trainings auf den Lernerfolg kann somit durch die Operationalisierung der exekutiven Metakognition durch die Kodierung exekutiver Metakognition in den Protokollen lauten Denkens nur teilweise erklärt werden. Als weitere konkurrente Daten über den Lernverlauf stehen die Verlaufsprotokolle zur Verfügung, die im folgenden Abschnitt explorativ untersucht werden sollen.

9.2.5 Explorative Untersuchung der Verlaufsprotokolle

9.2.5.1 Hintergrund

Da die Trainingsgruppe in den beiden Wissenstestskalen „Gleichgewichtszustand/Massenwirkungsgesetz“ und „Einflüsse auf die Gleichgewichtslage“, die sich auf die in der Aufgabenstellung formulierten Lernziele beziehen, besser abschneidet und sich in der dritten Skala, die eher lernzielernes Wissen erfasst, ein kleiner, jedoch nicht signifikanter Effekt zu Gunsten der Kontrollgruppe zeigt, liegt die Vermutung nahe, dass eine Wirkung des Trainings darin besteht, dass die Trainingsgruppe die Aufgabe genauer verarbeitet hat. Dies wäre eine Erklärung für den eingegrenzten Effekt des Trainings auf die lernzielkonformen Skalen des Wissenstests. Dieser Effekt kann durch die verbalisierte und kodierte exekutive Metakognition nur teilweise erklärt werden (siehe vorherigen Abschnitt). In der Korrelationsanalyse der Zusammenhänge zwischen exekutiver Metakognition und Lernerfolg korrelieren nur der Planungs- und Evaluationsbereich mit dem Lernerfolg und dies auch nur teilweise in einer Höhe, die statistisch abgesichert von Null verschieden ist. Neben der angenommenen genaueren Verarbeitung der Aufgabe durch die metakognitiv trainierte Gruppe weist also auch das Ergebnis der Korrelationsanalyse darauf hin, dass die Planungsaktivitäten eine entscheidende Rolle für den Lernerfolg spielen könnten. Innerhalb dieser Planungsaktivitäten ist die genaue Verarbeitung der Aufgabe als zentral anzusehen für eine spätere Lernzielerreichung.

Das metakognitive Training hat dazu geführt, dass die Trainingsgruppe vermehrt Planungs-, strategy-utility-monitoring- und Evaluationsaktivitäten im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigt. Diese Aktivitäten könnten dazu führen, dass sich die Lerner der Trainingsgruppe vermehrt mit der Kapitelübersicht auseinandersetzen, da sie mit Hilfe dieser Übersicht ihren Lernprozess planen, ihr geplantes Vorgehen kontrollieren, indem sie sich z. B. anhand dieser Übersicht fragen, welche Seiten sie schon besucht haben und als nächstes besuchen wollen, und abschließend anhand der Übersicht kontrollieren, ob sie alle verfügbaren relevanten Seiten einbezogen haben. Eine solche Einbeziehung der Kapitelübersicht in die exekutive Metakognition der Trainingsgruppe könnte zu einem längeren Aufenthalt der Trainingsgruppe auf der Kapitelübersicht führen. Eine genauere Verarbeitung der Aufgabe durch die Planungsaktivitäten der Trainingsgruppe sollte weiterhin dazu führen, dass sich diese Lerner intensiver mit Inhalten beschäftigen,

die für die Erreichung der in der Aufgabe beschriebenen Lernziele unbedingt relevant sind. Dies sollte sich beim Lernen mit Hypertext darin niederschlagen, dass die Lerner zum einen vermehrt Seiten besuchen, die für die Lernziele unbedingt relevant sind, und sich zum anderen auf diesen Seiten auch länger aufhalten.

9.2.5.2 Hypothesen

Auf Grund der vorangegangenen Überlegungen werden für die explorative Analyse der Verlaufsprotokolle die folgenden Hypothesen formuliert:

Hypothese 2.3.1: Trainierte Personen halten sich insgesamt länger auf der Kapitelübersicht auf als untrainierte Personen.

Hypothese 2.3.2: Trainierte Personen halten sich auf unbedingt lernzielrelevanten Seiten insgesamt relativiert an ihrer Gesamtlernzeit länger auf als untrainierte Personen. Untrainierte Personen halten sich insgesamt relativiert an ihrer Gesamtlernzeit häufiger auf nicht unbedingt lernzielrelevanten Seiten auf.

Hypothese 2.3.3: Trainierte Personen wählen häufiger Seiten, die für die Lernziele unbedingt relevant sind, als untrainierte Personen. Untrainierte wählen häufiger Seiten, die für die Lernziele nicht unbedingt relevant sind.

9.2.5.3 Methode

Als Indikatoren für die besuchten Seiten und die Länge des Aufenthalts auf diesen Seiten stehen die durch CHEMnet aufgezeichneten Verlaufsprotokolle zur Verfügung. Die Verlaufsprotokolle konnten über das Passwort, welches dem Versuchspersonencode entsprach, der entsprechenden Person zugeordnet werden. Die Verlaufsprotokolle enthalten die Reihenfolge der besuchten Seiten und geben für jede Seite in Sekunden an, wie lange die Versuchsperson auf ihr verweilt hat. Diese Verweildauern wurden für jede Seite aufsummiert und in SPSS übertragen.

Die Teilnehmer verweilten am Anfang der Lernzeit, nachdem sie die Aufgabe bekommen hatten, teilweise recht lange auf einer Eingangsseite. In die folgende Auswertung geht jedoch nur die Lernzeit ein, die mit dem ersten Klick des Lerners im Kapitel beginnt und mit dem abschließenden Verlassen des Kapitels endet. Aus dieser Vorgehensweise resultieren kürzere Lernzeiten als die Lernzeiten, die den Protokollen lauten Denkens zu Grunde liegen. Die Trainingsgruppe weist mit im Durchschnitt $M = 1993$ Sekunden ($SD = 294$) Lernzeit durch ein längeres Verweilen auf der Eingangsseite, die nicht mitgezählt wird, kürzere Lernzeiten laut Verlaufsprotokoll auf als die Kontrollgruppe mit einer mittleren Lernzeit von $M = 2388$ Sekunden ($SD = 137$). Dies könnte an der vermuteten genaueren Verarbeitung der Aufgabe durch die

Trainingsgruppe liegen. Um diese Schwankungen in den Lernzeiten zu kontrollieren, wurden die Aufenthaltsdauern in relativen Häufigkeiten angegeben.

Das CHEMnet Kapitel zum Chemischen Gleichgewicht besteht aus insgesamt 67 Seiten (darunter Beispiele, Zusatzinformationen und 2 Videos) sowie einer Übersichtsseite. Diese Seiten wurden auf Grund ihrer Inhalte hinsichtlich ihrer Relevanz für die in der Aufgabe beschriebenen Lernziele klassifiziert (siehe Anhang O). Seiten, die Inhalte mit eindeutiger Relevanz für die Aufgabe enthielten, wurden als sehr relevant (1) eingestuft; Seiten, die Beispiele und Hintergründe mit Lernzielrelevanz enthielten, jedoch für die Lernzielerreichung nicht unbedingt gebraucht wurden, wurden als semi-relevant (2) klassifiziert; Seiten, die Inhalte enthielten die keinen Bezug zur Aufgabenstellung hatten, wurden als irrelevant (3) eingestuft. Von den insgesamt 67 Seiten wurden 15 als sehr relevant, 13 als semi-relevant und 39 als irrelevant eingestuft. Die Interrater-Übereinstimmung dieser Klassifizierung wurde an Hand einer weiteren Kodierung durch eine Chemiedidaktikerin überprüft. Die prozentuale Übereinstimmung der Kodierungen lag bei 90%, Cohens Kappa lag bei $\kappa = .83$. Diese Kennwerte für die Interraterreliabilität sind als gut zu bewerten (vgl. Bortz & Döring, 2003; Diehl & Staufenbiehl, 2002).

9.2.5.4 Ergebnisse

Zunächst sollen die Ergebnisse für die explorativen Hypothesen 2.3.1 und 2.3.2 vorgestellt werden (siehe Tabelle 35). Die Hypothese 2.3.1 kann bestätigt werden: Lerner der Trainingsgruppe halten sich, relativiert an ihrer Gesamtlernzeit, mit durchschnittlich 18% signifikant länger auf der Übersichtsseite auf als Lerner der Kontrollgruppe mit im Mittel 11%. Auch die Hypothese 2.3.2 kann bestätigt werden: die relative Aufenthaltsdauer der Trainingsgruppe auf sehr relevanten Seiten ist mit im Mittel 72% signifikant höher als die der Kontrollgruppe mit im Mittel 57%.

Die semi-relevanten Seiten enthalten zwar Informationen, die die Lernziele betreffen, jedoch meist in Form von zusätzlichen Beispielen und sind daher, wenn die sehr-relevanten Seiten verarbeitet worden sind, für die Lernzielerreichung nicht unbedingt von Nöten. Diese semi-relevanten Seiten wurden von der Kontrollgruppe mit im Mittel 6% genau wie die irrelevanten Seiten mit durchschnittlich 26% signifikant länger aufgesucht als von der Trainingsgruppe, die sich im Mittel lediglich 2% ihrer Lernzeit auf semi-relevanten und 8% auf irrelevanten Seiten aufhielt. Die berichteten Effekte weisen alle große Effektsstärken auf (siehe Tabelle 35).

Tabelle 35: Kennwerte und t-Tests der Untersuchungsgruppen bezüglich der relativen Aufenthaltsdauer auf den unterschiedlichen Seitentypen

| Seitentyp | Kontrollgruppe | | | Trainingsgruppe | | | df | t | p (einseitig) | d |
|---------------|----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|------------------|------|---------------|------|
| | N | M | SD | N | M | SD | | | | |
| Übersicht | 14 | .11 | .07 | 14 | .18 | .09 | 26 | 2.35 | .01* | .87 |
| Sehr relevant | 14 | .57 | .13 | 14 | .72 | .12 | 26 | 3.20 | <.01** | 1.20 |
| Semi-relevant | 14 | .06 | .04 | 14 | .02 | .03 | 26 | 2.97 | <.01** | 1.13 |
| Irrelevant | 14 | .26 | .14 | 14 | .08 | .09 | 21.19 (korr.) | 4.10 | <.001** | 1.53 |

* $p < .05$, ** $p < .01$. Die Freiheitsgrade eines t-Tests wurden auf Grund mangelnder Varianzenhomogenität korrigiert (korr.).

Es ist weiterhin zu beobachten, dass die Kontrollgruppe ($M = 27.21$, $SD = 9.75$) durchschnittlich sehr viel mehr unterschiedliche Seiten als die Trainingsgruppe ($M = 16.93$, $SD = 5.81$) aufsuchte; dieser Unterschied ist signifikant und weist eine große Effektstärke auf ($t_{21.20 (korr.)} = 3.39$, $p_{zweiseitig} < .01$, $d = 1.28$). In der Kontrollgruppe ist hinsichtlich der Anzahl unterschiedlicher besuchter Seiten eine sehr viel größere Streuweite als in der Trainingsgruppe zu beobachten. Die Anzahl unterschiedlicher besuchter Seiten schwankt also in der Kontrollgruppe sehr viel stärker als in der Trainingsgruppe.

Es soll nun die Hypothese 2.3.3 geprüft werden, die besagt, dass die Trainingsgruppe häufiger Seiten, die für die Lernziele unbedingt relevant sind, auswählt, während untrainierte Lerner häufiger Seiten auswählen, die für die Lernziele nicht unbedingt relevant sind. Dazu wurde die Gesamtanzahl verschiedener besuchter Seiten eines Seitentyps an der maximal möglichen Anzahl zu besuchender Seiten desselben Typs relativiert. Die Ergebnisse für diese Analyse sind in Abbildung 17 aufgeführt. Die Trainingsgruppe besucht nicht mehr sehr-relevante Seiten als die Kontrollgruppe, sondern etwa gleichviel ($t_{26} = .62$, $p_{einseitig} = .27$, $d = .25$). Die Hypothese 2.3.3 kann hinsichtlich der sehr-relevanten Seiten also nicht bestätigt werden. Die Lerner der Trainingsgruppe besuchen jedoch, wie schon erwähnt, insgesamt weniger verschiedene Seiten als die der Kontrollgruppe. Das bedeutet, dass die Mitglieder der Trainingsgruppe anteilig an ihrer besuchten Gesamtseitenanzahl mehr sehr-relevante Seiten besuchen als die Mitglieder der Kontrollgruppe dies anteilig an ihrer Gesamtseitenanzahl tun. Dies drückt sich auch in ihren schon betrachteten höheren relativen Bearbeitungsdauern der sehr-relevanten Seiten aus (siehe Tabelle 35). Da die Lerner der Kontrollgruppe insgesamt mehr verschiedene Seiten bearbeiten, wie aus Abbildung 17 hervorgeht, ist auch der Anteil bearbeiteter Seiten an den semi-relevanten ($t_{18.26 (korr.)} = 2.97$, $p_{einseitig} < .01$, $d = 1.16$) und irrelevanten Seiten höher ($t_{20.20 (korr.)} = 3.65$, $p_{einseitig} < .001$, $d = 1.40$). Diese Mittelwertsunterschiede des Anteils an semi-relevanten und irrelevanten Seiten weisen beide einen großen Effekt auf. Für

die semi-relevanten und die irrelevanten Seiten kann die Hypothese 2.3.3 also bestätigt werden: Die untrainierten Lerner wählen häufiger Seiten, die für die Lernziele nicht unbedingt relevant sind. Die explorative Hypothese 2.3.3 konnte insgesamt also nur teilweise bestätigt werden.

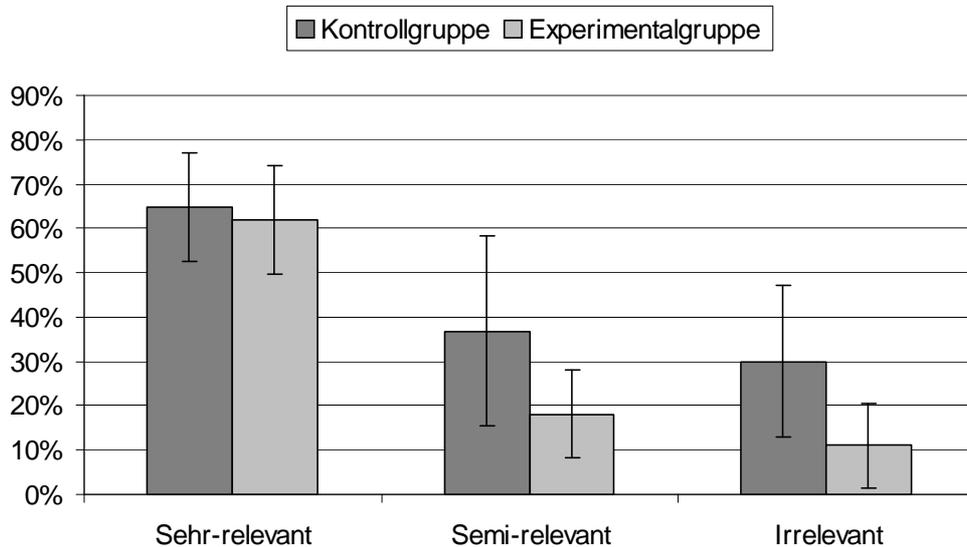


Abbildung 17: Prozentualer Anteil der verschiedenen besuchten Seiten an den maximal möglichen Seiten pro Seitentyp (sehr relevant, semi-relevant und irrelevant); als Fehlerbalken sind Standardabweichungen dargestellt

9.2.6 Kontrollvariablen: Kognitive Belastung, Ergebnisse des Abschlussinterviews

In Abschnitt 9.1.3 wurde die kognitive Belastung als Kontrollvariable vorgestellt. Das Kurztraining der exekutiven Metakognition sollte die kognitiven Kapazitäten der Lerner nicht durch zusätzlich angeregte kognitive Prozesse beeinträchtigen. Eine solche Beeinträchtigung durch ein „zuviel“ an Training wurde von Friedrich und Mandl (1992) als ein möglicher Grund für mangelnden Trainingserfolg von Strategietrainings angeführt. Die Versuchspersonen wurden daher, um einen solchen Erklärungsansatz zu prüfen, gegen Ende der Untersuchung im Abschlussfragebogen mit Hilfe einer Skala bezüglich ihrer subjektiv empfundenen kognitiven Belastung beim Lernen mit dem Hypertext befragt. Die Auswertung der Skala zur kognitiven Belastung ergab keine signifikanten Gruppenunterschiede ($t_{26} = .30$, $p_{zweiseitig} = .76$); die Trainingsgruppe wies einen mittleren Skalenwert von $M = 13.50$ ($SD = 4.15$) auf, die Kontrollgruppe erreichte einen mittleren Skalenwert von $M = 13.07$ ($SD = 3.92$). Diese im Vergleich zum theoretischen Maximum des Skalenwerts von 32 niedrigen Mittelwerte weisen

zusätzlich darauf hin, dass sich beide Untersuchungsgruppen keiner besonders hohen kognitiven Belastung durch das Lernen mit dem Hypertext ausgesetzt sahen.

Nachfolgend sollen die Ergebnisse des kurzen Abschlussinterviews vorgestellt werden. Im Abschlussinterview wurden die Versuchspersonen über das laute Denken, ihren subjektiven Lernerfolg und über die Anwendung des Lernschemas (nur Trainingsgruppe) befragt. Die von den Versuchsleiterinnen notierten Antworten wurden zur Auswertung inhaltsanalytisch in Kategorien eingeordnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 36 dargestellt. Da die Abschlussinterviews nicht hypothesenbezogen betrachtet werden, sondern nur durchgeführt wurden, um eventuelle Erklärungsansätze für bestimmte Ergebnisse zu erhalten (und einen befriedigenden Abschluss der Untersuchung für die Versuchspersonen zu schaffen), wurde auf eine Analyse der Interraterreliabilität der gefundenen Kategorien verzichtet.

Tabelle 36: Inhaltsanalyse des kurzen Abschlussinterviews

| Frage | Kategorien | Kontroll- gruppe | Trainings- gruppe | Gesamt |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|--------|
| Hattest du Probleme bei der Anwendung des Lernschemas? (nur Trainingsgruppe) | Positive Bewertung des Lernschemas | ./. | 2 | ./. |
| | Im Großen und Ganzen keine Probleme mit Lernschema | ./. | 9 | ./. |
| | Konflikt mit eigener Lernstrategie | ./. | 4 | ./. |
| | Eigene Zeitplanung nicht eingehalten | ./. | 2 | ./. |
| Hattest du Probleme beim lauten Denken? Gibt es etwas, was du nicht ausgesprochen hast? | Lautes Denken als Lernstrategie | 1 | 0 | 1 |
| | Verständnis von Inhalten, Konzentration auf lautes Denken | 4 | 1 | 5 |
| | Am Anfang Probleme mit lautem Denken | 4 | 0 | 4 |
| | Probleme beim Überfliegen von Text | 0 | 3 | 3 |
| | Lautes Denken ungewohnt | 0 | 3 | 3 |
| | Lautes Denken ist langsamer | 1 | 1 | 2 |
| | Es gibt verborgene Gedanken | 3 | 6 | 9 |
| Im Großen und Ganzen keine Probleme beim lauten Denken | 6 | 10 | 16 | |
| Denkst du, dass du etwas dazugelernt hast? | Etwas dazugelernt | 11 | 13 | 24 |
| | Nichts dazugelernt | 3 | 1 | 4 |
| | Schon Bekanntes aufgefrischt | 7 | 6 | 13 |
| | Positive Bewertung von CHEMnet | 2 | 3 | 5 |

In der Tabelle ist jeweils die Anzahl der Nennungen angegeben, die den jeweiligen Kategorien zugeordnet wurden. Mehrfachnennungen bezüglich einer Frage waren möglich.

Es zeigt sich, dass die Mehrzahl der Versuchspersonen der Trainingsgruppe (neun Nennungen) angaben, keine Probleme bei der Anwendung des Lernschemas gehabt zu haben. Als Probleme, die trotzdem auftraten, wurden zum einen Konflikte mit eigenen Lernstrategien (vier Nennungen) und zum anderen Probleme beim Einhalten der eigenen Zeitplanung (zwei Nennungen) genannt.

Auch bezüglich des lauten Denkens gaben die meisten Versuchspersonen (16 Nennungen) an, im Großen und Ganzen keine Probleme gehabt zu haben. Dieses Ergebnis soll anhand der Äußerungen einer Person illustriert werden. Diese Person gab an, auch sonst häufig mit dem Computer „zu reden“, und dass sie nicht darüber nachgedacht habe, „was man denken soll“, sondern einfach „vor sich hin gebrabbelt“ habe. Nicht allen Versuchspersonen schien das laute Denken derart leicht zu fallen. Für einige Versuchspersonen war das laute Denken besonders am Anfang schwer (vier Nennungen) oder war allgemein etwas ungewohnt (drei Nennungen). Schwierigkeiten alles laut auszusprechen, sahen einige Personen für die folgenden Situationen: Beim tiefer gehenden Verständnis von Inhalten (fünf Nennungen) und beim Überfliegen von Text (drei Nennungen). Weiterhin wurde bemerkt, dass das laute Denken langsamer sei (zwei Nennungen) und dass nicht alles ausgesprochen werde (neun Nennungen).

Bezüglich der Frage, ob sie etwas dazu gelernt hätten, gab die überwältigende Mehrzahl der befragten Versuchspersonen an, dass dies der Fall sei (24 Nennungen), viele waren auch der Meinung, schon einmal erworbenes Wissen wieder aufgefrischt zu haben (13 Nennungen). Nur vier Personen gaben an, nichts dazugelernt zu haben. Im Kontext dieser Frage äußerten sich fünf Personen lobend über den verwendeten Hypertext CHEMnet.

Auf Grund der kleinen Fallzahlen können keine Schlüsse darüber gezogen werden, ob Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen hinsichtlich der Themen des Abschlussinterviews bestehen.

9.3 Zusammenfassung und Diskussion

Die Zusammenfassung und Diskussion der zweiten Studie teilt sich in zwei Abschnitte. Zunächst soll die Operationalisierung der exekutiven Metakognition mit Hilfe der Kodierung der Protokolle lauten Denkens in einem methodenkritischen Teil der Diskussion betrachtet werden. Danach werden die Ergebnisse bezüglich der ursprünglichen Hypothesen und der Hypothesen der explorativen Untersuchung zusammengefasst und unter Zuhilfenahme ähnlicher Studien diskutiert. Die Notwendigkeit einer methodenkritischen Diskussion ergibt sich daraus, dass in der Literatur noch keine einheitliche Meinung darüber besteht, wie die Protokolle lauten

Denkens am Besten bezüglich exekutiver Metakognition erhoben und ausgewertet werden sollten (siehe Abschnitt 5.2.2). Die in dieser Untersuchung gemachten Erfahrungen mit der Methode sollen daher genauer erörtert werden, bevor die hypothesenbezogenen Ergebnisse dieser Studie zusammengefasst und diskutiert werden.

9.3.1 Methodenkritische Diskussion der Operationalisierung der exekutiven Metakognition

In der Literatur wurden unterschiedliche Ansätze hinsichtlich der Ausdifferenzierung von Kodiersystemen bezüglich der exekutiven Metakognition gefunden (vgl. Abschnitt 5.2.2). Prinzipiell sind als Endpunkte auf einer Skala für das Maß an Ausdifferenziertheit des Konstrukts der exekutiven Metakognition folgende Extrempositionen denkbar:

- 1) jede verbalisierte exekutive Metakognition wird als qualitativ unterschiedlich betrachtet und interpretiert;
- 2) jede verbalisierte exekutive Metakognition wird als Manifestation eines einheitlichen übergeordneten Konstrukts der exekutiven Metakognition betrachtet, verschiedene Bereiche der exekutiven Metakognition werden nicht unterschieden.

Gegen die zweite Extremposition eines einheitlichen Konstrukts und für die Mehrdimensionalität der exekutiven Metakognition spricht in dieser Studie eindeutig der im Rahmen einer Faktorenanalyse durchgeführte Scree-Test (siehe Abschnitt 9.1.5.4, Abbildung 16): Der Eigenwert der extrahierten Komponenten fällt ziemlich linear ohne erkennbaren „Knick“ ab, außerdem zeigen sich mehrere Faktoren mit recht hohen Eigenwerten. Das spricht für mehrere bedeutsame Bereiche der exekutiven Metakognition. Doch wie viele Bereiche der exekutiven Metakognition sollten tatsächlich unterschieden werden?

Die zunächst angenommene Unterscheidung in sieben verschiedene Bereiche der exekutiven Metakognition (Orientierung, Festlegen von Lernzielen, Planung, strategy-utility-monitoring, comprehension-monitoring, Regulation und Evaluation) scheint für diese Studie laut Korrelations- und Faktorenanalyse augenscheinlich zu ausdifferenziert zu sein. Daraufhin wurde eine 4-Komponentenlösung präferiert, obwohl der Eigenwert der vierten Komponente unter 1 liegt. Für diese Entscheidung gibt es unterschiedliche Gründe. Zum einen wurde eine 4-Komponentenlösung gegenüber einer 3-Komponentenlösung inhaltlich bevorzugt, da für das vorliegende Lernszenario eine klare Unterscheidung zwischen der Online-Überwachung des strategischen Vorgehens und der abschließenden Evaluation des Vorgehens hinsichtlich der, durch die Aufgaben vorgegebenen oder selbstgewählten, Lernziele angenommen wurde; zum anderen

scheint auch die Faktorenstruktur, eine solche Lösung durchaus zu unterstützen. Ein Eigenwert unter 1 bedeutet, dass der betreffende Faktor nicht mehr Varianz aufklärt als eine Einzelvariable. Allerdings laden auf den Faktoren 3 und 4 aus der Faktorenanalyse in Abschnitt 9.1.2 ohnehin nur jeweils eine Variable hochbedeutsam, beim dritten Faktor ist dies die Variable *strategy-utility-monitoring* mit einer Ladung von $r = .94$ und beim vierten Faktor die Variable Evaluation mit einer Ladung von $r = .97$. Diese beiden Variablen würden in einer 3-Komponentenlösung zusammengefasst, wodurch sich die Gesamtvarianzaufklärung jedoch um rund 12% verringern würde. Bivariate Korrelationen ergeben, dass die beiden Variablen nur zu $r = .22$ miteinander korrelieren, was zusätzlich eine Zusammenfassung der beiden Variablen als ungünstig erscheinen lässt. Aus diesen Überlegungen heraus erscheint die gewählte 4-Komponentenlösung für die vorliegende Untersuchung am angemessensten.

Weiter ausdifferenzierte Systeme scheinen auch in anderen Studien teilweise problematisch gewesen zu sein. Kunz et al. (1992) berichten über zu kleine Häufigkeiten in einem sehr weit ausdifferenzierten Kategoriensystem. Dieses Problem trat in der vorliegenden Studie allerdings auch hinsichtlich des Kategoriensystems mit sieben Bereichen nicht auf. Bannert (2003) verwendet in einer Studie ein System mit sieben Kategorien, fasst dieses in einer späteren analogen Studie (Bannert, 2004) jedoch zu einem Kategoriensystem mit fünf Bereichen zusammen, wobei leider nicht deutlich wird, warum diese Reduktion vorgenommen wurde und wie diese beiden Kategoriensysteme genau zusammenhängen. Richter et al. (2005) schlagen von vornherein vor, nur drei Kategorien der exekutiven Metakognition, Planung, Überwachung und Regulation, zu unterscheiden; diese drei Kategorien aggregieren sie in der Auswertung noch weiter zu einer Einzelvariablen.

Ein weiteres Problem der gewählten Kategorisierung könnte sein, dass die jeweiligen exekutiven metakognitiven Bereiche in jedem Zeitstichprobenintervall nur als prinzipiell vorhanden oder nicht vorhanden beurteilt wurden. Das Vorhandensein einer metakognitiven Strategie sagt noch nicht unbedingt etwas über die Qualität der Ausführung aus. Dies könnte auch eine Erklärung sein für die mangelnden Korrelationen der relativen Häufigkeiten der exekutiven metakognitiven Bereiche mit den Lernerfolgsmaßen (siehe auch nächster Abschnitt).

Zusätzlich könnte die gewählte Operationalisierung der exekutiven Metakognition dadurch fehlerbehaftet sein, dass die Versuchspersonen nicht alles verbalisieren und dadurch wichtige gedankliche Prozesse weglassen. Dieses Problem lässt sich bei dieser Form der Prozessanalyse leider nicht vermeiden und auch bei der Verwendung von Fragebogenverfahren sind ähnliche Probleme gegeben. Es ist jedoch zu bemerken, dass die meisten Versuchspersonen ohne große Pausen recht flüssig „vor sich hin“ redeten. Die meisten Personen antworteten auch auf die abschließende Interviewfrage, ob sie Probleme mit dem lauten Denken gehabt hätten, dass sie keine solchen gehabt hätten.

Einige Personen sagten, sie hätten eine Gewöhnungsphase gebraucht, aber dann keine Probleme mehr gehabt, während eine Person sogar meinte, sie spreche auch sonst häufig „mit dem Computer“. Eine Person der Kontrollgruppe gab sogar an, dass sie das laute Denken als lernfördernd im Sinne einer Lernstrategie erlebt habe. Eine solche Wirkung trifft, wenn sie denn eine Rolle spielt, jedoch für beide Gruppen zu. Eine entsprechende Bemerkung könnte auch durch ein Priming hervorgerufen werden, welches durch das Bewusstsein, an einer Lernstudie teilzunehmen, entsteht.

In der vorliegenden Studie wurde als Stichprobenstrategie zur Bewertung der Protokolle lauten Denkens ein Zeitstichprobenverfahren gewählt. Seidel (2003) wendete einen solchen Stichprobenplan zur Beurteilung kognitiver Lernstrategien in Unterrichtsvideos erfolgreich an. Die anderen in Abschnitt 5.2.2 betrachteten Autoren wählten teilweise andere Stichprobenstrategien bezüglich der Protokolle lauten Denkens. Bannert (2003, 2004) praktiziert eine recht globale Beurteilungsmethode, in der Protokolle lauten Denkens als Ganzes für jede Kategorie mit 0 (keine Ausführung des jeweiligen Bereichs exekutiver Metakognition) bis 2 Punkten (optimale Ausführung) bewertet wurden. Ein solches Vorgehen erschien für die vorliegende Untersuchung als zu ungenau. Richter et al. (2005) bewerteten jeweils Sinneinheiten. Hiergegen sprach, dass bei der Einteilung der Sinneinheiten eine gewisse Subjektivität gegeben ist und weiterhin die Längen der Sinneinheiten abhängig von den Versuchspersonen sehr stark schwanken könnten. Die Zeitstichprobenstrategie wurde gewählt, da sie zum einen ein einheitliches Verfahren für alle Versuchspersonen darstellt und sich zum anderen als recht praktikabel in der Durchführung erwies.

Die Frage, wie die exekutive Metakognition mit Hilfe Protokollen lauten Denkens in geeigneter Weise operationalisiert werden kann und welches Kodierverfahren am angemessensten ist, kann durch diese Studie nicht abschließend beantwortet werden und bedarf weiterer Forschung (siehe Abschnitt 10.3).

Eine Alternative zur Operationalisierung der exekutiven Metakognition mit Hilfe Protokollen lauten Denkens stellt die Analyse von Verlaufsprotokollen dar (siehe auch Abschnitt 5.2.1). Durch Verlaufsprotokolle kann die exekutive Metakognition zwar konkurrenz während des Lernprozesses erfasst werden, jedoch erfolgt die Erfassung nur indirekt. Richter et al. (2005) kritisieren denn auch, dass Verlaufsprotokolle zu unspezifisch für die Erfassung von Lernstrategien seien. In der vorliegenden Arbeit werden Verlaufsprotokolle jedoch erfolgreich für eine explorative Analyse genutzt. In dieser explorativen Analyse werden wertvolle Ergebnisse gewonnen, die helfen, die ursprünglichen Ergebnisse besser zu erklären (siehe nächster Unterabschnitt).

9.3.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Nach der methodenkritischen Betrachtung sollen nun die Ergebnisse hinsichtlich der Hypothesen zusammengefasst und diskutiert werden. Zunächst ist zu bemerken, dass die Untersuchungsgruppen bezüglich der erhobenen Lernervoraussetzungen äquivalent waren und sich in den abhängigen Variablen keine Versuchsleitereffekte ergaben. Auch in der abhängigen Kontrollvariablen „kognitive Belastung“ traten keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Gruppen auf. Die Werte dieser Skala sind zudem recht niedrig, was dafür spricht, dass sich die Versuchspersonen beider Untersuchungsgruppen nicht kognitiv überlastet fühlten.

Bezüglich der Hypothese 2.1.1 fanden sich die erwarteten Unterschiede in drei der vier Bereiche der exekutiven Metakognition. Diese Hypothese konnte also weitgehend bestätigt werden. Das Kurztraining exekutiver Metakognition scheint eine substantielle Wirkung auf die meisten der mit Hilfe der zuvor beschriebenen Operationalisierung gemessenen Bereiche der exekutiven Metakognition zu haben. Eine Ausnahme bildet der Bereich der Verständnisregulation. Das Training scheint bezüglich der Verständnisregulation in der Gesamtbetrachtung nicht wirksam gewesen zu sein. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte sein, dass sich bezüglich der Verständnisregulation der Einfluss des Vorwissens mit dem Trainingseinfluss vermischt und sich hinter den zusammengefassten Werten differentielle Effekte verbergen. Eine weitere Erklärung für das unterschiedliche Ausmaß der Verständnisregulation der Versuchspersonen könnte sein, dass Lerner gerade bezüglich der Verständnisregulation auf schon erprobte individuelle Strategien vertrauen. Solche Verständnisregulationsstrategien könnten bei nicht so erfolgreichen Lernern ausgeprägter sein als bei erfolgreichen. Die Schüler der vorliegenden Stichprobe besuchen die gymnasiale Oberstufe und haben somit schon einige eigene Lernerfahrungen sammeln können. Es könnte sein, dass Schüler mit häufigen negativen Feedback-Erfahrungen ihre Lernleistung betreffend, wie z. B. durch schlechte Schulnoten, ausgefeiltere Verständnisregulationsstrategien entwickeln als Schüler mit guten Leistungen, die eventuell auch nicht so stark auf solche Strategien angewiesen sind. Es wäre durchaus plausibel, dass solche individuell gewachsenen Strategiestile durch ein kurzfristiges Training unbeeinflusst bleiben. In der Literatur wurden sogar lernhemmende, sogenannte „mathemathantische“ Effekte von Strategietrainings beschrieben, die durch einen Konflikt schon aufgebauter funktionierender Strategien mit neu zu erlernenden Strategien entstehen können (Friedrich, 1992; Friedrich & Mandl, 1992). So wurden im Abschlussinterview von vier Lernern der Trainingsgruppe Aussagen gemacht, die auf einen solchen Konflikt hindeuten könnten, indem z. B. eigene Lernstrategien erwähnt wurden (Zeichnung erstellen, sofort Notizen machen) oder darauf hingewiesen wurde, dass man jetzt schon 11 Jahre anders gelernt hätte. Die meisten Lerner der Trainingsgruppe gaben jedoch an, keine Probleme mit dem

Lernschema gehabt zu haben, manche gaben auch Vorteile des Lernschemas an. Eine Person fand, dass dieses Lernschema mit dem eigenen Vorgehen vergleichbar sei.

Die Hypothese 2.1.2 besagt, dass das Kurztraining exekutiver Metakognition zu messbaren Leistungsverbesserungen führt. Diese Hypothese kann für den Gesamtwissenstest und zwei von drei Unterskalen des Wissenstests bestätigt werden. Die Unterskalen, für die diese Hypothese zutrifft, weisen einen engen Bezug zu den in der Aufgabe spezifizierten Lernzielen auf. Dieser enge Lernzielbezug ist für die dritte verwendete Wissenstestskala nicht gegeben; in dieser Skala zeigt sich sogar eine leichte, nicht signifikante Überlegenheit der Kontrollgruppe. Dieser Effektunterschied könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Lernerfolg entscheidend von der genauen metakognitiven Verarbeitung der Aufgabe abhängt. Eine adäquate metakognitive Verarbeitung der Aufgabe sollte jedoch zur Folge haben, dass Inhalte bezüglich „Gleichgewichtszustand/Massenwirkungsgesetz“ und „Einflüsse auf die Gleichgewichtslage“ genauer verarbeitet werden, während Inhalte bezüglich der „Interpretation der Gleichgewichtskonstanten“ vom Lerner eher als nicht relevant betrachtet werden, da sich die Lernziele in der Aufgabe nur auf die ersten beiden Unterskalen bezogen. Auf diese Überlegung soll unten anhand der Verlaufsprotokolle genauer eingegangen werden. Unter der Voraussetzung, dass eine gute exekutive Metakognition sich durch eine adäquate Verarbeitung der Lernaufgabe auszeichnet, können die Ergebnisse als eine Bestätigung der Hypothese 2.1.2 betrachtet werden.

Hinsichtlich der Hypothese 2.2, die besagt, dass sich zwischen der exekutiven Metakognition und dem Lernerfolg signifikante Zusammenhänge ergeben, ist zu bemerken, dass sich diese hypothetisierten Zusammenhänge nur selten ergeben. Von 16 betrachteten bivariaten Korrelationen werden nur vier signifikant, bzw. in der Tendenz signifikant. Für die vier Korrelationen, die die Zusammenhänge zwischen der Wissenstestskala „Interpretation der Gleichgewichtskonstanten“ und der exekutiven Metakognition repräsentieren, war ein solcher Zusammenhang jedoch nach Auswertung der Hypothese 2.1.2 auch nicht mehr zu erwarten gewesen. Eine bessere metakognitive Verarbeitung der Aufgabe müsste sogar eher einem Wissenserwerb bezüglich dieser Skala entgegen wirken. Somit werden die beobachteten teilweise leicht negativen, jedoch nicht signifikanten Korrelationen dieser Wissenstestskala mit den Bereichen exekutiver Metakognition erklärbar. Für die beiden lernzielrelevanten Wissenstestskalen ist zu bemerken, dass am ehesten ein Zusammenhang dieser Skalen mit den Bereichen exekutiver Metakognition Planung und Evaluation beobachtet werden kann. Dies passt zu der in der Diskussion der Hypothese 2.1.2 geäußerten Vermutung, dass ein gutes Abschneiden in diesen Skalen mit einer genaueren metakognitiven Verarbeitung der Aufgabe zusammenhängen könnte, da die metakognitive Planung auf der Aufgabe basiert und bei der Evaluation der Abgleich des Gelernten mit der Aufgabe erfolgt.

Für die insgesamt recht klein ausfallenden Korrelationen zwischen lernzielrelevanten Wissenstestskalen und exekutiver Metakognition kommen mehrere Gründe in Frage. Erstens sind kleine Stichproben für die Berechnung von bivariaten Korrelationen ungünstig. Dann wurden zwei verschiedene Subpopulationen, nämlich die Kontroll- und die Trainingsgruppe, in den Korrelationen zusammengefasst. Weiterhin könnte wiederum der Einfluss des Vorwissens wirksam werden. Schüler mit wenig Vorwissen scheinen, wie in der Interpretation der Ergebnisse der Hypothese 2.1.1 deutlich wurde, zu einer stärkeren Verständnisregulation zu neigen. So könnten die niedrigen, teilweise leicht negativen Zusammenhänge der Verständnisregulation mit den Wissenstestskalen erklärt werden. Ob die Schüler, die wenig Vorwissen und eine starke Verständnisregulation aufweisen, von dieser Verständnisregulation hinsichtlich des Lernerfolgs im Gegensatz zu Schülern mit wenig Vorwissen und wenig Verständnisregulation profitieren, kann anhand der kleinen Stichprobe nicht beantwortet werden. Ein weiterer Grund für die kleinen Korrelationen könnte sein, dass, wie oben schon erwähnt, die exekutive Metakognition eher in ihrem Ausmaß als in ihrer Qualität erhoben wurde. So wurde die relative Häufigkeit bestimmter Bereiche exekutiver Metakognition kodiert, jedoch nicht berücksichtigt, mit welcher Qualität eine bestimmte metakognitive Strategie ausgeführt wurde. Die Entscheidung, eine Kodierung zu vergeben, setzt zwar schon eine bestimmte, im Kodiersystem festgelegte Qualität der metakognitiven Strategie voraus, aber dennoch können Kodierintervalle, die mit ein und derselben Kodierung versehen wurden, Schwankungen in der Qualität der Ausführung einer metakognitiven Strategie aufweisen. Auch dieser Sachverhalt könnte zu einer mangelnden Korrelation zwischen den kodierten Bereichen exekutiver Metakognition und den Wissenstestskalen führen. Insgesamt sprechen die Korrelationen zwischen exekutiver Metakognition und Wissenstestskalen jedoch dafür, dass die durch die Kodierung der Protokolle lautens operationalisierte exekutive Metakognition den Wirkmechanismus zwischen Kurztraining und den Effekten dieses Trainings auf die drei Lernzielskalen nur teilweise erfasst.

Als weitere Prozessdaten fielen in dieser Untersuchung Verlaufsprotokolle an, die in Abschnitt 9.2.5 für eine zusätzliche explorative Untersuchung genutzt wurden. Hierbei wurde untersucht, ob die Trainingsgruppe eine längere Aufenthaltsdauer auf für die vorgegebenen Lernziele unbedingt relevanten Seiten sowie auf der Übersichtsseite zeigt (Hypothesen 2.3.1 und 2.3.2). Weiter interessierte in dieser explorativen Untersuchung, ob die trainierten Lerner häufiger solche unbedingt relevanten Seiten wählten, während die untrainierten Lerner häufiger nicht unbedingt relevante Seiten wählten (Hypothese 2.3.3). In den Ergebnissen zeigt sich, dass die Versuchspersonen der Trainingsgruppe, entsprechend den Hypothesen 2.3.1 und 2.3.2, einen größeren Anteil ihrer Lernzeit auf der Übersichtsseite sowie den sehr relevanten Seiten des Hypertexts verbringen als die der Kontrollgruppe. Die Kontrollgruppe hingegen hält sich gemessen an ihrer Lernzeit mehr auf semi-relevanten und irrelevanten Seiten auf. Die Hypothese 2.3.3 konnte

teilweise bestätigt werden: Der Anteil der verschiedenen von der Trainingsgruppe besuchten sehr relevanten Seiten war zwar nicht größer als der entsprechende Anteil der Kontrollgruppe, die Kontrollgruppe besuchte aber einen deutlich höheren Anteil semi-relevanter oder irrelevanter Seiten, was dafür spricht, dass die Kontrollgruppe ihr Lernmaterial insgesamt weniger genau auswählte. Hierfür spricht auch, dass die Kontrollgruppe insgesamt mehr verschiedene Seiten besuchte als die Trainingsgruppe. Diese Ergebnisse können dahingehend interpretiert werden, dass die Personen der Trainingsgruppe ihr Lernen stärker an der für beide Gruppen gleichen Aufgabe ausrichteten, da sie diese Aufgabe auf Grund des Trainings metakognitiv adäquat verarbeiteten.

Diese Interpretation soll anhand einer ähnlichen Studie von Brunstein und Krems (2005), die den Einfluss des Bearbeitungsziels auf das hypertextgestützte Lernen in Englisch untersuchen, weiter diskutiert werden. Im Unterschied zu der hier durchgeführten Studie wird das Bearbeitungsziel bei Brunstein und Krems variiert: sie unterscheiden zwischen „Suchern“, die als spezifisches Bearbeitungsziel einen Faktenfragentest während der Bearbeitung des Hypertexts ausfüllen sollten, und „Lesern“, die nur eine „unspezifische Leseinstruktion“ (Brunstein & Krems, 2005, S.43) bekamen. Brunstein und Krems betrachteten das spezifische Bearbeitungsziel der „Sucher“ als eine indirekte metakognitive Förderung, welche die Zielspezifikation und Planung erleichtern soll. Es wurden zwei Hypertexte zu den Themen *Present Perfect* und *Present Continuous* verwendet, die als Seitentypen Regel-, Beispiel- bzw. Übungsseiten enthielten. Regelseiten erklärten die Anwendung der englischen Präsenzformen, während die Beispiel- bzw. Übungsseiten Beispielzitate enthielten. Regelseiten weisen also eine gewisse Parallele zu den hier zur Erreichung der Lernziele als sehr relevant eingestuften Seiten auf, da die enthaltenen Informationen für die korrekte Anwendung der Zeitformen unverzichtbar sind. Die Beispiel/Übungsseiten hingegen weisen eine gewisse Parallele zu den hier als semi-relevant eingeschätzten Seiten auf, da sie das Verständnis vertiefen können, jedoch für die Lernzielerreichung nicht unbedingt relevant sind. In den Ergebnissen bezüglich der Verlaufsprotokolle weisen die „Sucher“ einige Ähnlichkeiten zur Trainingsgruppe der hier diskutierten Studie und die „Leser“ einige Ähnlichkeiten zur Kontrollgruppe auf. Die „Leser“ besuchen, ähnlich wie die Trainingsgruppe, signifikant mehr verschiedene Seiten des Hypertexts als die „Sucher“. Die „Sucher“ besuchten zudem in beiden Hypertexten länger die Regelseiten als die „Leser“. Wie in der vorliegenden Studie auch wurde von beiden Gruppen für unbedingt lernzielrelevante Regelseiten mehr Zeit aufgewendet als für die Beispiel/Übungsseiten. Diese analogen Ergebnisse hinsichtlich der Verlaufsprotokolle sind insofern auf den ersten Blick erstaunlich, da in der hier diskutierten Studie im Gegensatz zu der Studie von Brunstein und Krems (2005) das Bearbeitungsziel gar nicht manipuliert wurde. Die unabhängige Variable bestand vielmehr in dem Kurztraining exekutiver Metakognition, welches nur eine der beiden

Gruppen erhielt; die Lernaufgabe hingegen war für beide Gruppen gleich. Die Parallelität der Ergebnisse bezüglich der Verlaufsprotokolle zu einer Studie, in der die Aufgabe manipuliert wurde, kann jedoch als weiteres Indiz dafür betrachtet werden, dass ein entscheidender Wirkmechanismus des Trainings in einem veränderten Umgang der trainierten Personen mit der Aufgabe liegt.

Hinsichtlich der Ergebnisse der Verlaufsprotokolle hatten Brunstein und Krems (2005) in Anlehnung an Vollmeyer und Burns (2002) die genau umgekehrten Hypothesen formuliert, nämlich dass die „Sucher“ „vorrangig den Beispielraum explorieren“ und mehr „Beispiel- und Übungsseiten besuchen als Leser“ (Brunstein & Krems, 2005, S. 42). Vollmeyer und Burns (2002) untersuchten den Einfluss von „spezifischen“ vs. „nonspezifischen“ Lernzielen auf Lernstrategien, die sie mit Hilfe von Verlaufsprotokollen operationalisierten. Sie fanden, dass Lerner mit unspezifischem Lernziel insgesamt weniger Seiten und diese dafür länger besuchten als Lerner mit spezifischen Lernzielen. Diese diskrepanten Effekte der Studie von Vollmeyer und Burns (2002) im Gegensatz zu Brunstein und Krems (2005) und zu der hier diskutierten Studie könnten auf die unterschiedlichen Operationalisierungen der unabhängigen Variable „Zielorientierung“ zurückzuführen sein. Bei Vollmeyer und Burns wurden die Lerner mit unspezifischem Ziel instruiert, den Ausbruch des zweiten Weltkriegs einer anderen Person zu erklären, während die Lerner mit spezifischem Ziel die Daten von 20 verschiedenen Ereignissen beim Ausbruch des zweiten Weltkriegs in eine Liste eintragen sollten. Insofern war die erste Instruktion zwar unspezifisch, regte aber durch das Ziel, einen komplexen Sachverhalt einer anderen Person zu erklären, vermutlich eine sehr viel tiefere Verarbeitung des Themas an als das reine Heraussuchen von Jahreszahlen. Daher ist auch die Konzentration der Lerner mit unspezifischem Bearbeitungsziel auf weniger Seiten, die sie länger bearbeiteten, erklärbar. Die „unspezifische Instruktion“ von Brunstein und Krems wird leider nicht näher erläutert, jedoch ist anzunehmen, dass sie nicht zu einer ähnlich tiefen Verarbeitung angeregt hat und außerdem der für die spezifische Instruktion verwendete Faktenfragentest (z. B.: „How long can you live in Chemnitz for saying ‚I am living in Chemnitz‘“, S. 43) durchaus eine genauere Verarbeitung der entsprechenden Hypertextseiten erforderte als die Jahreszahlenaufgabe. So wird die Umkehrung der Seitenanzahlen und -aufenthaltsdauern zwischen den beiden Studien plausibel. Auch in der vorliegenden Studie regte die Aufgabe zu einer tiefen Verarbeitung der sehr-relevanten Seiten an und die Trainingsgruppe wurde noch zusätzlich in der metakognitiven Verarbeitung einer solchen Aufgabe trainiert. Es wurde daher angenommen, dass die Trainingsgruppe länger auf der Übersichtseite und den sehr-relevanten Seiten verweilen würde, wie dies auch in den Ergebnissen bestätigt wurde.

Im Gegensatz zu der Studie von Brunstein und Krems (2005), die in einem Anwendungswissenstest einen leichten Vorteil der Gruppe mit unspezifischem

Bearbeitungsziel fanden, zeigen sich in der vorliegenden Studie in den lernzielrelevanten Skalen des Wissenstests, in denen auch viele Anwendungsfragen gestellt wurden, deutliche Effekte zu Gunsten der Trainingsgruppe. Brunstein und Krems erklären ihr Ergebnis dadurch, dass das spezifische Bearbeitungsziel den „Suchern“ die Arbeit der metakognitiven Planung gewissermaßen abnahm, und leiten daraus ab, dass spezifische Bearbeitungsziele helfen können, Ressourcen zu sparen. Sie vermuten, dass sich eine solche Bearbeitungserleichterung hinsichtlich der Wissensanwendung nachteilig auswirken kann. Diese Vermutung kann in der hier diskutierten Studie nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse der hier diskutierten Studie sprechen eher dafür, dass man spezifische Lernziele formulieren sollte, die zu einer tiefen Verarbeitung anregen, und die metakognitive Verarbeitung dieser Lernziele zusätzlich unterstützen sollte. Die verwendeten Lernziele der vorliegenden Studie waren einerseits recht spezifisch auf eingegrenzte Inhalte (z. B. Massenwirkungsgesetz, Einflussfaktoren, Reaktionsgeschwindigkeit) hin formuliert, zusätzlich regten sie jedoch wahrscheinlich dazu an, diese Inhalte tief zu verarbeiten, was sich in Formulierungen der Aufgabe wie „gegenüberstellen können“ oder „genau erklären“ zeigt. Die hier diskutierte Studie bietet also Ansatzpunkte dafür, dass spezifische Lernziele den Lerner nicht zu sehr einschränken, sondern dass der Lerner nur zusätzlich angeregt werden muss, die Lernziele adäquat zu verarbeiten, indem er die Lernziele z. B. mit seinem Vorwissen abgleicht und in eigene Lernfragen umsetzt. Es könnte sein, dass es nicht reicht, Lernziele vorzulegen. Möglicherweise müssten diese bei Lernern, die nicht gewohnt sind, mit solchen Zielen zu arbeiten, durch weitere metakognitive Anregungen ergänzt werden, um eine metakognitive Verarbeitung bei den Lernern zu evozieren und einen verbesserten Lernerfolg zu erreichen. Diesbezüglich tut sich auch eine motivationspsychologische Deutungsmöglichkeit auf. Eventuell verändert sich die Lernmotivation der Trainingsgruppe der vorliegenden Studie durch die genaue Verarbeitung und Umwandlung der Aufgabe in eigene Lernfragen von einer eher extrinsischen Motivationsform in eine intrinsischere Motivationsform, wie z. B. die von Deci und Ryan (1993) beschriebene introjizierte oder identifizierte Motivation.

Auch Schnotz und Zink (1997) betonen die Wichtigkeit von Lernzielen beim Lernen mit Hypertext im Gegensatz zum Lernen mit traditionellen Texten: „Beim Wissenserwerb mit einem Hypertext hingegen müssen die instruktionalen Entscheidungen hinsichtlich der Informationsauswahl und –sequenzierung zum Teil vom Lernenden getroffen werden. Ohne eine hinreichend spezifische Zielorientierung fehlen dem Lernenden die notwendigen Kriterien, um die vorhandene Vielfalt möglicher Sequenzierungsvarianten adäquat einzuschränken“ (S. 99). Neben der Zielspezifikation stellen Schnotz und Zink (1997) besonders die Informationssuche, die durch die Struktur des Hypertexts beeinflusst wird, und die Informationsbewertung, bei welcher der Lernende die Lernzielrelevanz gefundener Informationen bewerten muss, als wichtige Teilprozesse der Informationsverarbeitung heraus. Neben der genauen Verarbeitung und Umsetzung

der Aufgabe in eigene Lernfragen wurden auch diese beiden Teilprozesse im Kurztraining thematisiert. Nach Schnotz und Zink ist nämlich nicht davon auszugehen, dass eine Zielspezifikation auch automatisch zu einer angemessenen Informationsbewertung hinsichtlich der Ziele führt. Die längere Aufenthaltszeit auf der Übersichtsseite könnte nach Schnotz und Zink (1997) mit einer genaueren Informationssuche durch die Trainingsgruppe, die längere Aufenthaltszeit auf den sehr-relevanten Seiten mit einer adäquateren Bewertung der Lernzielrelevanz der vorgefundenen Informationen durch die Trainingsgruppe erklärt werden. Das Training könnte also nicht nur auf die anfängliche Verarbeitung der Aufgabe gewirkt haben, sondern auch zu einer adäquateren, an der Aufgabe ausgerichteten Informationsverarbeitung geführt haben.

Aus dieser Studie lassen sich verschiedene Empfehlungen für die Unterstützung exekutiver Metakognition beim Lernen in Chemie ableiten. Zunächst ist festzuhalten, dass es möglich ist, die exekutive Metakognition beim Lernen eines chemischen Themas zu fördern. Die Lernenden scheinen eine Förderung mit Hilfe eines kurzen Trainings mit Hilfe eines Modelllernenansatzes schnell aufzunehmen und in metakognitive Aktivitäten in den verschiedenen Bereichen der exekutiven Metakognition umzusetzen. Die Förderung führt im betrachteten Lernszenario anscheinend nicht nur zur Erhöhung der exekutiven Metakognition, sondern auch zu einem erfolgreicherem Verständnis der chemischen Inhalte. Eine besondere Rolle scheinen in diesem Zusammenhang wohlformulierte, einerseits spezifische aber andererseits auch zu einer tiefen Verarbeitung anregende Lernziele zu spielen. Solche Lernziele können von den Lernenden metakognitiv verarbeitet werden, indem sie z. B. auf das eigene Vorwissen bezogen oder in eigene Zielorientierungen umformuliert werden. Im weiteren Lernprozess kann die metakognitive Verarbeitung von Lernzielen wirksam werden, indem sie die Informationssuche und –bewertung des Lerners positiv beeinflusst. Die Vorlage von Lernzielen allein scheint die exekutive Metakognition, nach den Ergebnissen von Brunstein und Krems (2005), jedoch nicht adäquat anzuregen. Vielmehr scheint das Zusammenspiel von metakognitiver Förderung und Lernzielen wirksam zu sein. Eine Förderung der exekutiven Metakognition im Rahmen des Chemieunterrichts und nicht fachlich abgekoppelt, etwa im Rahmen eines reinen Methodenunterrichts, scheint nach den Erfahrungen dieser Studie uneingeschränkt empfehlenswert.

10 Integration und Ausblick

10.1 Integration der Ergebnisse der Studien I und II

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der beiden Studien zum chemiespezifischen metakognitiven Wissen (8. Kapitel) und der exekutiven Metakognition beim Lernen in Chemie (9. Kapitel) integriert und hinsichtlich der abgeleiteten Aussagen über die Metakognition beim Lernen in Chemie zusammengefasst werden. Hierbei steht die Diskussion der vermuteten Domänenspezifität der Metakognition beim Lernen in Chemie im Vordergrund.

Eine mögliche Domänenspezifität der Metakognition wurde in Kapitel 3 theoretisch hergeleitet und in Kapitel 4 wurde ein Modell der Metakognition beim Lernen in Chemie entworfen. Als Hauptargument für eine Domänenspezifität der Metakognition ist laut Kapitel 3 anzusehen, dass Metakognition, wie andere Kompetenzen auch, situiert erworben wird. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass Metakognition automatisch auf neue Situationen übertragen wird. Hierfür ist wahrscheinlich zunächst ein Generalisierungsprozess notwendig (Brown et al., 1989; Perkins & Salomon, 1989). Im dritten Kapitel wurde abschließend versucht, die Domänenspezifitäts- mit der Domänengeneralitätshypothese in zwei Ansätzen zu synthetisieren. Im ersten Ansatz wurde eine mögliche hierarchische Organisation der Metakognition mit einem übergeordneten Konstrukt der allgemeinen Metakognition und untergeordneten fachspezifischen Metakognitionen beschrieben. Im zweiten Ansatz wurde eine mögliche entwicklungspsychologische Perspektive des Wandels von anfänglich eher fachspezifischen Metakognitionen hin zu einer generellen Metakognition aufgezeigt. Beide Ansätze können auch vereint werden, indem man annimmt, dass in einer hierarchisch organisierten Metakognition zunächst die fachspezifischen Metakognitionen im Vordergrund stehen, während mit zunehmendem Alter die generelle Metakognition an Bedeutung gewinnt. Entsprechend diesen Synthetisierungsversuchen wurde in den Fragestellungen dieser Arbeit (siehe Abschnitt 7.1) ein Modell der Vorhersage der chemiespezifischen Lernleistung angenommen, bei dem sowohl die allgemeine Metakognition als auch die chemiespezifische Metakognition Varianz des Kriteriums Chemiewissen aufklärt. Im zweiten Kapitel wurde die Metakognition in die beiden grundlegenden Komponenten exekutive Metakognition und metakognitives Wissen unterteilt (siehe Abschnitt 2.2.1). In den empirischen Studien dieser Arbeit sollten daher beide Komponenten im Hinblick auf ihre chemiespezifischen Anteile betrachtet werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit über die Domänenspezifität der Metakognition bezüglich der Chemie können hinsichtlich dreier unterschiedlicher Aspekte zusammengefasst werden. Erstens sollen die Ergebnisse in Bezug auf die Zusammenhänge der domänenspezifischen Metakognition in Chemie mit anderen fachspezifischen Variablen

betrachtet werden. Zweitens soll die Messbarkeit der chemiespezifischen Metakognition samt den testtheoretischen Eigenschaften des selbstentwickelten Tests und seiner Abgrenzbarkeit gegenüber allgemeiner Metakognition beleuchtet werden. Drittens sollen die Ergebnisse bezüglich der aufgabenspezifischen Trainierbarkeit der Metakognition in einem chemiespezifischen Lernszenario zusammengefasst werden.

Es finden sich in beiden empirischen Studien dieser Arbeit Hinweise für den Zusammenhang der chemiespezifischen Metakognition mit anderen chemiespezifischen Variablen. In Studie I (Kapitel 8) konnte die Vermittlungsfunktion des chemiespezifischen metakognitiven Wissens zwischen chemiespezifischen Einflussvariablen und dem Chemiewissen demonstriert werden. In Studie II (Kapitel 9) konnte der Einfluss eines Kurztrainings exekutiver Metakognition in einer chemischen Lernsituation auf den Lernerfolg in Chemie gezeigt werden. Darüber hinaus zeigte sich auch der Einfluss des Kurztrainings auf Prozessvariablen des Lernens in Chemie anhand der Analyse der Verlaufsprotokolle in CHEMnet. Diese Zusammenhänge der beiden metakognitiven Komponenten mit anderen chemiespezifischen Variablen unterstreichen deutlich die Existenz domänenspezifischer Anteile der Metakognition in Chemie. Dies wird zusätzlich dadurch untermauert, dass sich für allgemeines metakognitives Wissen in Studie I kein Zusammenhang mit den chemiespezifischen Einflussvariablen chemiespezifisches Selbstkonzept und Vorwissen in Chemie (operationalisiert durch die Chemienote) zeigte. So konnte das in Kapitel 4 aufgestellte Modell der chemiespezifischen Metakognition durch die Studien weitgehend bestätigt werden. Das chemiespezifische metakognitive Wissen scheint dabei die Funktion eines Transfervehikels von schon erworbenem Chemiewissen auf neue Situationen der Wissensanwendung darzustellen. Die weitgehende Bestätigung des Zusammenhangs der chemiespezifischen Metakognition mit anderen motivationalen und kognitiven Variablen verweist auch auf die Zugehörigkeit des Konstrukts zu den Theorien des selbstregulierten Lernens, in denen vielfältige Lernermerkmale miteinander in Beziehung gesetzt werden (z. B. Boekaerts, 1997; Zimmerman, 1998, siehe auch Abschnitt 2.1).

Als ein weiterer Hinweis auf die Domänenspezifität der Metakognition in Chemie sind die testtheoretischen Eigenschaften des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests zu sehen. Die inkrementelle Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests bei Kontrolle des Einflusses der Problemlösefähigkeit und der allgemeineren metakognitiven Fähigkeiten weist in der untersuchten Altersgruppe der Elftklässler eindeutig auf domänenspezifische Anteile der Metakognition in Chemie hin. Folgt man dem entwicklungspsychologischen Syntheserversuch aus Abschnitt 3.3, so bedeutet dies, dass in diesem Alter die chemiespezifischen Anteile der Metakognition noch nicht vollständig in einer allgemeineren Metakognition aufgegangen sind. Ob die chemiespezifische Metakognition bei jüngeren Lernern noch stärker eigene

Varianzanteile im Kriterium Chemiewissen aufklärt und ob diese inkrementellen Anteile aufgeklärter Varianz mit dem Alter weiter abnehmen, wie dies in Kapitel 3.3 als eine mögliche Synthese der Domänengeneralitäts- mit der Domänenspezifitätshypothese beschrieben wurde, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Hierzu wären Forschungsarbeiten über weitere Alterstufen von Nöten (siehe Abschnitt 10.3). Auch die Kriteriumsvalidität hinsichtlich des proximaleren Kriteriums Chemiewissen und des distaleren Kriteriums Problemlösefähigkeit konnte bestätigt werden. Weiterhin kann die weitgehende empirische Bestätigung des theoretisch abgeleiteten Modells der Metakognition beim Lernen in Chemie als Hinweis auf die vorhandene Konstruktvalidität des Tests gewertet werden. Auch die Cronbach-Alpha-Reliabilität des chemiespezifischen Wissenstests spricht für die Messqualität des selbstentwickelten Tests. Zusammengenommen sprechen Validität und Reliabilität für die Einsetzbarkeit des selbstentwickelten Tests für Forschungszwecke. Die Entwicklung einer kürzeren Fassung ist denkbar, da einige theoretisch postulierte Bereiche des metakognitiven Wissens in der Chemie in mehreren Aufgabensituationen des Tests berücksichtigt werden. Eine solche Kurzfassung müsste jedoch einer erneuten Prüfung der testtheoretischen Gütekriterien unterzogen werden (siehe auch Abschnitt 10.3).

Zusätzlich zu dem Zusammenhang der chemiespezifischen Metakognition mit anderen chemiespezifischen Variablen und der inkrementellen Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests weist die aufgabenspezifische Trainierbarkeit der exekutiven Metakognition auf den Wert einer domänenspezifischen Betrachtung der Metakognition beim Lernen in Chemie hin. Verschiedene Autoren betonen die Überlegenheit von aufgabenbezogenen Trainings der Metakognition gegenüber domänenübergreifenden Trainings (Brown et al., 1989; Mähler & Hasselhorn, 2001; Perkins & Salomon, 1989, siehe auch Abschnitt 3.2.1). Auch in der Chemie scheint ein solches aufgaben- und damit domänenspezifisches Training den Erfahrungen von Studie II folgend uneingeschränkt empfehlenswert. Ein solches Training scheint positive Auswirkungen auf die tatsächlichen metakognitiven Aktivitäten, auf die adäquate metakognitive Verarbeitung von Lernzielen sowie auf eine zielorientierte Informationsverarbeitung zu haben und ist zudem mit geringem Zeitaufwand durchführbar (siehe Abschnitt 9.3.2). Von einem, wie in den Lehrplänen der elften Jahrgangsstufen in manchen Bundesländern vorgesehenen, isolierten Methodikunterricht (z. B. Schleswig-Holstein, vgl. Ministerium für Bildung, 2002b) kann auf Grund der Erfahrungen dieser Studie also eher abgeraten werden. Vielmehr sollten metakognitive Kompetenzen zusammen mit den Fachinhalten vermittelt werden. Dabei ist davon auszugehen, dass die Förderung der exekutiven Metakognition durch das verbesserte Monitoring und die verbesserte Evaluation der Nutzung von fachspezifischen Lernstrategien, wie von Ertmer und Newby (1996, siehe Abschnitt 2.2.3) angenommen, auch zum Aufbau chemiespezifischen metakognitiven Wissens beitragen kann. Umgekehrt könnte ein ausgefeiltes Inventar chemiespezifischen

metakognitiven Wissens zu verbesserter Planung und Regulation von Lernprozessen führen und seinerseits zu einer verbesserten exekutiven Metakognition beitragen, da das chemiespezifische metakognitive Wissen idealerweise die passenden chemiespezifischen Lernstrategien enthält.

Insgesamt spricht das Befundmuster dieser Arbeit für domänenspezifische Anteile der Metakognition in Chemie in der untersuchten Altersgruppe der Oberstufenschüler. Sowohl die Ergebnisse hinsichtlich der Zusammenhänge mit anderen chemiespezifischen Variablen als auch die Ergebnisse hinsichtlich der testtheoretischen Eigenschaften des entwickelten chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests als auch die chemiespezifische Trainierbarkeit weisen auf eine solche Domänenspezifität hin. Natürlich ergeben sich auch in dieser Arbeit unbeantwortete Fragen, auf die im Ausblick in Abschnitt 10.3 genauer eingegangen wird.

10.2 Schlussfolgerungen für den Chemieunterricht

Es konnte gezeigt werden, dass die exekutive Metakognition in einer chemischen Lernsituation durchaus mit geringem Zeitaufwand und großem Erfolg trainierbar ist. Zusammen mit wohlformulierten Lernzielen ergibt sich ein Lernvorteil. Es kann angenommen werden, dass die gewonnenen Erfahrungen bezüglich des Lernszenarios aus Studie II auch in den Schulunterricht übertragen werden könnten. So wäre es denkbar, immer wieder bei verschiedenen Themen des Fachunterrichts metakognitive Anregungen einzuflechten. Auch eine Förderung nur einzelner Bereiche exekutiver Metakognition oder die Vermittlung nur einiger weniger chemiespezifischer Lernstrategien auf einmal zur Erweiterung des metakognitiven Wissens wären denkbar. Dabei scheint, folgt man dem Trainingsansatz aus Studie II, ein Modelllernen-Ansatz erfolgreich zu sein. Die Lehrkraft könnte auf Grund ihres fachlichen Expertentums ein gutes Modell für naturwissenschaftliche Arbeitsweisen darstellen. Eine solche metakognitive Förderung durch das Modell der Lehrkraft könnte einerseits als Gruppeninstruktion durchgeführt werden, in der die Lehrkraft z. B. metakognitive Anteile von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen anhand eines konkreten Experiments modelliert, indem sie bei der Planung, Durchführung und Auswertung des Experiments laut denkt. Andererseits könnte die Lehrkraft auch das metakognitiv gesteuerte naturwissenschaftliche Arbeiten der Lerner im Rahmen eines Lerncoachings begleiten, indem sie z. B. bestimmte Prompts einwirft, die die Lerner zu einer metakognitiven Verarbeitung anregen oder die Lerner durch ein Scaffolding (Hilfestellungen) unterstützen. Ein entsprechendes theoretische Modell des Lernens, in dem die Modellierung und die Kooperation mit Experten im Mittelpunkt steht, wurde z. B. im Cognitive-Apprenticeship-Ansatz beschrieben (Brown et al., 1989; Collins et al., 1989, siehe auch Abschnitt 3.4 und Kapitel 7). Eine andere Form der metakognitiver

Förderung im Fachunterricht könnte die Umsetzung der Förderung im Rahmen kooperativen Lernens sein, indem z. B. die Lerner dazu angeleitet werden, sich untereinander bestimmte metakognitive Fragen zu stellen. Kooperatives Lernen könnte metakognitive Prozesse fördern, indem der Lerner durch das Gegenüberstellen unterschiedlicher Sichtweisen angeregt wird, seine eigene Sichtweise zu reflektieren. Außerdem kann der Lerner zur Reflexion angeregt werden, wenn er in der Gruppenarbeit sein Verständnis anderen erklären muss. Dillenbourg (Dillenbourg, 1999) hat diese beiden Funktionen von Gruppenarbeit mit „Conflict“ und „(Self-)explanation“ benannt.

In Abschnitt 4.4 wurden auf Grund theoretischer Überlegungen verschiedene Merkmale eines unter metakognitiven Gesichtspunkten „idealen Chemieunterrichts“ postuliert. Diese Merkmale betrafen die Bereiche Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept, Vorwissen, naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten sowie Kommunikation. Diese postulierten Merkmale eines aus metakognitiver Sicht „idealen Unterrichts“ können nach den Erfahrungen der empirischen Studien dieser Arbeit auch weiter beibehalten werden. In Studie I konnte bei getrennter Betrachtung für die Lernervariablen *Vorwissen in Chemie*, *Chemieinteresse* und *chemiespezifisches Selbstkonzept* ein positiver Einfluss auf das chemiespezifische metakognitive Wissen beobachtet werden. Bei gemeinsamer Betrachtung der Einflussvariablen zeigt sich dieser Einfluss für das *chemiespezifische Selbstkonzept* nicht, was jedoch auf die hohe Kollinearität der Variablen zurückgeführt wird. Fördert man also diese Lernervoraussetzungen im Chemieunterricht, so kann gleichzeitig eine Förderung der chemiespezifischen Metakognition angenommen werden. Neben diesen eher indirekt wirkenden Merkmalen eines metakognitionsfördernden Chemieunterrichts sind mutmaßlich direkter wirkende Maßnahmen unter die Merkmale *naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten* sowie *Kommunikation* gefasst worden. Solche Merkmale wurden im chemiespezifischen metakognitiven Wissenstest erfasst. In diesem Test bezogen sich mehrere Aufgabensituationen auf das naturwissenschaftliche Denken und Arbeiten und einige beinhalteten auch die Lernmöglichkeiten, die sich aus Fehlern ergeben (im Abschnitt 4.4 unter das Unterrichtsmerkmal *Kommunikation* gefasst). Das durch den Test erfasste metakognitive Wissen über diese Aufgabensituationen war in Studie I prädiktiv für das Chemiewissen. Es kann also davon ausgegangen werden, dass auch die postulierten Merkmale *naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten* sowie *Kommunikation* wichtige Lerngelegenheiten für chemiespezifische Metakognition bieten und indirekt auch auf den Lernerfolg wirken (eine direkte Wirkung kann natürlich auch angenommen werden). Ein Merkmal, welches nach den Erfahrungen aus Studie II zu den schon formulierten Merkmalen eines metakognitionsfördernden Chemieunterrichts hinzuzufügen ist, ist die *Formulierung und metakognitive Verarbeitung von Lernzielen*. Schon in der IPN-Videostudie zeigt sich, dass zumindest im Physikunterricht die Lernziele einer Unterrichtsstunde aus der Sicht des Lerners

meist im Verborgenen bleiben (Seidel et al., 2006). Hinsichtlich der metakognitiven Förderung durch Lernziele kann auf Grund der Studie II dieser Arbeit angenommen werden, dass ein bloßes Vorsetzen von Lernzielen nicht ausreicht. Der Lerner muss zusätzlich lernen, diese mit dem eigenen Vorwissen in Beziehung zu setzen, sie in eigene Zielorientierung umzuformulieren und sie während des gesamten Lernprozesses als Kontrollinstanz zu nutzen. Eine adäquate metakognitive Verarbeitung von Lernzielen scheint zu deren Wirksamkeit beizutragen.

Nachdem nun Möglichkeiten der fachspezifischen Förderung der Metakognition im Chemieunterricht aufgezeigt wurden, sollte auch das Fernziel der Generalisierung der erworbenen fachspezifischen Metakognition nicht unerwähnt bleiben. Eine theoretische Beschreibung eines solchen möglichen Generalisierungsprozesses liefern z. B. Brown et al. (1989, siehe auch Abschnitt 3.4). Eine Generalisierung fachspezifischer metakognitiver Kompetenzen zunächst in den naturwissenschaftlichen Fächern scheint sogar recht naheliegend, da z. B. in allen naturwissenschaftlichen Fächern das naturwissenschaftliche Denken und Arbeiten beim Experimentieren eine besondere Rolle spielt. Das metakognitive Wissen über diese Arbeitsweisen scheint durchaus übertragbar zu sein. Ob dieser Transfer metakognitiver Kompetenzen in den naturwissenschaftlichen Fächern in der Schulwirklichkeit auch tatsächlich automatisch vom Lerner geleistet wird, kann jedoch bezweifelt werden. Damit ein solcher Transfer erworbener metakognitiver Kompetenzen von der Angebotsseite des schulischen Lernens unterstützt werden kann, müssten wahrscheinlich entweder die entsprechenden Fachlehrkräfte kooperieren oder die naturwissenschaftlichen Fächer in einer Klasse von derselben Lehrkraft unterrichtet werden.

10.3 Ausblick

Im folgenden Ausblick sollen Aspekte angerissen werden, die durch die vorliegende Arbeit nicht abschließend geklärt werden konnten und daher weiterer Forschung bedürfen.

Die Bereiche metakognitiven Wissens in der Chemie wurden im Theorieteil auf Grund der Literatur und auf Grund eigener Überlegungen (siehe Abschnitt 4.1) eher normativ hergeleitet. Diese normative Theorie der Bereiche metakognitiven Wissens in Chemie könnte durch eine empirische Erforschung ergänzt werden: Welches Wissen liegt tatsächlich vor? Welche Bereiche chemiespezifischen metakognitiven Wissens können empirisch unterschieden werden? Erste Hinweise, in welche Richtung eine solche Forschung gehen könnte, ergeben sich aus der Vorstudie zur Fragebogenentwicklung (siehe Abschnitt 8.1.2.4). Hier wurden die Schüler mit metakognitiven Aufgabensituationen konfrontiert, ohne dass Antwortalternativen vorgegeben waren. Auszüge aus den offenen Antworten der Schüler können in Anhang B eingesehen

werden. In Zukunft könnten weitere Forschungsanstrengungen unternommen werden, um das tatsächlich vorliegende fachspezifische metakognitive Wissen in verschiedenen Alterstufen zu inventarisieren. Ein Experten/Novizenvergleich könnte hierbei interessant sein, um funktionaleres metakognitives Wissen von weniger funktionalem metakognitiven Wissen zu trennen. Als Erhebungsmethoden sollten möglichst nicht suggestive, nicht reaktive Verfahren verwendet zu werden, um den Versuchspersonen keine Hinweise auf bestimmte normativ hergeleiteten Vorannahmen der Versuchsleitung über das erwartete Strategiewissen zu geben.

Weitere Untersuchungen könnten auch hinsichtlich der Kriteriumsvalidität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests geplant werden. Hierbei könnten noch weitere Kriterien außer dem Chemiewissen und der Problemlösefähigkeit herangezogen werden. So wäre die Betrachtung von handlungsnäheren Kriterien wie z. B. das tatsächliche Vorgehen oder der Erfolg beim Experimentieren interessant. Es sollte in künftigen Studien auch versucht werden, im Rahmen der Kriteriumsvalidität nicht nur die konkurrente Validität des chemiespezifischen metakognitiven Wissenstests anhand eines zeitgleich erhobenen Kriteriums zu untersuchen, sondern auch die prädiktive Validität anhand eines zeitlich später erhobenen Kriteriums.

Ein weiterer Komplex unbeantworteter Fragen liegt in der geeigneten Operationalisierung der exekutiven Metakognition. Diese Arbeit konnte keine abschließende Antwort darauf geben, wie viele und welche Bereiche der exekutiven Metakognition unterschieden werden sollten. Auch zeigten sich in dieser Arbeit nur unzureichende Zusammenhänge zwischen der mit Hilfe des lauten Denkens erhobenen exekutiven Metakognition und dem Lernerfolg. Diese mangelnden Zusammenhänge können theoretisch nicht erklärt werden. Daher sollte auch die Hypothese, dass exekutive Metakognition und Lernerfolg zusammenhängen, nicht verworfen werden, sondern die geeignete Operationalisierung weiter erforscht werden, zumal ein Training der exekutiven Metakognition in Bezug auf den Lernerfolg hochwirksam war. In Kapitel 5 wurde herausgestellt, dass für die Messung der exekutiven Metakognition die Verwendung konkurrierender Indikatoren am geeignetesten scheint. Bei computergestützten Untersuchungen bietet sich neben der gewählten Methode des lauten Denkens auch die Operationalisierung durch Verlaufsprotokolle an. Die Frage, wie aus diesen Verlaufsprotokollen Indikatoren, die verschiedene Bereiche der exekutiven Metakognition messen, extrahiert werden können, bedarf noch weiterer Forschung (siehe Abschnitt 5.2.1, vgl. Richter et al., 2005). Erste Ansätze der Analyse der Verlaufsprotokolle hinsichtlich verschiedener Bereiche der exekutiven Metakognition wurden in dieser Arbeit innerhalb der Studie II erfolgreich erprobt (siehe Abschnitt 9.2.5).

Ein weiteres Forschungsfeld ergibt sich hinsichtlich der Förderbarkeit metakognitiver Kompetenzen durch einen geeigneten Unterricht. Würde z. B. ein Chemieunterricht, der

die in Abschnitt 4.4 postulierten und in Abschnitt 10.2 erweiterten Merkmale (Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept, Vorwissen, naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten, Kommunikation, Formulierung und metakognitive Verarbeitung von Lernzielen) enthält, eine verbesserte Wirksamkeit gegenüber „normalem“ Unterricht hinsichtlich der erworbenen metakognitiven Kompetenzen und des Lernerfolgs der Schüler haben? Darüber hinaus ergibt sich auch die Frage, ob die postulierten Merkmale eines metakognitionsfördernden Chemieunterrichts überhaupt die entscheidenden sind oder ob noch ganz andere Merkmale des Unterrichts eine Rolle spielen.

Auch hinsichtlich der Domänenspezifität der Metakognition bleiben viele Fragen offen, da diese Arbeit eine der ersten ist, in der diese überhaupt betrachtet wird. So müssten z. B. die Ursachen für domänenspezifische Anteile der Metakognition weiter untersucht werden. Liegen die Ursachen eher in der Unvereinbarkeit der (metakognitiven) Denkprozesse verschiedener Fächer oder liegen sie eher in der immer noch vorherrschenden Abgekoppeltheit der Schulfächer, die sich z. B. in getrennten Unterrichtsstunden und Unterrichtsräumen ausdrückt? Eine Unvereinbarkeit der Denkprozesse scheint in den sich sehr nahe stehenden naturwissenschaftlichen Fächern eher nicht gegeben zu sein, da sich z. B. metakognitive Kompetenzen bezüglich der naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen in Physik und Chemie gleichen. Vielmehr könnte für diese beiden Schulfächer ein mangelnder Transfer metakognitiver Kompetenzen auf die Abgekoppeltheit der Schulfächer zurückgeführt werden. Diese Frage könnte z. B. untersucht werden, indem man zwei Lernergruppen mit einem inhaltlich gleichen metakognitiven Wissenstest über naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten, wie er z. B. in dieser Arbeit verwendet wurde, konfrontiert, der einmal hinsichtlich des Schulfachs Physik und ein anderes Mal hinsichtlich des Schulfachs Chemie formuliert ist. In den meisten Bundesländern haben die Schüler mehr Lernerfahrung in Physik, da dieses Fach früher eingeführt wird. Würden die Schüler in dem inhaltsgleichen Test, der hinsichtlich der Physik formuliert ist, besser abschneiden als in dem entsprechenden Test für die Chemie, würde dies für einen mangelnden Transfer des metakognitiven Wissens im schulischen Kontext sprechen. Ein solcher mangelnder Transfer könnte nicht auf die Unvereinbarkeit der Denkprozesse zurückgeführt werden, da der Fragebogen ja inhaltsgleich wäre, sondern müsste eher mit der Abgekoppeltheit der Schulfächer erklärt werden. Ähnliches könnte gezeigt werden, wenn Schüler in einem chemiespezifischen metakognitiven Wissenstest, der im Rahmen des Physikunterrichts im Physikraum ausgefüllt wird, schlechter abschneiden, als wenn derselbe Test im Chemieunterricht im Chemieraum ausgefüllt wird. So könnten die unterschiedlichsten Untersuchungen entworfen werden, die die Ursachen für die domänenspezifischen Anteile der Metakognition näher beleuchten.

Außerdem wäre eine systematische Untersuchung des Einflusses des Faktors Alter auf die Domänenspezifität der Metakognition interessant. Mit einer solchen Untersuchung könnte die Annahme einer entwicklungspsychologischen Veränderung (siehe Abschnitt 3.3) einer hierarchisch organisierten Metakognition mit fachspezifischen und allgemeinen Anteilen bestätigt oder widerlegt werden.

Abschließend lässt sich feststellen, dass eine domänenspezifische Betrachtung der Metakognition Möglichkeiten für viele neue interessante Forschungsansätze in sich birgt. An der Vielzahl noch nicht untersuchter Fragestellungen ist außerdem zu erkennen, dass die Forschung bezüglich der Domänenspezifität der Metakognition noch am Anfang steht. In dieser Arbeit wurden erste Erkenntnisse bezüglich der chemiespezifischen Metakognition gewonnen. Ähnliche Arbeiten für andere Domänen stehen noch aus. Auch bezüglich der Metakognition innerhalb der Domäne Chemie sind noch viele Fragen unbeantwortet, wie in diesem Ausblick deutlich wurde. Es ist anzunehmen, dass Forschung bezüglich der Domänenspezifität von Metakognition zu einem verbesserten Verständnis des naturwissenschaftlichen Lehrens und Lernens sowie von Lehr- und Lernprozessen im Allgemeinen beitragen kann.

11 Literatur

- Adams, M. (1989). Thinking skills curricula: Their promise and their progress. *Educational Psychologist*, 24(1), 25-77.
- Aebli, H. & Ruthemann, U. (1987). Angewandte Metakognition: Schüler vom Nutzen der Problemlösestrategien überzeugen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 19(1), 46-64.
- Anderson, J. R., Reder, L. M. & Simon, H. A. (1996). Situated learning and education. *Educational Researcher*, 25(4), 5-11.
- Arbuckle, J. L. & Wothke, W. (1999). *Amos 4.0 user's guide*. Chicago: SmallWaters Corporation.
- Artelt, C. (1999). Lernstrategien und Lernerfolg - Eine handlungsnaher Studie. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 31(2), 86-96.
- Artelt, C. (2000a). *Strategisches Lernen*. Münster: Waxmann.
- Artelt, C. (2000b). Wie prädiktiv sind retrospektive Selbstberichte über den Gebrauch von Lernstrategien für strategisches Lernen? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(2/3), 72-84.
- Artelt, C. & Schellhas, B. (1996). Zum Verhältnis von Strategiewissen und Strategieanwendung und ihren kognitiven und emotional-motivationalen Bedingungen im Schulalter. *Empirische Pädagogik*, 10(3), 277-305.
- Artelt, C., Schiefele, U. & Schneider, W. (2001). Predictors of reading literacy. *European Journal of Psychology in Education*, 16(3), 363-383.
- Atkinson, J. W. (1957). Motivational determinants of risk taking behavior. *Psychological Review*, 64, 359-372.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2000). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (9. Aufl.). Berlin: Springer.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2006). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (11. Aufl.). Berlin: Springer.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255, 556-559.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17(1), 13-25.
- Bannert, M. (2004). Designing metacognitive support for hypermedia learning. In H. Niegemann, D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Instructional design for multimedia learning* (S. 19-30). Münster: Waxmann.
- Baron, R. M. & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychology research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173-1182.

- Baumert, J. (1993). Lernstrategien, motivationale Orientierung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen im Kontext schulischen Lernens. *Unterrichtswissenschaft*, 21(4), 327-354.
- Baumert, J., Bos, J. & Lehmann, R. (2000a). *TIMSS/III. Dritte internationale Mathematik und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit*. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Bos, J. & Lehmann, R. (2000b). *TIMSS/III. Dritte internationale Mathematik und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe*. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Bos, W., Klieme, E., Lehmann, R., Lehrke, M., Hosenfeld, I., Neubrand, J. & Watermann, R. (1999). *Testaufgaben zu TIMSS/III*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J., Heym, S. & Köller, O. (1992). *Das Kieler LernStrategien-Inventar (KSI). Skalendokumentation*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (2000). *Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen als fächerübergreifende Kompetenz*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J. & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht. In J. Baumert, J. Bos & R. Lehmann (Hrsg.), *TIMSS/III. Dritte internationale Mathematik und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe* (S. 271-315). Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Clausen, M., Hosenfeld, I., Neubrand, J., Patjens, S., Jungclaus, H. & Günther, W. (1998). *Testaufgaben Naturwissenschaften TIMSS 7./8. Klasse (Population 2)*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., Köller, O. & Neubrand, J. (1997). *TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske + Budrich.
- Becker, H.-J. (1991). Chemiedidaktische Forschungen - Brennpunkt Lehrerverhalten. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 2(10), 436-438.
- Billet, S. (1996). Situated learning: Bridging sociocultural and cognitive theorising. *Learning and Instruction*.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: a new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers and students. *Learning and Instruction*, 7(2), 161-186.
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. Oxford: John Wiley.

- Bolte, C. (1999). Interessengeleitete Kommunikation im Chemieunterricht als Leitidee zur Förderung naturwissenschaftlicher Bildung. In R. Brechdel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie* (S. 96-98). Alsbach: Leuchtturm.
- Bong, M. & Clark, R. E. (1999). Comparison between self-concept and self-efficacy in academic motivation research. *Educational Psychologist*, 34, 139-153.
- Borkowski, J. G., Millstead, M. & Hale, C. (1988). Components of children's metamemory: Implications for strategy generalization. In F. E. Weinert & M. Perlmutter (Hrsg.), *Memory development: Individual differences and universal changes* (S. 73-100). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Borkowski, J. G. & Muthukrishna, N. (1992). Moving metacognition into classroom: "Working models" and effective strategy teaching. In M. Pressley, K. R. Harris & J. T. Guthrie (Hrsg.), *Promoting academic literacy: Cognitive research and instructional innovation* (S. 477-501). Orlando, FL: Academic Press.
- Borkowski, J. G. & Muthukrishna, N. (1995). Learning environment and skill generalization: How contexts facilitate regulatory processes and efficacy beliefs. In F. E. Weinert & W. Schneider (Hrsg.), *Memory performance and competencies. Issues in growth and development* (S. 283-321). Mahwah, N. J.: Erlbaum.
- Borkowski, J. G. & Turner, L. A. (1990). Transsituational characteristics of metacognition. In W. Schneider & F. E. Weinert (Hrsg.), *Interactions among aptitudes, strategies, and knowledge in cognitive performance* (S. 159-176). New York: Springer.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2003). *Forschungsmethoden und Evaluation* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Brown, A. L. (1984). Metakognition, Handlungskontrolle, Selbststeuerung und andere, noch geheimnisvollere Mechanismen. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Hrsg.), *Metakognition, Motivation und Lernen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Brown, A. L. & Palinscar, A. S. (1989). Guided, cooperative learning and individual knowledge acquisition. In L. B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (S. 393-452). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Brown, J., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Brunstein, A. & Krems, J. F. (2005). Einfluss des Bearbeitungsziels auf die Strategiewahl beim hypertextgestützten Lernen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19(1/2), 39-48.
- Brunstein, J. & Spörer, N. (2001). Selbstgesteuertes Lernen. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 622-629). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Bühner, M. (2006). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (2. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2001). *TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht. Forschungsbefunde, Reforminitiativen Praxisberichte und Video-Dokumente*. Bonn.

- Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung. (1997). *Gutachten zur Vorbereitung des Programms "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts". Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung* (Heft 60). Bonn.
- Butterfield, E. C., Albertson, L. R. & Johnson, J. C. (1995). On making cognitive theory more general and developmentally pertinent. In F. E. Weinert & W. Schneider (Hrsg.), *Memory performance and competencies. Issues in growth and development* (S. 181-205). Mahwah, N. J.: Erlbaum.
- Carter, C. & Brickhous, N. (1989). What makes chemistry difficult. *Journal of Chemical Education*, 73, 1084-1088.
- Cavanaugh, J. C. (1989). The importance of awareness in memory aging. In L. W. Poon, D. C. Rubin & B. A. Wilson (Hrsg.), *Everyday cognition in adulthood and late life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cavanaugh, J. C. & Perlmutter, M. (1982). Metamemory: A critical examination. *Child Development*, 53, 11-28.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098-1120.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1978). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
- Christiansen, D. (2006). Persönliche Mitteilung über ein Promotionsprojekt. Kiel.
- Collins, A., Brown, A. L. & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics. In L. B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (S. 453-494). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- de Jong, F. P. C. M. (1990). Self-regulation and problem solving. In H. Mandl, E. de Corte, N. Bennett & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Learning and instruction. European research in an international context*: Oxford.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39, 223-238.
- Demuth, R. (1986). Schülerexperimente im Chemieunterricht - Auswirkungen auf den Unterricht der gymnasialen Oberstufe. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie*, 35(8), 31-33.
- Demuth, R. (2001). "Situiertes Lernen" versus "gezielter Wissensaufbau"? *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie*, 50(1), 1.
- Derry, S. J. & Murphy, D. A. (1986). Designing systems that train learning ability: From theory to practice. *Review of Educational Research*, 56(1), 1-39.
- Deutsches PISA-Konsortium. (2002). *PISA 2000 - Die Länder der Bundesrepublik Deutschland im Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich.
- Deutsches PISA-Konsortium. (2003). *PISA 2000. Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland*. Opladen: Leske + Budrich.

- Diehl, J. M. & Staufenbiehl, T. (2002). *Statistik mit SPSS Version 10 und 11*. Eschborn: Klotz.
- Dillenbourg, P. (1999). Introduction: What do you mean by "collaborative learning"?, *Collaborative learning: cognitive and computational approaches* (S. 1-19). Amsterdam: Pergamon.
- Dochy, F. J. R. C. (1996). Assessment of domain-specific and domain-transcending prior knowledge: Entry assessment and the use of profile analysis. In M. Birenbaum & F. J. R. C. Dochy (Hrsg.), *Alternatives in assessment of achievements, learning processes and prior knowledge* (S. 227-264). Boston: Kluwer.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Reinbek: Rowohlt.
- Eccles, J., Adler, T. F., Futterman, R., Goff, S. B., Kaczala, C. M., Meece, J. L. & Midgley, C. (1983). Expectancies, values and academic behaviors. In J. T. Spence & R. L. Helmreich (Hrsg.), *Achievement and achievement motives* (S. 75-146). San Francisco: Freeman.
- Eccles, J. & Wigfield, A. (1995). In the mind of the actor. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 21(3), 215-225.
- Eccles, J., Wigfield, A., Harold, R. D. & Blumenfeld, P. (1993). Age and gender differences in children's self- and task perceptions during elementary school. *Child development*, 64, 830-847.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87(3), 215-251.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: verbal reports as data*. Cambridge: MIT Press.
- Ertmer, P. A. & Newby, T. J. (1996). The expert learner: Strategic, self-regulated learning, and reflective. *Instructional Science*, 24, 1-24.
- Fend, H. (2002). Mikro- und Makrofaktoren eines Anbeters-Nutzungsmodells von Schulleistungen. Zum Stellenwert der Pädagogische Psychologie bei der Erklärung von Schulleistungsunterschieden verschiedener Länder. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 16(3/4), 141-149.
- Fischer, P. M. & Mandl, H. (1983). Förderung von Lernkompetenz und Lernregulation. Zentrale Komponenten der Steuerung und Regulation von Lernprozessen. In L. Kötter & H. Mandl (Hrsg.), *Kognitive Prozesse und Unterricht*. Düsseldorf: Schwann.
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Hrsg.), *The nature of human intelligence* (S. 231-235). New York: Wiley.
- Flavell, J. H. (1977). *Cognitive development*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hill.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring. A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911.
- Friedrich, H. F. (1992). Vermittlung von reduktiven Textverarbeitungsstrategien durch Selbstinstruktion. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien* (S. 193-212). Göttingen: Hogrefe.

- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien - ein Problemaufriß. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien* (S. 3-54). Göttingen: Hogrefe.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1997). Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung, Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D: Praxisgebiete, Serie I: Pädagogische Psychologie* (Vol. 4, S. 237-293). Göttingen: Hogrefe.
- Garcia, T. & Pintrich, P. R. (1996). Assessing students' motivation and learning strategies in the classroom context: The motivated strategies for learning questionnaire. In M. Birenbaum & F. J. R. C. Dochy (Hrsg.), *Alternatives in assessment of achievements, learning processes and prior knowledge* (S. 227-264). Boston: Kluwer.
- Garner, R. (1988). Verbal-report data on cognitive and metacognitive strategies. In C. E. Weinstein, E. T. Goetz & P. A. Alexander (Hrsg.), *Learning and study strategies: Issues in assessment, instruction, and evaluation* (S. 63-76). San Diego: Academic Press.
- Gentner, D. & Stevens, A. L. (1983). *Mental models*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Georghiades, P. (2004). From general to the situated: three decades of metacognition. *International Journal of Science Education*, 26(3), 365-383.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867-888.
- Glaser, R. & Chi, M. (1988). Overview. In M. Chi, R. Glaser & M. Farr (Hrsg.), *The Nature of Expertise* (S. XV-XXVIII). Hillsdale, Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Glaser, R., Schauble, L., Raghavan, K. & Zeitz, C. (1992). Scientific reasoning across different domains. In E. de Corte, M. C. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Hrsg.), *Computer-based learning environments and problem solving* (Vol. 84, S. 345-371). Heidelberg: Springer.
- Goebel, S. (2007). *Klinische und experimentelle Neuropsychologie der strategischen Fähigkeiten*. Unpublished Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- Gräber, W. (1992a). Interesse am Unterrichtsfach Chemie, an Inhalten und Tätigkeiten. *Chemie in der Schule*, 39(10), 354-358.
- Gräber, W. (1992b). Untersuchungen zum Schülerinteresse an Chemie und Chemieunterricht. *Chemie in der Schule*, 39(7/8), 270-273.
- Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T. & Evans, R. (2002). *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur allgemeinen Bildung*. Opladen: Leske und Budrich.
- Greeno, J. G. (1997). On claims that answer the wrong questions. *Educational Researcher*, 26(1), 5-17.
- Gruber, H. (2001). Expertise. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 164-168). Weinheim: Beltz.
- Gruber, H. & Mandl, H. (1996). Das Entstehen von Expertise. In J. Hoffmann & W. Kintsch (Hrsg.), *Lernen, Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition* (Vol. 7, S. 583-615). Göttingen: Hogrefe.

- Haller, E. P., Child, D. A. & Walberg, H. J. (1988). Can comprehension be taught? A quantitative synthesis of "metacognitive studies". *Educational Researcher*, 17(5-8).
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung - dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Der Mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht*, 57(4), 196-203.
- Hammann, M. (2006a). Kompetenzförderung und Aufgabenentwicklung. *Der Mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht*, 59(2).
- Hammann, M. (2006b). PISA und Scientific Literacy. In W. Blum, M. Hammann & D. Höfer (Hrsg.), *PISA macht Schule. Konzeptionen und Praxisbeispiele zur neuen Aufgabenkultur*: Hessisches Kultusministerium - Institut für Curriculumentwicklung.
- Hansford, B. C. & Hattie, J. A. (1982). The relationship between self and achievement/performance measures. *Review of Educational Research*, 52, 123-142.
- Hasselhorn, M. (1992). Metakognition und Lernen. In G. Nold (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategien*. Tübingen: Günter Narr Verlag.
- Hasselhorn, M. (2001). Metakognition. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 466-471). Weinheim: Beltz.
- Hasselhorn, M. & Körkel, J. (1983). Gezielte Förderung der Lernkompetenz am Beispiel der Textverarbeitung. *Unterrichtswissenschaft*, 11(370-382).
- Hasselhorn, M. & Körkel, J. (1984). Zur differentiellen Bedeutung metakognitiver Komponenten für das Verstehen und Behalten von Texten. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 16(4), 283-296.
- Hattie, J. A., Biggs, J. & Purdie, N. (1996). Effects of learning skills interventions on students learning: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 66(2), 99-136.
- Hays, W. L. (1995). *Statistics* (5. Aufl.). Fort Worth: Harcourt Brace College Publishers.
- Heimann, R. (2003). Strategische Versuchsauswertung. Eine Untersuchung zu kognitiven Voraussetzungen für naturwissenschaftliches Arbeiten. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 13, 247-249.
- Heinecke, C. (1997). Schülervorstellungen über chemische Vorgänge - Ausgangspunkt der Lernstrategie. *Chemie in der Schule*, 44(5), 184-189.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest (KFT 4-12+R)* (3. Aufl.). Göttingen: Beltz Testgesellschaft.
- Hidi, S. (1990). Interest and its contribution as a mental resource for learning. *Review of Educational Research*, 60(4), 549-571.
- Hildebrandt, H. (1999). Das Schülerexperiment in der chemiedidaktischen Lehre und die Schulwirklichkeit. *Chemie in der Schule*, 46(1), 47-49.
- Hoffman, L. & Lehrke, M. (1986). Eine Untersuchung über Schülerinteressen an Physik und Technik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32(2), 189-204.
- Huber, O. (1995). *Das psychologische Experiment: eine Einführung* (2. Aufl.). Bern: Huber.
- IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften. (2006). *PISA 2003. Problemlösen / CCC*. <http://pisa.ipn.uni-kiel.de/pisa2003/index.html> [15.03.07].
- Judd, C. H. (1908). The relation of special training to general intelligence. *Educational Review*, 36, 28-42.

- Kelemen, W. L., Frost, P. J. & Weaver III, C. A. (2000). Individual differences in metacognition: Evidence against a general metacognitive ability. *Memory and Cognition*, 28(1), 92-107.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science. The cognition and development of discovery processes*. Cambridge: MIT Press.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1989). Developmental differences in scientific discovery processes. In D. Klahr & K. Kotovsky (Hrsg.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Klahr, D. & Fay, A. L. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 25, 111-146.
- Klauer, K. J. (1999). Situated learning: Paradigmenwechsel oder alter Wein in neuen Schläuchen? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 13(3), 117-121.
- Kline, R. B. (2005). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling* (2. Aufl.). New York: Guilford.
- Kluwe, R. H. (1987). Executive decisions and regulation of problem solving behavior. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Hrsg.), *Metacognition, motivation, and understanding* (S. 31-64). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Koch. (2005). Persönliche Kommunikation über die Aufgabenentwicklung für einen chemiespezifischen metakognitiven Wissenstest. Kiel.
- Köller, O., Baumert, J. & Schnabel, K. (2000a). Zum Zusammenspiel von schulischem Interesse und Lernen im Fach Mathematik: Längsschnittanalysen in den Sekundarstufen I und II. In U. Schiefele & K.-P. Wild (Hrsg.), *Interesse und Lernmotivation. Untersuchungen zu Entwicklung, Förderung und Wirkung* (S. 163-181). Münster: Waxmann.
- Köller, O., Daniels, Z., Schnabel, K. & Baumert, J. (2000b). Kurswahlen von Mädchen und Jungen im Fach Mathematik: Zur Rolle von fachspezifischem Selbstkonzept und Interesse. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(1), 26-37.
- Köller, O., Schnabel, K. & Baumert, J. (2000c). Der Einfluss der Leistungsstärke von Schulen auf das fachspezifische Selbstkonzept der Begabung und das Interesse. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 32(2), 70-80.
- Konrad, K. (1998). Kooperatives Lernen bei Studierenden: Förderung metakognitiver Selbstäußerungen und (meta)kognitiver Profile. *Unterrichtswissenschaft*, 26, 67-85.
- Konrad, K. (2005). *Förderung und Analyse von selbstgesteuertem Lernen in kooperativen Lernumgebungen: Bedingungen, Prozesse und Bedeutung kognitiver sowie metakognitiver Strategien für den Erwerb und Transfer konzeptuellen Wissens*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*. Münster: Aschendorff.

- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96(4), 674-689.
- Kuhn, D., Schauble, L. & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 9(4), 285-327.
- Kulkarni, D. & Simon, H. A. (1988). The processes of scientific discovery. *Cognitive Science*, 12, 139-175.
- Kultusministerkonferenz. (2004). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004.* http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Chemie_MSA_16-12-04.pdf [15.03.07].
- Kunter, M., Schümer, G., Artelt, C., Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (2002). *PISA 2000 - Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Kunz, G. C. & Drewniak, U. (1991). Metakognitives Strategiewissen als Bedingung der Selbstregulation beim Lernen mit Instruktionstexten. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 5(3), 201-213.
- Kunz, G. C., Drewniak, U., Hatalak, A. & Schön, A. (1992). Zur differentiellen Bedeutung kognitiver, metakognitiver und motivationaler Variablen für das effektive Lernen mit Instruktionstexten und Bildern. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien* (S. 213-229). Göttingen: Hogrefe.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated learning. Legitimate peripheral participation*. Cambridge: University Press.
- Law, L.-C. & Wong, K.-M. P. (1996). Expertise und Instructional Design. In H. Gruber & A. Ziegler (Hrsg.), *Expertiseforschung*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Lehtinen, E. (1992). Lern- und Bewältigungsstrategien im Unterricht. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien: Analyse und Intervention* (S. 125-149). Göttingen: Hogrefe.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K. & Wirth, J. (2004). Problemlösen. In P.-K. Deutschland (Hrsg.), *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 111-146). Münster: Waxmann.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1994). *Testaufbau und Testanalyse* (5. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Lind, G. & Sandmann, A. (2003). Lernstrategien und Domänenwissen. *Zeitschrift für Psychologie*, 211(4), 171-192.
- Lompscher, J. (1996). Erfassung von Lernstrategien auf der Reflexionsebene. *Empirische Pädagogik*, 10(3), 235-244.
- Mähler, C. & Hasselhorn, M. (2001). Transfer. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 466-471). Weinheim: Beltz.
- Mandl, H., Prenzel, M. & Gräsel, C. (1992). Das Problem des Lerntransfers in der betrieblichen Weiterbildung. *Unterrichtswissenschaft*, 20, 126-143.
- Marsh, H. W. (1986). Verbal and math self-concept: An internal/external frame of reference model. *American Educational Research Journal*, 23, 129-149.

- Marsh, H. W. (1990). Causal ordering of academic self-concept and academic achievement: A multiwave, longitudinal panel analysis. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 646-656.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-96.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. (2002a). *Lehrplan für die Sekundarstufe I der weiterführenden allgemeinbildenden Schulen. Hauptschule, Realschule, Gymnasium, Chemie*. Kiel.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. (2002b). *Lehrplan für die Sekundarstufe II. Gymnasium, Gesamtschule, Fachgymnasium. Methodik*. Kiel.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. (2002c). *Lehrplan für die Sekundarstufe II. Gymnasium, Gesamtschule. Chemie*. Kiel.
- Möller, J. & Köller, O. (2004). Die Genese akademischer Selbstkonzepte: Effekte dimensionaler und sozialer Vergleiche. *Psychologische Rundschau*, 55(1), 19-27.
- Möller, J. & Schiefele, U. (2004). Motivationale Grundlagen der Lesekompetenz. In U. Schiefele, C. Artelt, W. Schneider & P. Stanat (Hrsg.), *Struktur, Entwicklung und Förderung von Lesekompetenz. Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA 2000*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Moschner, B. (2001). Selbstkonzept. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 629-635). Weinheim: Beltz.
- Müller-Harbach, G., Wenck, H. & Bader, H. J. (1990). Die Einstellung von Realschülern zum Chemieunterricht, zu Umweltproblemen und zur Chemie. Teil II: Ergebnisse einer empirischen Untersuchung an einer Stichprobe von 2200 Realschülern in Nordrhein-Westfalen. *chimica didactica*, 16, 233-253.
- Myers II, M. & Paris, S. G. (1978). Children's metacognitive knowledge about reading. *Journal of Educational Psychology*, 70(5), 680-690.
- Nerdel, C. (2003). *Die Wirkung von Animation und Simulation auf das Verständnis von stoffwechselphysiologischen Prozessen*, [Dissertation]. Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften. http://e-diss.uni-kiel.de/diss_727/ [15.03.07].
- Newell, A. & Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Nick, S. (2004). *Neue Medien in der Chemieausbildung: Entwicklung, Struktur und Analyse der multimedialen Chemievorlesung "CHEMnet"*. Unpublished Habilitationsschrift, Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel.
- Nick, S. & Andresen, J. (2001). CHEMnet - Ein Hypermedia-Framework. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 50(7), 5-8.
- Nick, S., Andresen, J., Lübker, B. & Thumm, L. (2003). CHEMnet - structure, design, and evaluation of an online chemistry course. *Journal of Science Education and Technology*, 12(3), 333-341.
- Nick, S. & Urhahne, D. (2004). Helfen 3D-Simulationen beim Lernen mit CHEMnet? *CHEMKON*, 11(1), 27-31.

- Nisbett, R. E. & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84(3), 231-259.
- OECD Programme for International Student Assessment. (2001). *PISA 2000 Beispielaufgaben aus dem Naturwissenschaftstest*. http://www.mpib-berlin.mpg.de/pisa/Beispielaufgaben_Naturwissenschaften.pdf [15.03.07].
- OECD Programme for International Student Assessment. (2003). Problemlösen marking guide. PISA 2003 Hauptstudie items.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32(1), 1-8.
- Parchmann, I., Demuth, R., Ralle, B., Paschmann, A. & Huntemann, H. (2001). Chemie im Kontext - Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie*, 50(1), 2-7.
- Parchmann, I., Ralle, B. & Demuth, R. (2000). Chemie im Kontext. Eine Konzeption zum Aufbau und zur Aktivierung fachsystematischer Strukturen in lebensweltorientierten Fragestellungen. *Der Mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht*, 53(3), 132-137.
- Paris, S. G., Cross, D. R. & Lipson, M. Y. (1984). Informed strategies for learning: a program to improve children's reading awareness and comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 76(6), 1239-1252.
- Paris, S. G. & Jacobs, J. E. (1984). The benefits of informal instruction for children's reading awareness and comprehension skills. *Child Development*, 55, 2083-2093.
- Pauli, C. & Reusser, K. (2006). Von international vergleichenden Video Surveys zur videobasierten Unterrichtsforschung und -entwicklung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 774-798.
- Penner, D. E. & Klahr, D. (1996). The interaction of domain-specific knowledge and domain-general discovery strategies: A study with sinking objects. *Child Development*, 67, 2709-2727.
- Perkins, D. N. & Salomon, G. (1989). Are cognitive skills context-bound? *Educational Researcher*, 18, 16-25.
- Pfeifer, P. (2003). Was heißt "naturwissenschaftliches Arbeiten"? *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 14(2003), 161-165.
- Pintrich, P. R. & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33-40.
- Pintrich, P. R. & Schunk, D. (1996). *Motivation in education. Theory, research, and applications*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- PISA-Konsortium Deutschland. (2004). *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.
- Pöpping, W. & Melle, I. (2002). Unterrichtsverfahren im Chemieunterricht des Gymnasiums. In H. Behrendt (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie* (S. 212-214). Alsbach: Leuchtturm.

- Preacher, K. J. & Hayes, A. (2004). SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 36(4), 717-731.
- Prenzel, M. (2000). Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts: Ein Modellprogramm von Bund und Ländern. *Unterrichtswissenschaft*, 28(2), 103-126.
- Prenzel, M., Krapp, A. & Schiefele, H. (1986). Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32, 163-173.
- Prenzel, M., Lankes, E.-M. & Minsel, B. (2000). Interessenentwicklung in Kindergarten und Grundschule: Die ersten Jahre. In U. Schiefele & K.-P. Wild (Hrsg.), *Interesse und Lernmotivation. Untersuchungen zu Entwicklung, Förderung und Wirkung*. Münster: Waxmann.
- Prenzel, M. & Parchmann, I. (2003). Kompetenz entwickeln. Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 14, 169-171.
- Prenzel, M. & Schiefele, H. (2001). Motivation und Interesse. In L. Roth (Hrsg.), *Pädagogik. Handbuch für Studium und Praxis* (2. Aufl., S. 919-930). München: Oldenbourg.
- Ramm, G., Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H.-G., Rost, J. & Schiefele, U. (2006). *PISA 2003. Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.
- Rauin, U., Vollstädt, W., Höhmann, K. & Tillmann, K.-J. (1996). Lehrpläne und alltägliches Lehrerhandeln. Ergebnisse einer Studie an hessischen Sekundarschulen. *Die Deutsche Schule*, 88(1), 66-80.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (1997). Lehren im Erwachsenenalter. Auffassungen vom Lehren und Lernen, Prinzipien und Methoden. In F. E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung, Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D: Praxisgebiete, Serie I: Pädagogische Psychologie* (Vol. 4, S. 355-403). Göttingen: Hogrefe.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidemann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Renkl, A. (2000). Weder Paradigmenwechsel noch alter Wein! *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(1), 5-7.
- 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.
- Reusser, K. & Stebler, R. (1997). Every word problem has a solution. The social rationality of mathematical modeling in schools. *Learning and Instruction*, 7, 307-327.
- Rheinberg, F. (1998). Theory of interest and research on motivation to learn. In L. Hoffman, A. Krapp, K. A. Renninger & J. Baumert (Hrsg.), *Interest and learning*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.

- Richter, T., Naumann, J., Brunner, M. & Christmann, U. (2005). Strategische Verarbeitung beim Lernen mit Text und Hypertext. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19(1/2), 5-22.
- Rimmele, R. (2002). Videograph. Multimedia-Player zur Kodierung von Videos. Kiel: IPN.
- Rost, J., Prenzel, M., Senkbeil, M., Carstensen, C. H. & Groß, K. (2004a). *Naturwissenschaftliche Bildung in Deutschland. Methoden und Ergebnisse von PISA 2000*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Rost, J., Walter, O., Carstensen, C. H., Senkbeil, M. & Prenzel, M. (2004b). Naturwissenschaftliche Kompetenz. In P.-K. Deutschland (Hrsg.), *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 111-146). Münster: Waxmann.
- Rumann, S. & Tiemann, R. (in Druck). *Aufgabeneinsatz und Kompetenzvermittlung im Chemieunterricht*. Jahrestagung 2006 der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Zürich.
- Schanze, S. (2001). *Wissenserwerb mithilfe der internetbasierten Lernumgebung ChemNet. Eine empirische Untersuchung zum Lernen mit linearen und vernetzten Hypertexten*, [Dissertation]. Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften. http://e-diss.uni-kiel.de/diss_535/ [15.03.07].
- Scharf, V. & Gröger, M. (1997). Kreatives Lernen - Versuch einer Annäherung. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 42(8), 262-266.
- Schiefele, U., Krapp, A. & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 15(2), 120-148.
- Schiefele, U. & Schreyer, I. (1994). Intrinsische Lernmotivation und Lernen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 8(1), 1-13.
- Schlagmüller, M., Visé, M. & Schneider, W. (2001). Zur Erfassung des Gedächtniswissen bei Grundschulkindern: Konstruktionsprinzipien und empirische Bewährung der Würzburger Testbatterie zum deklarativen Metagedächtnis. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 33(2), 91-102.
- Schmidt, F. L. & Hunter, J. E. (1998). Meßbare Personenmerkmale: Stabilität, Variabilität und Validität zur Vorhersage zukünftiger Berufsleistung und berufsbezogenen Lernen. In M. Kleinmann & B. Strauß (Hrsg.), *Potentialfeststellung und Personalentwicklung* (S. 15-43). Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie.
- Schneider, W. (1989). *Zur Entwicklung des Meta-Gedächtnisses bei Kindern*. Bern: Huber.
- Schneider, W. (2001). Gdächtnisentwicklung. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (Vol. 2, S. 194-200). Weinheim: Beltz.
- Schneider, W. & Pressley, M. (1998). Introduction. *European Journal of Psychology in Education*, 13(1), 3-8.
- Schneider, W. & Schlagmüller, M. (2004a). Allgemeines zum Test über Textverarbeitungsstrategien. Würzburg.

- Schneider, W. & Schlagmüller, M. (2004b). Metakognitives Wissen über Textverarbeitung. Würzburg.
- Schneider, W., Schlagmüller, M. & Visé, M. (1998). The impact of metamemory and domain-specific knowledge on memory performance. *European Journal of Psychology of Education, 13*(91-103).
- Schnotz, W. (1992). Metacognition and self regulation in text processing: Some comments. In M. Carretero, M. L. Pope, R. J. Simons & J. I. Pozo (Hrsg.), *Learning and instruction. European research in an international context* (Vol. 3, S. 365-375). Elmsford, N. Y.: Pergamon.
- Schnotz, W. (2001). Textverständnis. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 709-717). Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. & Zink, T. (1997). Informationssuche und Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Hypertext. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 11*(2), 95-108.
- Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science, 26*, 113-125.
- Schraw, G., Dunkle, M. E., Bendixen, L. D. & DeBacker Roedel, T. (1995). Does a general monitoring skill exist? *Journal of Educational Psychology, 87*(3), 433-444.
- Schraw, G. & Nietfeld, J. (1998). A further test of the general monitoring skill hypothesis. *Journal of Educational Psychology, 90*(2), 236-248.
- Schreiber, B. (1998). *Selbstreguliertes Lernen*. Münster: Waxmann.
- Schunk, D. H. (1989). Social cognitive theory and self-regulated learning. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Hrsg.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theory, research and practice*. Springer: New York.
- Schunk, D. H. (1994). Self-regulation of self-efficacy and attributions in academic settings. In D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Hrsg.), *Self-regulation of learning and performance. Issues and educational applications* (S. 75-99). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Schunn, C. D. & Klahr, D. (1992). Complexity management in a discovery task, *Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (S. 177-182). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Seel, N. M. (2003). *Psychologie des Lernens*. Weinheim: Beltz.
- Seidel, T. (2003). *Lehr-Lernskripte im Unterricht*. Münster: Waxmann.
- Seidel, T., Kobarg, M. & Rimmele, R. (2003a). *Aufbereitung der Videodaten*. Kiel: IPN-Materialien.
- Seidel, T. & Prenzel, M. (2003). Mit Fehlern umgehen - Zum Lernen motivieren. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik, 52*(1), 30-34.
- Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R., Geiser, H., Hoffman, L., Lehrke, M., Müller, C. & Rimmele, R. (2002). "Jetzt bitte alle nach vorne schauen!" - Lehr-Lernskripte im Physikunterricht und damit verbundene Bedingungen für individuelle Lernprozesse. *Unterrichtswissenschaft, 30*(1), 52-77.
- Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R. & Lehrke, M. (2003b). *Technischer Bericht zur Videostudie "Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht"*. Kiel: IPN-Materialien.

- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. & Schwindt, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 799-821.
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J. & Stanton, G. C. (1976). Self-concept: Validation of construct interpretations. *Review of Educational Research*, 46, 407-441.
- Sodian, B. (2001). Wissenschaftliches Denken. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 789-794). Weinheim: Beltz.
- Spearman, C. (1904). "General intelligence", objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15, 201-293.
- Stäudel, L. (2003). Naturwissenschaftliches Arbeiten. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 14, 158-160.
- Stracke, I. (2004). *Einsatz computerbasierter Concept Maps zur Wissensdiagnose in der Chemie. Empirische Untersuchungen am Beispiel des Chemischen Gleichgewichts*. Münster: Waxmann.
- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions. The problem of human machine communication*. Cambridge: University Press.
- Swanson, H. L. (1990). Influence of metacognitive knowledge and aptitude on problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 82(2), 306-314.
- Sweller, J., VanMerriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Tent, L. (2001). Zensuren. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 805-811). Weinheim: Beltz.
- Tepner, O. & Melle, I. (2004). Die Übung im Chemieunterricht - eine Analyse der aktuellen Situation. In A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung* (S. 296-298). Münster: LIT.
- Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht. Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*. Berlin: Logos.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51-69.
- Third International Mathematics and Science Study (TIMSS). (1995). Coding guide for free-response items - populations 1 and 2. Boston College.
- Tiemann, R., Rumann, S., Jatzwauk, P. & Sandmann, A. (2006). Die Bedeutung von Aufgaben aus Lehrersicht. *Der Mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht*, 59(5), 304-313.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.
- Urhahne, D. (2002). *Motivation und Verstehen*. Münster: Waxmann.
- Urhahne, D. & Schanze, S. (2003). Wie lässt sich das Lernen mit Hypertext effektiver gestalten? Empirischer Vergleich einer linearen und einer netzwerkartigen hypermedialen Lernumgebung. *Unterrichtswissenschaft*, 31(4), 359-377.
- Veenman, M. V. J., Elshout, J. J. & Meijer, J. (1997). The generality vs. domain-specificity of metacognitive skills in novice learning across domains. *Learning and Instruction*, 7(2), 187-209.

- 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., Wilhelm, P. & Beishuizen, J. J. (2004). The relation between intellectual and metacognitive skills from a developmental perspective. *Learning and Instruction*, 14, 89-109.
- Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2002). Goal specificity and learning with a hypermedia program. *Experimental Psychology*, 49(2), 98-108.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: A psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213-1230.
- Walker, C. O., Greene, B. A. & Mansell, R. A. (2006). Identification with academics, intrinsic/extrinsic motivation and self-efficacy as predictors of cognitive engagement. *Learning and Individual Differences*, 16, 1-12.
- Wang, M. C., Haertel, G. D. & Walberg, H. J. (1990). What influences learning? A content analysis of review literature. *Journal of Educational Research*, 84(1), 30-43.
- Weinert, F. E. (1982). Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts. *Unterrichtswissenschaft*, 2, 99-110.
- Weinert, F. E. (Hrsg.). (1984). *Metakognition und Motivation als Determinanten der Lerneffektivität: Einführung und Überblick*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Weinert, F. E. (1996). Für und Wider die "neuen Lerntheorien" als Grundlagen pädagogisch-psychologischer Forschung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 10(1), 1-12.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung an Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim: Beltz.
- Weinstein, C. E. (1988). Assessment and training of student learning strategies. In R. R. Schmeck (Hrsg.), *Learning strategies and learning styles* (S. 292-316). New York: Plenum Press.
- Weinstein, C. E., Zimmermann, S. A. & Palmer, D. R. (1988). Assessing learning: The design and development of the LASSI. In P. A. Alexander (Hrsg.), *Learning and study strategies: Issues in assessment, instruction, and evaluation* (S. 25-40). San Diego: Academic Press.
- Wigfield, A. (1994). Expectancy-value theory of achievement motivation: A developmental perspective. *Educational Psychology Review*, 6(1), 68-81.
- Wigfield, A. & Eccles, J. (2000). Expectancy-value theory of achievement motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 68-81.
- Wild, K.-P. (1996). Beziehungen zwischen Belohnungsstrukturen der Hochschule, motivationalen Orientierungen der Studierenden und individuellen Lernstrategien beim Wissenserwerb. In J. Lompscher & H. Mandl (Hrsg.), *Lehr- und Lernprobleme im Studium. Bedingungen und Veränderungsmöglichkeiten* (S. 54-70). Bern: Huber.

- Wild, K.-P., Krapp, A. & Winteler, A. (1992). Die Bedeutung von Lernstrategie zur Erklärung des Einflusses von Studieninteresse auf Lernleistungen. In M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*. Münster: Aschendorff.
- Wild, K.-P. & Schiefele, U. (1994). Lernstrategien im Studium. Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 15, 185-200.
- Wild, K.-P., Schiefele, U. & Winteler, A. (2006). *Inventar zur Erfassung von Lernstrategien im Studium (LIST)*. http://www.evalguide.ethz.ch/project_evaluation/prov_eval_instr/learning_layer/list_documentation [15.03.07].
- Woest, V. (1997). Der "ungeliebte" Chemieunterricht? Ergebnisse einer Befragung von Schülern der Sekundarstufe 2. *Der Mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht*, 50(1), 50-57.
- Woest, V. (2003). Methode, Berater oder Experte. Die Förderung naturwissenschaftlichen Lernens durch die Rolle der Lehrperson. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 14, 243-246.
- Wolters, C. A. & Pintrich, P. R. (1998). Contextual differences in student motivation and self-regulated learning in mathematics, English, and social studies classrooms. *Instructional Science*, 26, 27-47.
- Zimmerman, B. J. (1989a). Models of self-regulated learning and academic achievement. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Hrsg.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theory, research and practice* (S. 1-25). New York: Springer.
- Zimmerman, B. J. (1989b). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 329-339.
- Zimmerman, B. J. (1994). Dimensions of academic self-regulation: A conceptual framework for education. In D. Schunk & B. Zimmerman (Hrsg.), *Self-Regulation of Learning and Performance* (S. 3-21). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Zimmerman, B. J. (1998). Developing self-fulfilling cycles of academic regulation: An analysis of exemplary instructional models. In B. Zimmerman (Hrsg.), *Self-regulated learning: From teaching to self-reflective practice* (S. 1-19). New York: The Guilford Press.
- Zimmerman, B. J., Bandura, A. & Martinez-Pons, M. (1992). Self-motivation for academic attainment: The role of self-efficacy beliefs and personal goal setting. *American Educational Research Journal*, 29(3), 663-676.
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1986). Development of a structured interview for assessing student use of self-regulated learning strategies. *American Educational Research Journal*, 23(4), 614-628.
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 51-59.
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1992). Perceptions of efficacy and strategy use in the self-regulation of learning. In D. H. Schunk & J. L. Meece (Hrsg.), *Student perceptions in the classroom* (S. 185-207). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.

Anhang A: Gesamtfragebogen der Studie I

A

Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer,

Sie werden heute an einer Fragebogenstudie teilnehmen, in der es unter anderem um das chemische Lernen und Verstehen geht. Der Fragebogen, den Sie heute ausfüllen sollen, besteht aus vier Teilfragebögen.

Fragebogen zum Lernen und Verstehen im Chemieunterricht
Fragebogen zum chemischen Grundverständnis
Fragebogen zum Problemlösen
Fragebogen zum Textverständnis

Sie werden für das Ausfüllen des Fragebogens 1,5 Stunden zur Verfügung haben. Bitte bearbeiten Sie den Fragebogen konzentriert aber zügig. Sie sollten mit der Zeit gut auskommen, wenn Sie ca. 20 Minuten für jeden der Teilfragebögen einplanen.

Ich versichere Ihnen, dass die gesamte Untersuchung anonym ausgewertet wird. Dazu benötige ich von Ihnen einen Personencode. Bitte halten Sie sich hierbei genau an die Anweisungen. Zunächst ein Beispiel für das Ausfüllen des Personencodes:

Beispiel: Susanne hat am 11.05.88 Geburtstag. Ihre Mutter heißt mit Vornamen Nina.
Susanne füllt also die Kästchen für den Personencode wie folgt aus:

... den ersten Buchstaben Ihres Vornamens

| |
|---|
| S |
|---|

... den ersten Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter

| |
|---|
| N |
|---|

... die ersten zwei Ziffern Ihres Geburtstags

| |
|----|
| 11 |
|----|

Bitte tragen Sie nun in die vorgesehenen Felder...

... den ersten Buchstaben Ihres Vornamens

| |
|--|
| |
|--|

... den ersten Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter

| |
|--|
| |
|--|

... die ersten zwei Ziffern Ihres Geburtstags

| |
|--|
| |
|--|

Im Fragebogen werden Sie häufiger dazu aufgefordert, ein Kästchen auf einer mehrstufigen Antwortskala anzukreuzen. Bitte kreuzen Sie das Antwortkästchen an, welches Ihrer Einschätzung am Nächsten kommt. Bitte kreuzen Sie immer nur ein Kästchen an und machen Sie kein Kreuz zwischen den Antwortkästchen.

Sollten Sie eine Antwort verändern wollen, machen Sie bitte einen Kreis um das „falsche“ Kreuz. Im folgenden Beispiel wurde die Antwort von „trifft etwas zu“ in „trifft voll zu“ geändert.

Beispiel:

| | trifft nicht zu | trifft etwas zu | trifft ziemlich zu | trifft voll zu |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Ich gehe gern ins Kino. | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Manchmal sollen Sie auch die richtige Antwortmöglichkeit aus verschiedenen Antwortmöglichkeiten aussuchen, auch hier ist immer nur **eine Antwort anzukreuzen**.

Beispiel:

Bei welchem der folgenden Stoffe handelt es sich NICHT um ein Gemisch?

- a. Luft
b. Blut
c. Orangensaft
d. Salz

Bitte füllen Sie zunächst folgende allgemeinen Angaben aus und gehen dann direkt zum ersten Fragebogen über.

Geschlecht: weiblich männlich

Alter: _____ Jahre

Im **letzten Zeugnis** hatte ich in **Chemie** _____ Punkte.

Im **letzten Zeugnis** hatte ich in **Deutsch** _____ Punkte.

Haben Sie vor, weiter Chemie zu belegen?

- Nein, ich wähle Chemie so schnell es geht ab
 Ja, als Grundkurs
 Ja, als Leistungskurs
 Weiß nicht

Zunächst möchte ich etwas darüber erfahren, wie Sie Ihr chemisches Lernen selbst einschätzen. Bitte kreuzen Sie dazu die Antwort, die auf Sie am Besten zutrifft, auf der Antwortskala an.

| | trifft nicht zu | trifft etwas zu | trifft ziemlich zu | trifft voll zu |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| In Chemie kann ich mir leicht Wissen aneignen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Für Chemie bin ich einfach begabt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| In Wissenszusammenhänge in Chemie kann ich mich leicht hineindenken. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Obwohl ich mir Mühe gebe, fällt mir Chemie schwer. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Mit Denkproblemen in einem unbekanntem Wissensgebiet der Chemie kann ich gut umgehen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Wenn ich in Chemie etwas nicht verstanden habe, denke ich, dass ich es wohl nie verstehen werde. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Chemie würde ich lieber machen, wenn das Fach nicht so schwer wäre. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ich bin in der Lage, selbst anspruchsvolle Sachverhalte der Chemie zu verstehen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Chemie liegt mir einfach nicht. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Wenn ich mich mit einem chemiespezifischen Problem beschäftige, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Chemie gehört für mich persönlich zu den wichtigsten Dingen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Mich mit chemischen Themen zu beschäftigen, macht mir einfach Spaß. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Wenn ich in Chemie etwas Neues hinzulernen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu opfern. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Chemie finde ich langweilig. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ich finde es spannend, mich mit chemischen Fragestellungen auseinander zu setzen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Chemie würde mir mehr Spaß machen, wenn man nicht so viel auswendig lernen müsste. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ich würde mich nicht mit Chemie beschäftigen, wenn ich es nicht müsste. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Fragebogen zum chemischen Grundverständnis

Aufgabe 1

Ein Gemisch aus Eisenpulver und Schwefel wird erhitzt. Was entsteht?

- a. Ein einziges Element.
- b. Zwei andere Elemente.
- c. Eine Lösung.
- d. Eine Legierung.
- e. Eine Verbindung.

Aufgabe 2

Was ist ein Beispiel für eine chemische Reaktion?

- a. Eis schmilzt.
- b. Salzkristalle werden zu Pulver zermahlen.
- c. Holz brennt.
- d. Wasser verdunstet aus einer Pfütze.

Aufgabe 3

10 Maler brauchen 2 Jahre, um eine Stahlbrücke vom einen zum andern Ende anzustreichen. Die verwendete Farbe hat eine Lebensdauer von 2 Jahren, d.h., wenn die Maler fertig gestrichen haben, gehen sie an den Anfang zurück und beginnen wieder von vorne.

- a. Warum MÜSSEN Stahlbrücken angestrichen werden?

- b. Eine neue Farbe, die 4 Jahre hält und gleich teuer ist wie die alte, ist entwickelt worden. Beschreiben Sie 2 direkte Auswirkungen, wenn diese neue Farbe verwendet wird.

Aufgabe 4

Was entsteht, wenn ein neutrales Atom ein Elektron verliert?

- a. Ein Gas
- b. Ein Ion
- c. Eine Säure
- d. Ein Molekül

Aufgabe 5

Bei welchem Vorgang handelt es sich um eine chemische Veränderung?

- a. Element 1 wird zu einem dünnen Blech gehämmert.
- b. Element 2 wird erhitzt und verwandelt sich in eine Flüssigkeit.
- c. Element 3 nimmt eine grünliche Farbe an, wenn es der Luft ausgesetzt wird.
- d. Element 4 wird zu einem feinen, glatten Pulver gemahlen.

Aufgabe 6

Was ist KEIN Beispiel für eine chemische Veränderung?

- a. Kochen von Wasser
- b. Rosten von Eisen
- c. Verbrennen von Holz
- d. Backen von Brot

Aufgabe 7

Die Wörter *Stoff*, *Faden* und *Faser* können zu folgendem Satz verbunden werden: *Stoff* besteht aus *Fäden*, die aus *Fasern* zusammengesetzt sind. Verwenden Sie die Wörter *Moleküle*, *Atome* und *Zellen*, um den folgenden Satz zu vervollständigen:

_____ bestehen aus _____, die aus
_____ zusammengesetzt sind.

Aufgabe 8**Ozon Text**

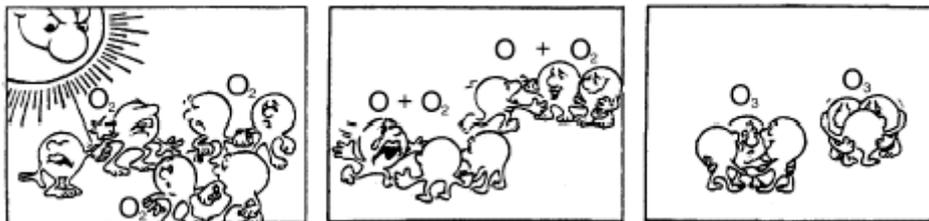
Lesen Sie den folgenden Ausschnitt aus einem Artikel über die Ozonschicht.

Die Atmosphäre ist ein Ozean aus Luft und eine wertvolle natürliche Ressource für die Erhaltung des Lebens auf der Erde. Leider schädigen menschliche Aktivitäten, die auf nationalen/ persönlichen Interessen beruhen, diese gemeinsame Ressource vor allem dadurch, dass sie die empfindliche Ozonschicht zerstören, die als Schutzschild für das Leben auf der Erde dient.

- 5 Ozonmoleküle bestehen aus drei Sauerstoffatomen im Gegensatz zu Sauerstoffmolekülen, die aus zwei Sauerstoffatomen bestehen. Ozonmoleküle sind äußerst selten: Auf eine Million Luftmoleküle kommen weniger als zehn Ozonmoleküle. Dennoch spielt ihr Vorhandensein in der Atmosphäre seit nahezu einer Milliarde Jahren eine entscheidende Rolle für den Schutz des Lebens auf der Erde. Je nachdem, wo das Ozon sich befindet, kann es das Leben auf der Erde
- 10 schützen oder schädigen. Das Ozon in der Troposphäre (bis zu 10 km über der Erdoberfläche) ist „schlechtes“ Ozon, das das Lungengewebe und die Pflanzen schädigen kann. Aber rund 90 Prozent des Ozons in der Stratosphäre (10 bis 40 km über der Erdoberfläche) ist „gutes“ Ozon, das bei der Absorption der gefährlichen ultravioletten Strahlung der Sonne (UV-B) eine sehr nützliche Rolle spielt.
- 15 Ohne diese nützliche Ozonschicht wären die Menschen wegen der verstärkten Einwirkung der ultravioletten Sonneneinstrahlung viel anfälliger für bestimmte Krankheiten. In den letzten Jahrzehnten hat der Ozongehalt abgenommen. 1974 wurde die Hypothese aufgestellt, dass Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) eine Ursache dafür sein könnten. Bis 1987 war die wissenschaftliche Beurteilung von Ursache und Wirkung nicht überzeugend genug, um FCKW
- 20 verantwortlich zu machen. Im September 1987 trafen sich jedoch Diplomaten aus der ganzen Welt in Montreal (Kanada) und vereinbarten eine strenge Begrenzung der Verwendung von FCKW.

Frage 1:

Im obigen Text wird nichts darüber gesagt, wie das Ozon in der Atmosphäre gebildet wird. Tatsache ist, dass jeden Tag Ozon gebildet wird und anderes Ozon verschwindet. Die Bildung von Ozon ist im folgenden Comicstrip illustriert.



Nehmen wir an, Sie hätten einen Onkel, der versucht, die Bedeutung dieses Comicstrips zu verstehen. Er hatte allerdings keinen naturwissenschaftlichen Unterricht in der Schule und versteht deshalb nicht, was der Autor hier erklärt. Er weiß, dass es keine kleinen Männchen in der Atmosphäre gibt, aber er fragt sich, was denn diese Männchen im Comicstrip darstellen, was diese seltsamen Bezeichnungen O₂ und O₃ bedeuten und welche Prozesse der Comicstrip beschreibt. Er bittet Sie, ihm den Comicstrip zu erklären. Nehmen Sie an, dass Ihr Onkel weiß:

dass O das Symbol für Sauerstoff ist,
was Atome und Moleküle sind.

Schreiben Sie eine Erklärung des Comicstrips für Ihren Onkel.

Verwenden Sie in Ihrer Erklärung die Wörter Atome und Moleküle so, wie sie in den Zeilen 5 und 6 verwendet werden.

Frage 2:

Ozon entsteht auch bei Gewittern. Es verursacht den typischen Geruch nach einem Gewitter. Der Autor unterscheidet in den Zeilen 10-14 zwischen „schlechtem Ozon“ und „gutem Ozon“.

Ist das Ozon, das bei Gewittern entsteht, nach den Aussagen des Artikels „schlechtes Ozon“ oder „gutes Ozon“?

Wählen Sie die Antwort und Erklärung, die im Text enthalten ist.

| | Schlechtes Ozon oder gutes Ozon? | Erklärung |
|----|----------------------------------|------------------------------------|
| a. | Schlecht | Es entsteht bei schlechtem Wetter. |
| b. | Schlecht | Es entsteht in der Troposphäre. |
| c. | Gut | Es entsteht in der Stratosphäre. |
| d. | Gut | Es riecht gut. |

Frage 3:

In den Zeilen 18 und 19 steht: „Ohne diese nützliche Ozonschicht wären die Menschen wegen der verstärkten Einwirkung der ultravioletten Sonneneinstrahlung viel anfälliger für bestimmte Krankheiten.“ Nennen Sie eine dieser Krankheiten.

Frage 4:

Am Ende des Textes wird ein internationales Treffen in Montreal erwähnt. Bei diesem Treffen wurden zahlreiche Fragen bezüglich des möglichen Abbaus der Ozonschicht diskutiert. Zwei dieser Fragen erscheinen in der folgenden Tabelle.

Können die folgenden Fragen durch wissenschaftliche Forschung beantwortet werden? Kreuzen Sie jeweils Ja oder Nein ein.

**Durch wissenschaftliche
Forschung zu
beantworten?**

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Sollten bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten bezüglich des Einflusses von FCKW auf die Ozonschicht für Regierungen ein Grund sein, keine Maßnahmen zu ergreifen? | Ja / Nein |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Wie hoch wäre die Konzentration von FCKW in der Atmosphäre im Jahr 2002, wenn der Ausstoß von FCKW in die Atmosphäre dauernd so hoch bliebe wie jetzt? | Ja / Nein |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

Aufgabe 9**Was tun, wenn`s im Magen brennt?**

Ihr Magen enthält eine saure Lösung, die die Verdauung unterstützt und Bakterien, die mit dem Essen in den Magen gelangen, abtötet. Wenn im Magen zu viel Säure produziert wird, dann „brennt“ es – z.B. in der Speiseröhre, wenn man Aufstoßen muss. Dies wird als „Sodbrennen“ bezeichnet.

Frage 1:

Wenn Sie eine Tablette gegen die Übersäuerung des Magens herstellen sollten, **bei welchen Stoffen würden Sie nach einer geeigneten Substanz suchen?**

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| a. Säuren | <input type="checkbox"/> |
| b. Laugen | <input type="checkbox"/> |
| c. sauer wirkende Salze | <input type="checkbox"/> |
| d. basisch wirkende Salze | <input type="checkbox"/> |
| e. Aktivkohle | <input type="checkbox"/> |

Frage 2:

Ganz unterschiedliche Aspekte müssen bei der Entwicklung eines neuen Medikaments berücksichtigt werden. **Nennen Sie fünf Kriterien, die Ihnen bei der Entwicklung eines Medikaments wichtig erscheinen!**

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Frage 3:

Nach der Einnahme von Bullrich-Salz muss man häufig aufstoßen. Grund ist die folgende Reaktion im Magen: Der Wirkstoff Natriumhydrogencarbonat bildet mit der im Magensaft enthaltenen Salzsäure Kohlenstoffdioxid.

Der Packungsbeilage von Bullrich-Salz ist zu entnehmen, dass in einer Tablette 840mg Natriumhydrogencarbonat enthalten sind.

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Neutralisationsreaktion von NaHCO_3 mit HCl !

Frage 4:

Für die Wirksamkeit einer Tablette muss man wissen, wie viel Wirkstoff enthalten ist. **Geben Sie an, wieviel Mol 840mg NaHCO_3 (enthalten in einer Tablette) entsprechen!**

Hinweis: Bei der Berechnung der molaren Masse hilft Ihnen das abgebildete Periodensystem!

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | I | II | IIIb | IVb | Vb | VIb | VIIb | VIIIb | IB | IIB | III | IV | V | VI | VII | VIII | | |
| 1 | 1 H 1,007 | | | | | | | | | | | | | | | 2 He 4,002 | | |
| 2 | 3 Li 6,941 | 4 Be 9,012 | | | | | | | | | 5 B 10,81 | 6 C 12,01 | 7 N 14,00 | 8 O 15,99 | 9 F 18,99 | 10 Ne 20,17 | | |
| 3 | 11 Na 22,98 | 12 Mg 24,30 | | | | | | | | | 13 Al 26,98 | 14 Si 28,08 | 15 P 30,97 | 16 S 32,06 | 17 Cl 35,45 | 18 Ar 39,94 | | |
| 4 | 19 K 39,09 | 20 Ca 40,07 | 21 Sc 44,95 | 22 Ti 47,88 | 23 V 50,94 | 24 Cr 51,99 | 25 Mn 54,93 | 26 Fe 55,84 | 27 Co 58,93 | 28 Ni 58,69 | 29 Cu 63,54 | 30 Zn 65,39 | 31 Ga 69,72 | 32 Ge 72,61 | 33 As 74,92 | 34 Se 78,96 | 35 Br 79,90 | 36 Kr 83,8 |
| 5 | 37 Rb 85,46 | 38 Sr 87,62 | 39 Y 88,90 | 40 Zr 91,22 | 41 Nb 92,90 | 42 Mo 95,94 | 43 Tc 98,90 | 44 Ru 101,0 | 45 Rh 102,9 | 46 Pd 106,4 | 47 Ag 107,8 | 48 Cd 112,4 | 49 In 114,8 | 50 Sn 118,7 | 51 Sb 121,7 | 52 Te 127,6 | 53 I 126,9 | 54 Xe 131,2 |

Frage 5:

Was müssen Sie in Erfahrung bringen, um zu entscheiden, wie viele Tabletten ein Patient mit Sodbrennen einnehmen sollte?

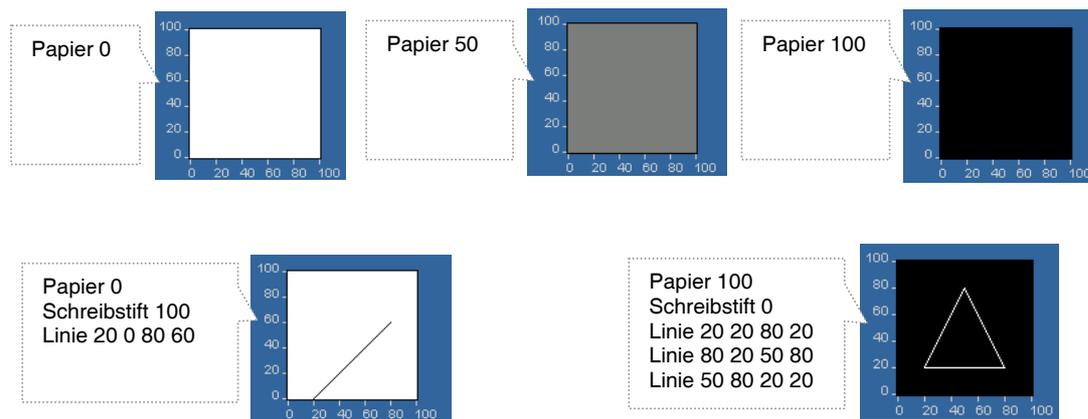
Fragebogen zum Problemlösen

Aufgabe 1

Design by Numbers

Design by Numbers ist ein Programm zur Erzeugung von Grafiken mit dem Computer. Es können Bilder erzeugt werden, indem man dem Programm eine Reihe von Befehlen gibt.

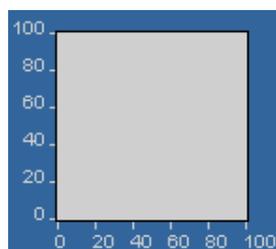
Sehen Sie sich die nachstehenden Beispielbefehle und –bilder aufmerksam an, bevor Sie auf die Fragen antworten.



Frage 1:

Welcher der folgenden Befehle erzeugte die unten stehende Grafik?

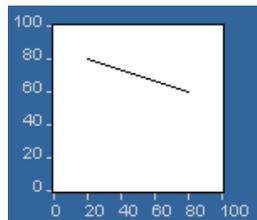
- a. Papier 0
- b. Papier 20
- c. Papier 50
- d. Papier 75



Frage 2:

Welche der folgenden Befehlsreihen erzeugte die unten stehende Grafik?

- a. Papier 100 Schreibstift 0 Linie 80 20 80 60
- b. Papier 0 Schreibstift 100 Linie 80 20 60 80
- c. Papier 100 Schreibstift 0 Linie 20 80 80 60
- d. Papier 0 Schreibstift 100 Linie 20 80 80 60



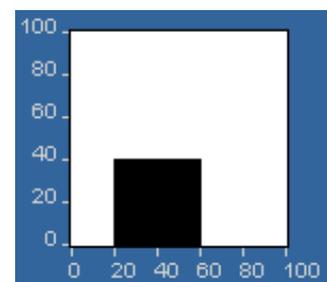
Frage 3:

Das folgende Beispiel veranschaulicht den Befehl „Wiederhole“.

```
Papier 0
Schreibstift 100
Wiederhole A 50 80
{
  Linie 20 A 40 A
}
```

Der Befehl „Wiederhole A 50 80“ gibt dem Programm den Befehl, die Abläufe in den geschweiften Klammern {} für die aufeinander folgenden Werte von A von A=50 bis A=80 zu wiederholen.

Schreiben Sie die Befehle auf, die folgende Grafik erzeugen:



Aufgabe 2

Gefrierschrank

Jennifer hat sich einen neuen Gefrierschrank gekauft. Die Bedienungsanleitung enthält die folgenden Anweisungen:

- Schließen Sie das Gerät an das Netz an und schalten Sie es ein.
 - Sie hören den Motor anlaufen.
 - Eine rote Kontrollleuchte (LED) geht an.
- Drehen Sie den Temperaturregler auf die gewünschte Position. Position 2 ist normal.

| Position | Temperatur |
|----------|------------|
| 1 | -15 °C |
| 2 | -18 °C |
| 3 | -21 °C |
| 4 | -25 °C |
| 5 | -32 °C |

- Die rote Kontrollleuchte ist an, bis die Temperatur des Gefrierschranks niedrig genug ist. Dies dauert 1 - 3 Stunden, je nach Temperatur, die Sie eingestellt haben.
- Legen Sie nach vier Stunden Lebensmittel in den Gefrierschrank.

Jennifer befolgt diese Anweisungen, stellt aber den Temperaturregler auf Position 4. Nach 4 Stunden legt sie Lebensmittel in den Gefrierschrank.

Nach 8 Stunden leuchtet die rote Kontrollleuchte immer noch, obwohl der Motor läuft und der Innenraum des Gefrierschranks sich kalt anfühlt.

Frage 1:

Jennifer fragt sich, ob die Kontrollleuchte richtig funktioniert. Welche der folgenden Handlungen oder Beobachtungen lässt/lassen darauf schließen, dass die Leuchte richtig funktioniert?

Kreisen Sie für jeden der drei Fälle „Ja“ oder „Nein“ ein.

| Handlung und Beobachtung | Lässt die Beobachtung darauf schließen, dass die Kontrollleuchte richtig funktioniert? |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Sie dreht den Regler auf Position 5, und die rote Leuchte geht aus. | Ja / Nein |
| Sie dreht den Regler auf Position 1, und die rote Leuchte geht aus. | Ja / Nein |
| Sie dreht den Regler auf Position 1, und die rote Leuchte bleibt an. | Ja / Nein |

Frage 2:

Jennifer liest die Bedienungsanleitung noch einmal, um zu sehen, ob sie etwas falsch gemacht hat. Sie findet die folgenden sechs Warnhinweise:

1. **Schließen Sie das Gerät nicht an eine Steckdose an, die nicht geerdet ist.**
2. **Stellen Sie den Gefrierschrank nicht auf eine niedrigere Temperatur als nötig ein (normal ist -18 °C).**
3. **Die Lüftungsgitter sollten freigehalten werden, sonst kann sich die Kühlleistung des Gerätes verringern.**
4. **Frieren Sie grünen Salat, Rettich, Trauben, ganze Äpfel oder Birnen und fettes Fleisch nicht ein.**
5. **Salzen oder würzen Sie frische Lebensmittel nicht vor dem Einfrieren.**
6. **Öffnen Sie die Tür des Gefrierschranks nicht zu häufig.**

Das Nicht-Beachten welches/welcher dieser sechs Warnhinweise könnte dazu geführt haben, dass die Kontrollleuchte länger brennt?

Kreisen Sie „Ja“ oder „Nein“ für jeden der sechs Warnhinweise ein.

| Warnhinweis | Hätte das Nicht-Beachten des Warnhinweises dazu führen können, dass die Kontrollleuchte länger brennt? |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Warnhinweis 1 | Ja / Nein |
| Warnhinweis 2 | Ja / Nein |
| Warnhinweis 3 | Ja / Nein |
| Warnhinweis 4 | Ja / Nein |
| Warnhinweis 5 | Ja / Nein |
| Warnhinweis 6 | Ja / Nein |

Aufgabe 3

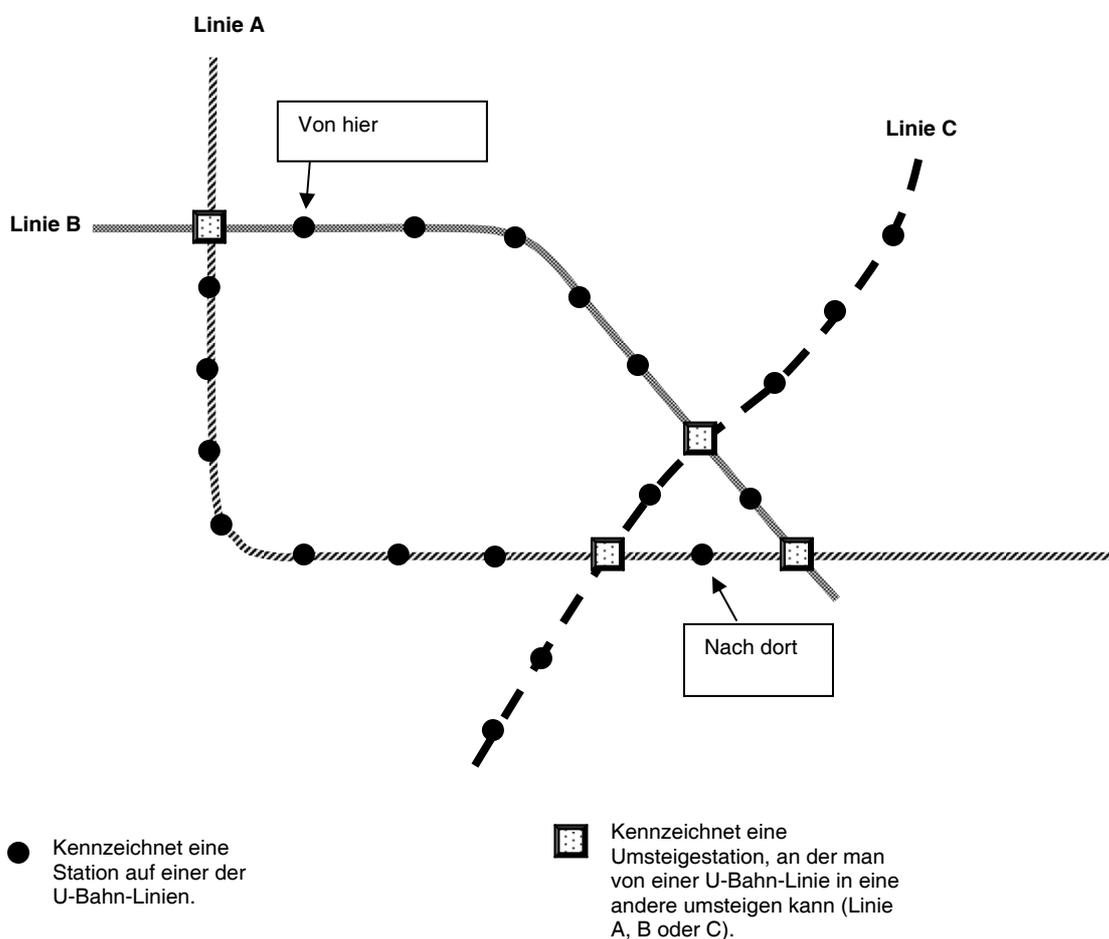
Anschlusszüge

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt des öffentlichen Verkehrsnetzes einer Stadt in Zedland mit drei U-Bahn-Linien. Der Ort, an dem Sie sich befinden, sowie Ihr Zielort sind eingezeichnet.

Der Preis richtet sich nach der Anzahl der angefahrenen Stationen (die Abfahrtsstation nicht mitgerechnet). Die Kosten betragen 1 Zed pro angefahrener Station.

Die Fahrzeit zwischen zwei aufeinander folgenden Stationen beträgt ungefähr 2 Minuten.

Um an einer Umsteigestation von einer U-Bahn-Linie in eine andere umzusteigen, benötigt man ungefähr 5 Minuten.



Frage 1:

Die Abbildung zeigt die Station, an der Sie sich zur Zeit befinden („Von hier“), und die Station, zu der Sie fahren möchten („Nach dort“). Markieren Sie in der Abbildung die beste Strecke in Bezug auf Kosten und Zeit und nennen Sie nachfolgend den Fahrpreis sowie die ungefähre Fahrzeit.

Fahrpreis: _____ Zeds.

Ungefähre Fahrzeit: _____ Minuten.

Aufgabe 4:**Studienplan**

Eine Fachhochschule bietet die folgenden 12 Fächer im Rahmen eines 3-jährigen Studiums an, wobei jedes Fach ein Jahr dauert:

| | Code des Fachs | Bezeichnung des Fachs |
|----|-----------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | M1 | Maschinenbau Stufe 1 |
| 2 | M2 | Maschinenbau Stufe 2 |
| 3 | E1 | Elektronik Stufe 1 |
| 4 | E2 | Elektronik Stufe 2 |
| 5 | B1 | Betriebswirtschaft Stufe 1 |
| 6 | B2 | Betriebswirtschaft Stufe 2 |
| 7 | B3 | Betriebswirtschaft Stufe 3 |
| 8 | C1 | Computersysteme Stufe 1 |
| 9 | C2 | Computersysteme Stufe 2 |
| 10 | C3 | Computersysteme Stufe 3 |
| 11 | T1 | Technologie- und Informationsmanagement Stufe 1 |
| 12 | T2 | Technologie- und Informationsmanagement Stufe 2 |

Frage 1:

Jeder Studierende muss 4 Fächer pro Jahr belegen und schließt damit 12 Fächer in 3 Jahren ab. Die Studierenden können nur dann ein Fach einer höheren Stufe belegen, wenn sie zuvor die niedrigere(n) Stufe(n) im gleichen Fach in einem vorherigen Jahr abgeschlossen haben. Man kann zum Beispiel erst dann Betriebswirtschaft Stufe 3 belegen, wenn man vorher Betriebswirtschaft Stufe 1 und 2 abgeschlossen hat.

Darüber hinaus kann Elektronik Stufe 1 erst dann belegt werden, wenn vorher Maschinenbau Stufe 1 abgeschlossen wurde. Elektronik Stufe 2 kann erst dann belegt werden, wenn vorher Maschinenbau Stufe 2 abgeschlossen wurde.

Entscheiden Sie, welche Fächer in welchem Jahr angeboten werden sollten, indem Sie die folgende Tabelle ausfüllen. Schreiben Sie die Codes der Fächer in die Tabelle.

| | Fach 1 | Fach 2 | Fach 3 | Fach 4 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1. Jahr | | | | |
| 2. Jahr | | | | |
| 3. Jahr | | | | |

Aufgabe 5

Urlaub

Bei dieser Aufgabe geht es darum, die beste Urlaubsrouten zu planen.
Die Abbildungen 1 und 2 zeigen eine Landkarte der Region und die Entfernungen zwischen den Städten.

Abbildung 1: Landkarte der Straßen zwischen den Städten

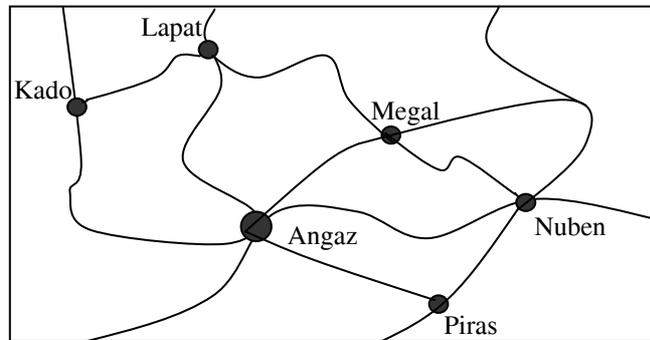


Abbildung 2: Die kürzesten Straßenverbindungen zwischen den Städten in Kilometern

| | | | | | | |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Angaz | | | | | | |
| Kado | 550 | | | | | |
| Lapat | 500 | 300 | | | | |
| Megal | 300 | 850 | 550 | | | |
| Nuben | 500 | | 1000 | 450 | | |
| Piras | 300 | 850 | 800 | 600 | 250 | |
| | Angaz | Kado | Lapat | Megal | Nuben | Piras |

Frage 1:

Berechnen Sie die kürzeste Straßenverbindung zwischen Nuben und Kado.

Entfernung: _____ Kilometer.

Frage 2:

Zina wohnt in Angaz. Sie will Kado und Lapat besichtigen. Sie kann nicht mehr als 300 Kilometer pro Tag zurücklegen, aber sie kann ihre Reise unterbrechen, indem sie irgendwo zwischen zwei Städten auf einem Campingplatz übernachtet.

Zina bleibt zwei Nächte in jeder Stadt, so dass sie jedes Mal einen ganzen Tag für die Besichtigung der Stadt zur Verfügung hat.

Geben Sie Zinas Route an. Tragen Sie dazu in die folgende Tabelle ein, wo sie jeweils die Nacht verbringt.

| Tag | Übernachtung |
|-----|--------------------------------------|
| 1 | Campingplatz zwischen Angaz und Kado |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | Angaz |

Aufgabe 5

Stellen Sie sich vor, Sie sollen in einer Unterrichtsstunde lernen, wie Regen entsteht. Es können dabei unterschiedliche Methoden benutzt werden, die Sie jetzt benoten sollen:

| | | <i>Noten</i> | | | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| a. | Die Lehrkraft liest einen Text zu diesem Thema vor, und die Schülerinnen und Schüler hören zu. | <input type="checkbox"/> |
| b. | Die Schülerinnen und Schüler lesen den Text leise mit, während die Lehrkraft ihn laut vorliest. | <input type="checkbox"/> |
| c. | Die Schülerinnen und Schüler lesen den Text selbstständig durch und schauen sich dann eine Abbildung an, die die Entstehung des Regens erklärt. | <input type="checkbox"/> |
| d. | Die Schülerinnen und Schüler schauen sich einen kurzen Film an, in dem der Text zum Regen mit speziellen Beispielen verdeutlicht wird. | <input type="checkbox"/> |
| e. | Die Lehrkraft liest den Schülerinnen und Schülern den Text vor und zeigt dazu einige Dias. | <input type="checkbox"/> |

Aufgabe 6

Wie gut helfen die unten aufgelisteten Methoden bei der Aufgabe, den Inhalt eines Textes zu verstehen und ihn zu behalten?

| | | <i>Noten</i> | | | | | |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| a. | Es ist hilfreich, sich auf die leicht verständlichen Stellen zu konzentrieren. | <input type="checkbox"/> |
| b. | Es ist hilfreich, sich immer wieder zu fragen, ob man alles verstanden hat. | <input type="checkbox"/> |
| c. | Es ist hilfreich, den Text so oft wie möglich durchzulesen. | <input type="checkbox"/> |
| d. | Es ist hilfreich, nach dem Lesen mit anderen über den Text zu diskutieren. | <input type="checkbox"/> |
| e. | Es ist hilfreich, wichtige Stellen im Text zu unterstreichen | <input type="checkbox"/> |
| f. | Es ist hilfreich, sich zu überlegen, was man zu dem Thema des Textes schon weiß. | <input type="checkbox"/> |
| g. | Es ist hilfreich, das Gelesene in eigenen Worten zusammenzufassen. | <input type="checkbox"/> |

Vielen Dank für Ihre Hilfe!!!

Anhang B: Beispiele für Schülerantworten aus der Vorstudie zur Entwicklung des chemiebezogenen metakognitiven Wissenstests in Studie I

Aufgabe 1

- Vielleicht würde ich noch weiter im Internet recherchieren, weil mich der Sachverhalt wirklich interessiert.
- Man könnte versuchen mehr Texte über dieses Thema zu finden, vielleicht sogar mit unterschiedlichen Meinungen.
- Ich würde den Text weiterlesen und mir die „Antwort“ merken. Dann würde ich darüber nachdenken ob ich das für gut oder richtig befinde.
- Ich lese den Text zu Ende und teste die Kaugummis selbst.
- Eltern fragen
- Zahnarzt fragen
- Bestandteile des Kaugummis herausfinden und untersuchen
- Ich würde Zahnpflege-Kaugummis testen oder im Internet oder bei meiner Nachbarin abschreiben

Aufgabe 2

- Versuche mit anderen Materialien machen
- Lehrer fragen, ob es möglich ist den Versuch zu wiederholen (Messfehler)
- Ich informiere mich über die Eigenschaften des Stoffes A. Wenn meine Beobachtungen mit der Literatur nicht übereinstimmen, wiederhole ich den Versuch und prüfe, ob ich einen Fehler gemacht habe.
- Unterschiede zwischen Stoff A und Holz herausfinden, überlegen/nachlesen, warum die Asche bei leichter ist und warum dies bei Stoff A anders sein könnte. Versuch mit weiteren Stoffen wiederholen -> vielleicht Gesetzmäßigkeiten.
- Ich würde über Stoffe, die ich kenne nachdenken, mit meinem Nachbarn diskutieren und meine Mutter oder meinen Chemielehrer fragen
- Etwas muss mit Stoff A reagiert haben. Deshalb sollte man sich überlegen, woher dieser Stoff kommen könnte.
- diskutieren, Buch gucken
- Darüber nachdenken, welche anderen Reaktionen durch die Verbrennung des Stoffes abgelaufen sein können.

Aufgabe 3

- Sie ist wie gesagt ein Modell und somit auf andere homogene Gemische anwendbar, die dasselbe Mischungsverhältnis aufweisen.
- Sie veranschaulicht, wie so ein Gemisch aufgebaut ist und erweitert die Vorstellungskraft für chemische Prozesse, die das Verstehen fördert.
- Ohne Formeln leichter verständlich, viel anschaulicher als ein rein chemisches Modell.
- Sie stellt die Chemie vereinfacht da.
- Durch die Zeichnung kann man sich das homogene Gemisch besser vorstellen, weil es schematisch auf molekularer Ebene gezeigt wird. Ich denke, dass man es dadurch auch besser versteht und lernt.
- Wenn man etwas verstehen soll, muss man sich das vorstellen können und bei einer Klausur kann man sich das vorstellen und das kann helfen, wenn man ein Black out hat.
- Man hat dadurch einen ersten Eindruck bekommen, hat ein bestimmtes Bild im Kopf und kann dann im Chemiebuch etwas darüber lesen und mit dem Bild in Verbindung bringen.
- Anhand der Zeichnung kann man es sich deutlich machen und leichter erklären.
- mit Erläuterungen, mit Legende
- Anderer Lernkanal als reiner Text (Verbildlichung), bessere Vorstellung von Stoffen.

Aufgabe 4

- Ich informiere mich über die Eigenschaften der verschiedenen Stoffe.
- Zuerst selbst überlegen, mit welcher Methode falls sie nicht vorgegeben ist, die Stoffe getrennt werden können; mit Mitschülern diskutieren, wie man vorgehen sollte, notfalls Lehrer fragen.
- Ich würde mich über das Gemisch informieren, und gewusstensfalls über die Stoffe. Zuerst im Schulchemiebuch, dann Duden & Internet.
- Ich würde mich zunächst über verschiedene Methoden, die Stoffe zu trennen, informieren. Dann würde ich sie ausprobieren und versuchen zu erklären, warum welche Methode für welches Gemisch geeignet ist.
- Ich würde mich über verschiedene Möglichkeiten der Stofftrennung informieren und vorschlagen diese möglichst im Unterricht durchzuführen.
- Man müsste sich über die beiden Stoffe und ihre Eigenschaften informieren, um anhand der Unterschiede ein geeignetes Verfahren zur Trennung auszuwählen.
- In Chemiebuch gucken, ob man diese Stoffe trennen kann und wie.
- Man sollte möglichst viele Trennungsmethoden ausprobieren, um möglichst viel über den Stoff lernen zu können.

- Ich suche im Buch nach einem ähnlichen Versuch oder experimentier einfach ein bisschen rum.
- Viele Arten benutzen, um die Stoffe zu trennen.
- Vielleicht eine Zentrifugation durchführen!?

Aufgabe 5

- Arbeitsbogen genau lesen, Versuch durchführen
- Ich setze mich genau mit der Abbildung und der Beschreibung auseinander und versuche Zusammenhänge festzustellen.
- Nach den Anleitungen vorgehen und zuerst möglichst ohne Lehrer arbeiten, bei Problemen/Unverständnis aber sofort nachfragen, die Ergebnisse hinterher vergleichen und besprechen.
- Arbeitsteilung mit meinem Versuchspartner, losexperimentieren und auf Ergebnisse hoffen, evtl. Zwischenergebnisse notieren.
- Ich würde den Zettel zunächst einmal ganz durchlesen und dann jeden Arbeitsschritt noch einmal einzeln, bevor ich ihn ausführe.
- Ich würde den Versuch ausführen, die Beobachtungen aufschreiben, zu den verwendeten Stoffen und der möglichen Reaktion etwas in meinem Chemiebuch suchen und mit meinen Nachbarn diskutieren.
- Ich würde mich streng an die Anweisungen halten, um möglichst viele Fehler ausschließen zu können.
- Die Gegenstände für den Versuch holen bzw. aufbauen und dann genau nach der Versuchsbeschreibung vorgehen
- Genau den Anweisungen folgen, genau beobachten, Beobachtungen aufschreiben, versuchen Parallelen zu früheren Versuchen zu finden

Aufgabe 6

- Entweder hoffe ich, dass wir diese Aufgabe gemeinsam lösen oder ich blättere im Buch.
- Ich informiere mich über die Stoffeigenschaften. Dann überlege ich, welche Reaktionen abgelaufen sein könnten.
- Nachlesen/nachfragen welche Eigenschaften, welche Reaktionen
- Irgendwelche Proben durchführen, die auf die Struktur des Stoffes schließen lassen.
- Umkehrreaktion, versuchen, welche Stoffe an der Reaktion beteiligt sind.
- Selbst überlegen, mögl. Deutungen anstellen
- Versuchen, ein Reaktionsschema zu erstellen
- Versuch durchführen
- Ich würde versuchen, die Reaktion, die Abfolge und Stoffe der Reaktion zu erarbeiten um aufbauend auf jenen zu einem Gesamtfazit zu kommen.
- Nachfragen, nachlesen

Aufgabe 7

- Reaktionsschema, was ist passiert, wann ist die Knallgasprobe positiv
- Versuch wiederholen
- Gelassen nehmen, passiert öfters. Es dem Lehrer mitteilen und noch mal versuchen, dabei genauer aufpassen, ob etwas schief gelaufen sein könnte.
- Versuch wiederholen - vielleicht hab ich etwas falsch gemacht - dann nachlesen oder Lehrer fragen.
- Ich würde das Experiment wiederholen, vielleicht mit anderem Versuchsaufbau. Ich würde das Zinkgranulat und die Salzsäure überprüfen (z. B. Konzentration der Salzsäure).
- Ich informiere mich, ob die Knallgasprobe positiv ausfallen sollte. Wenn dies der Fall ist, wiederhole ich den Versuch und bemühe mich mehr Gas einzufangen, indem ich ein breiteres Reagenzglas benutze, das nicht so tief ist, sodass das Gas nicht weit nach oben gelangen kann und möglichst nah an der Flamme ist. Außerdem gebe ich mehr Säure auf das Granulat, damit möglichst viel Gas entsteht.
- Überlegen, was falsch gemacht; nochmals durchführen bzw. gucken wie Versuch bei anderen läuft; nachlesen: vielleicht andere Versuchsanleitung
- Ich würde mir überlegen ob überhaupt Wasserstoff entstehen könnte und ob der Versuch vielleicht schief gegangen ist, vielleicht zuviel Luft im Glas. Oder ob ich das Reagenzglas nicht falsch rum halte.
- Überlegen wofür die Knallgasprobe gut ist. Vielleicht noch andere Proben durchführen.
- Ich weiß, dass es dieses Gas nicht ist und versuch andere Proben durchzuführen, indem ich das Gas erneut auffange.
- Kein Wasserstoff im Glas vorhanden. Vielleicht würde ich noch andere Proben, wie die Glimmspanprobe durchführen.
- Knallgasprobe wiederholen (vielleicht Gas entweichen?)

Anhang C: Itemanalysen der verwendeten Leistungstests und Fragebögen in Studie I

Tabelle 1: Itemabkürzung und Kennwerte der Itemanalysen für die Skala **chemiespezifisches Selbstkonzept**. Negativ formulierte Items wurden vor der Analyse rekodiert

| Itemabkürzung | M | SD | r_{it} |
|-----------------------------------------------|------|------|----------|
| Wissen leicht aneignen | 2.38 | .87 | .79 |
| einfach begabt | 1.78 | .82 | .76 |
| leicht hineindenken. | 2.34 | .88 | .73 |
| Chemie fällt schwer (rekodiert) | 3.15 | .96 | .74 |
| mit Denkproblemen gut umgehen | 2.02 | .86 | .67 |
| nie verstehen (rekodiert) | 3.43 | .91 | .59 |
| lieber, wenn Fach nicht so schwer (rekodiert) | 3.11 | .96 | .50 |
| selbst anspruchsvolle Sachverhalte | 2.05 | .82 | .67 |
| liegt einfach nicht (rekodiert) | 3.06 | 1.16 | .77 |

Tabelle 2: Itemabkürzung und Kennwerte der Itemanalysen unter Angabe eines ausgeschlossenen Items für die Skala **Chemieinteresse**. Negativ formulierte Items wurden vor der Analyse rekodiert

| Itemabkürzung | M | SD | r_{it} | Item auf Grund der Itemanalysen ausgeschlossen |
|--------------------------------------------------|------|------|----------|------------------------------------------------|
| nicht merken, wie die Zeit verfliegt | 1.92 | .89 | .51 | |
| Chemie persönlich wichtig | 1.40 | .72 | .54 | |
| macht einfach Spaß | 2.05 | .94 | .75 | |
| bereit, Freizeit zu opfern | 1.79 | .86 | .66 | |
| Chemie langweilig (rekodiert) | 3.17 | 1.06 | .68 | |
| chemischen Fragestellungen spannend | 2.11 | .91 | .74 | |
| mehr Spaß, wenn nicht auswendig (rekodiert) | 2.79 | .99 | | x |
| lieber nicht mit Chemie beschäftigen (rekodiert) | 2.82 | 1.14 | .61 | |

Tabelle 3: Itemname im Format texyz (x = Aufgabennummer, y = die „schlechtere“ Antwortalternative, z = die „bessere“ Antwortalternative) und Kennwerte der Itemanalysen für den Fragebogen **textbezogenes metakognitives Wissen**

| Itemname | M | SD | r_{it} |
|-----------------|----------|-----------|-----------------------|
| te1ab | .88 | .28 | .33 |
| te1ac | .79 | .35 | .15 |
| te1ad | .94 | .22 | .57 |
| te1ae | .88 | .28 | .44 |
| te1bd | .79 | .35 | .35 |
| te1cd | .84 | .33 | .49 |
| te1ce | .72 | .40 | .42 |
| te2ac | .58 | .41 | .28 |
| te2ad | .66 | .39 | .46 |
| te2bc | .82 | .32 | .32 |
| te2bd | .83 | .33 | .46 |
| te2cd | .61 | .39 | .24 |
| te2ed | .71 | .40 | .30 |
| te3ab | .87 | .28 | .39 |
| te3ad | .89 | .27 | .45 |
| te3cb | .83 | .33 | .55 |
| te3cd | .88 | .31 | .60 |
| te3ce | .77 | .37 | .51 |
| te3ed | .77 | .35 | .06 |
| te4ba | .89 | .29 | .19 |
| te4bd | .89 | .28 | .38 |
| te4ca | .86 | .30 | .14 |
| te4cd | .85 | .31 | .41 |
| te4ea | .90 | .27 | .25 |
| te4ed | .91 | .26 | .44 |
| te5ab | .80 | .34 | .49 |
| te5ac | .90 | .26 | .48 |
| te5ad | .91 | .25 | .45 |
| te5ae | .87 | .29 | .44 |
| te5bc | .82 | .32 | .19 |
| te5bd | .86 | .30 | .20 |
| te6ab | .74 | .37 | .46 |
| te6ac | .73 | .39 | .45 |
| te6ad | .87 | .30 | .55 |
| te6ae | .87 | .30 | .69 |
| te6af | .74 | .37 | .25 |

| Itemname | M | SD | r _{it} |
|----------|-----|-----|-----------------|
| te6ag | .82 | .34 | .62 |
| te6fd | .69 | .37 | .22 |
| te6fe | .78 | .35 | .42 |
| te6fg | .70 | .34 | .43 |

Tabelle 4: Spalte a): Itemname im Format axyz (x = Aufgabennummer, y = die „schlechtere“ Antwortalternative, z = die „bessere“ Antwortalternative); Spalte b): Häufigkeitsverteilung der Bewertung der Paarvergleiche durch die Experten; Spalte c): Kennwerte der Itemanalysen; Spalte d): Ausgeschlossene Items sind mit E (Ausschluss nach Expertenrating) oder I (Ausschluss nach Itemanalysen) gekennzeichnet

| a) Item | b) Häufigkeitsverteilung Expertenrating | | | c) Itemanalysen | | | d) Ausschluss des Items nach Expertenrating (E) oder Itemanalysen (I) |
|---------|--------------------------------------------|-----|---|-----------------|-----|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| | 1 | 0.5 | 0 | M | SD | r _{it} | |
| a1ab | 13 | 4 | 0 | .53 | .44 | .17 | |
| a1ac | 16 | 1 | 0 | .69 | .43 | .31 | |
| a1ad | 16 | 1 | 0 | .55 | .44 | .35 | |
| a1ae | 16 | 1 | 0 | .71 | .40 | .47 | |
| a1af | 14 | 1 | 2 | .60 | .43 | .24 | |
| a1bc | 15 | 1 | 1 | .64 | .40 | .25 | |
| a1bd | 15 | 1 | 1 | .53 | .43 | .26 | |
| a1be | 15 | 2 | 0 | .67 | .40 | .20 | |
| a1fc | 16 | 1 | 0 | .56 | .44 | | I |
| a1fd | 14 | 3 | 0 | .45 | .44 | | I |
| a1fe | 16 | 1 | 0 | .59 | .41 | .23 | |
| a2ab | 14 | 2 | 1 | .52 | .44 | .32 | |
| a2ad | 16 | 1 | 0 | .44 | .43 | .41 | |
| a2ae | 14 | 2 | 1 | .69 | .35 | .29 | |
| a2bd | 12 | 3 | 2 | .46 | .42 | .28 | |
| a2cb | 14 | 3 | 0 | .82 | .35 | .20 | |
| a2cd | 15 | 2 | 0 | .78 | .37 | .33 | |
| a2ce | 13 | 4 | 0 | .90 | .24 | .26 | |
| a2ed | 12 | 4 | 1 | .25 | .35 | .15 | |
| a2fb | 16 | 1 | 0 | .83 | .31 | .34 | |
| a2fd | 15 | 1 | 1 | .79 | .37 | .36 | |
| a2fe | 16 | 1 | 0 | .92 | .26 | .33 | |
| a3da | 12 | 4 | 1 | .30 | .38 | | I |
| a3db | 13 | 2 | 2 | .36 | .41 | | I |
| a3dc | 11 | 2 | 4 | .55 | .36 | | E |
| a3df | 8 | 5 | 4 | .63 | .33 | | E |

| a) Item | b) Häufigkeitsverteilung Expertenrating | | | c) Itemanalysen | | | d) Ausschluss des Items nach Expertenrating (E) oder Itemanalysen (I) |
|---------|--------------------------------------------|-----|---|-----------------|-----|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| | 1 | 0.5 | 0 | M | SD | r _{it} | |
| a3ea | 14 | 3 | 0 | .86 | .30 | .20 | |
| a3eb | 15 | 2 | 0 | .89 | .28 | .22 | |
| a3ec | 14 | 3 | 0 | .94 | .21 | .28 | |
| a3ed | 12 | 2 | 3 | .87 | .31 | .33 | |
| a3ef | 13 | 1 | 3 | .92 | .24 | .32 | |
| a4ac | 15 | 2 | 0 | .59 | .44 | .37 | |
| a4ba | 13 | 3 | 1 | .60 | .45 | | I |
| a4bc | 17 | 0 | 0 | .63 | .35 | .28 | |
| a4da | 17 | 0 | 0 | .74 | .39 | .41 | |
| a4db | 7 | 5 | 5 | .57 | .45 | | E |
| a4dc | 17 | 0 | 0 | .72 | .42 | .52 | |
| a4de | 12 | 4 | 1 | .44 | .44 | .31 | |
| a4ea | 13 | 3 | 1 | .79 | .35 | | I |
| a4ec | 17 | 0 | 0 | .79 | .38 | .26 | |
| a5ac | 15 | 2 | 0 | .56 | .37 | .38 | |
| a5ba | 16 | 1 | 0 | .95 | .19 | | I |
| a5bc | 17 | 0 | 0 | .92 | .25 | .28 | |
| a5bd | 12 | 4 | 1 | .81 | .34 | | I |
| a5da | 12 | 1 | 4 | .69 | .35 | | I |
| a5dc | 16 | 1 | 0 | .71 | .37 | .22 | |
| a6ba | 12 | 3 | 2 | .79 | .36 | .20 | |
| a6bd | 11 | 5 | 1 | .74 | .38 | | E |
| a6bf | 10 | 5 | 2 | .56 | .44 | | E |
| a6ca | 17 | 0 | 0 | .81 | .36 | .42 | |
| a6cb | 14 | 3 | 0 | .58 | .43 | .39 | |
| a6cd | 16 | 1 | 0 | .81 | .36 | .53 | |
| a6cf | 16 | 1 | 0 | .66 | .44 | .38 | |
| a6ea | 15 | 2 | 0 | .68 | .41 | .41 | |
| a6eb | 12 | 2 | 3 | .45 | .45 | .23 | |
| a6ed | 15 | 1 | 1 | .64 | .43 | .46 | |
| a6ef | 15 | 1 | 1 | .52 | .46 | .48 | |
| a7ae | 15 | 2 | 0 | .58 | .41 | .45 | |
| a7ba | 15 | 1 | 1 | .61 | .44 | | I |
| a7bd | 16 | 1 | 0 | .63 | .42 | .24 | |
| a7be | 16 | 1 | 0 | .66 | .40 | .44 | |

| a) Item | b) Häufigkeitsverteilung Expertenrating | | | c) Itemanalysen | | | d) Ausschluss des Items nach Expertenrating (E) oder Itemanalysen (I) |
|---------|--------------------------------------------|-----|---|-----------------|-----|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| | 1 | 0.5 | 0 | M | SD | r _{it} | |
| a7bf | 16 | 1 | 0 | .65 | .41 | .26 | |
| a7ca | 17 | 0 | 0 | .60 | .41 | .23 | |
| a7cd | 17 | 0 | 0 | .63 | .40 | .41 | |
| a7ce | 17 | 0 | 0 | .65 | .42 | .58 | |
| a7cf | 16 | 1 | 0 | .63 | .41 | .38 | |
| a7de | 14 | 2 | 1 | .59 | .40 | .28 | |
| a7fe | 12 | 4 | 1 | .52 | .41 | .23 | |
| a8ae | 14 | 3 | 0 | .75 | .34 | .29 | |
| a8ba | 17 | 0 | 0 | .81 | .35 | | I |
| a8bc | 11 | 6 | 0 | .77 | .32 | | E |
| a8bd | 13 | 4 | 0 | .65 | .42 | .17 | |
| a8be | 17 | 0 | 0 | .90 | .28 | .28 | |
| a8ca | 14 | 2 | 1 | .50 | .42 | | I |
| a8ce | 16 | 1 | 0 | .73 | .36 | .23 | |
| a8da | 13 | 2 | 2 | .72 | .40 | | I |
| a8de | 16 | 1 | 0 | .84 | .34 | .17 | |
| a9ba | 8 | 2 | 0 | .74 | .32 | | I |
| a9bc | 7 | 3 | 0 | .62 | .43 | | I |
| a9da | 10 | 0 | 0 | .90 | .28 | .41 | |
| a9db | 10 | 0 | 0 | .81 | .35 | .28 | |
| a9dc | 10 | 0 | 0 | .90 | .29 | .26 | |
| a9ea | 10 | 0 | 0 | .82 | .33 | .27 | |
| a9eb | 9 | 1 | 0 | .64 | .43 | | I |
| a9ec | 10 | 0 | 0 | .79 | .37 | | I |

Tabelle 5: Itemname und Kennwerte der Itemanalysen unter Angabe ausgeschlossener Items für den **Wissenstest Chemie**

| Itemname | M | SD | r_{it} | Item auf Grund der Itemanalysen ausgeschlossen |
|--------------------------------|-----|-----|----------|------------------------------------------------|
| Aufgabe 1 | .61 | .49 | .19 | |
| Aufgabe 2 | .74 | .44 | .21 | |
| Aufgabe 3, Frage 1 | .95 | .23 | | x |
| Aufgabe 3, Frage 2, 1. Antwort | .86 | .35 | .22 | |
| Aufgabe 3, Frage 2, 2. Antwort | .38 | .49 | .25 | |
| Aufgabe 4 | .88 | .33 | .17 | |
| Aufgabe 5 | .59 | .49 | .30 | |
| Aufgabe 6 | .44 | .50 | .19 | |
| Aufgabe 7 | .66 | .47 | .23 | |
| Aufgabe 8, Frage 1, 1. Antwort | .46 | .50 | .41 | |
| Aufgabe 8, Frage 1, 2. Antwort | .47 | .50 | .35 | |
| Aufgabe 8, Frage 1, 3. Antwort | .70 | .46 | .48 | |
| Aufgabe 8, Frage 2 | .56 | .50 | .33 | |
| Aufgabe 8, Frage 3 | .63 | .49 | | x |
| Aufgabe 8, Frage 4 | .67 | .47 | | x |
| Aufgabe 9, Frage 1 | .47 | .50 | | x |
| Aufgabe 9, Frage 2 | .65 | .48 | .31 | |
| Aufgabe 9, Frage 3 | .51 | .50 | .25 | |
| Aufgabe 9, Frage 4 | .01 | .09 | | x |
| Aufgabe 9, Frage 5 | .70 | .46 | .39 | |

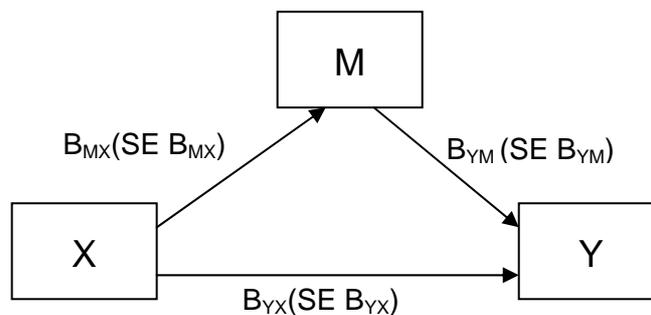
Tabelle 6: Itemabkürzung, Umkodierungsvorschrift und Kennwerte der Itemanalysen für den **Problemlösetest**

| Itemabkürzung | Umkodierung | M | SD | r_{it} |
|--------------------|------------------------|-----|-----|----------|
| Aufgabe 1, Frage 1 | ./. | .63 | .49 | .14 |
| Aufgabe 1, Frage 2 | ./. | .65 | .48 | .18 |
| Aufgabe 1, Frage 3 | 0 => 0, 1 => 1, 2 => 1 | .77 | .42 | .42 |
| Aufgabe 2, Frage 1 | ./. | .64 | .48 | .22 |
| Aufgabe 2, Frage 2 | 0 => 0, 1 => 1, 2 => 1 | .91 | .29 | .25 |
| Aufgabe 3 | 0 => 0, 1 => 1, 2 => 1 | .58 | .50 | .35 |
| Aufgabe 4 | 0 => 0, 1 => 1, 2 => 1 | .59 | .49 | .32 |
| Aufgabe 5, Frage 1 | ./. | .78 | .42 | .42 |
| Aufgabe 5, Frage 2 | 0 => 0, 1 => 0, 2 => 1 | .55 | .50 | .33 |

Anhang D: Sobel-Test auf Signifikanz der indirekten Effekte in den einfachen Mediatormodellen für die Einflussvariablen Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept und Vorwissen in Chemie

Für die Berechnung des Sobel-Tests werden folgende Werte benötigt, die in der untenstehenden Abbildung veranschaulicht sind:

- das unstandardisierte Regressionsgewicht des Effekts von X auf M (B_{MX});
- der Standardfehler des Regressionsgewichts des Effekts von X auf M ($SE B_{MX}$);
- das unstandardisierte Regressionsgewicht des Effekts von M auf Y aus der multiplen Regression mit dem Kriterium Y und den Prädiktoren M und X (B_{YM});
- der Standardfehler des Regressionsgewichts des Effekts von M auf Y aus der multiplen Regression mit dem Kriterium Y und den Prädiktoren M und X ($SE B_{YM}$).



Der unstandardisierte indirekte Effekt beträgt:

$$B_{MX \cdot YM} = B_{MX} \times B_{YM}$$

Der Standardfehler des indirekten Effekts beträgt laut Sobel-Test:

$$SE B_{MX \cdot YM} = \sqrt{B_{YM}^2 \times SE B_{MX}^2 + B_{MX}^2 \times SE B_{YM}^2}$$

Die Prüfgröße für den t-Test beträgt:

$$t = \frac{B_{MX \cdot YM}}{SE B_{MX \cdot YM}}$$

Die für die Berechnungen benötigten unstandardisierten Regressionsgewichte und Standardfehler der Regressionsgewichte werden aus den für Abschnitt 8.2.5 berechneten Regressionen entnommen.

Im Folgenden sind die Berechnungen des Sobel-Tests für die Einflussvariablen Chemieinteresse, chemiespezifisches Selbstkonzept und Vorwissen in Chemie aufgeführt.

Sobel-Test für das einfache Mediatormodell mit der Einflussvariable Chemieinteresse

$$B_{MX \cdot YM} = .727 \times .103 = .07488$$

$$SE B_{MX \cdot YM} = \sqrt{.103^2 \times .136^2 + .727^2 \times .031^2} = .02653$$

$$t = \frac{.07488}{.02653} = 2.8225 \quad p = .0048$$

Sobel-Test für das einfache Mediatormodell mit der Einflussvariable chemiespezifisches Selbstkonzept

$$B_{MX \cdot YM} = .404 \times .120 = .04848$$

$$SE B_{MX \cdot YM} = \sqrt{.120^2 \times .111^2 + .404^2 \times .029^2} = .01774$$

$$t = \frac{.04848}{.01774} = 2.7330 \quad p = .0063$$

Sobel-Test für das einfache Mediatormodell mit der Einflussvariable Vorwissen in Chemie

$$B_{MX \cdot YM} = .953 \times .138 = .13151$$

$$SE B_{MX \cdot YM} = \sqrt{.138^2 \times .248^2 + .953^2 \times .031^2} = .04521$$

$$t = \frac{.13151}{.04521} = 2.9089 \quad p = .0036$$

Anhang E: Informationsblatt zur Werbung der Versuchspersonen

Chemie lernen und dafür 30 Euro bekommen!

Liebe Schüler/innen,

für eine Untersuchung über das chemische Lernen suchen wir Schüler/innen der 13. Klasse, die noch am Chemieunterricht teilnehmen.

Was erwartet euch?

- Eine **Gruppenuntersuchung**, in der ihr u.a. verschiedene Fragebögen zu euren Lernvoraussetzungen bearbeiten werdet (**Dauer ca. 1h 15min**).
- Eine **Einzeluntersuchung**, in der ihr u.a. mit Hilfe eines Hypertexts zu einem chemischen Thema lernen werdet (**Dauer ca. 2h 15 min**).
- Die Untersuchung findet am IPN statt (Lageplan siehe unten).
- 30 Euro für euch als Aufwandsentschädigung, wenn ihr beide Untersuchungsteile absolviert habt.

Interessiert?

Wenn ihr an einer Teilnahme interessiert seid, so füllt bitte den beiliegenden Anmeldebogen aus und gebt ihn bis **Donnerstag, den 25. 8.**, an eure Lehrkraft zurück.

Wegbeschreibung

Anreise mit dem Bus: **Linie 22** (Fahrtrichtung Projensdorf) oder **Linie 32** (Fahrtrichtung Suchsdorf an der Au) oder **Linie 82** (Fahrtrichtung Uni/Botanischer Garten) ohne Umsteigen bis zur Haltestelle "I.P.N.". Die Haltestelle befindet sich direkt vor dem Haupteingang des IPN-Gebäudes.

Die Gruppenuntersuchung findet im Multimedialabor statt (Ausschilderungen folgen!).

Wir freuen uns auf eure Teilnahme!!!

Kirsten Brüchner

Annina Gall

Mein Termin für die Gruppenuntersuchung ist: - bitte ankreuzen -

- Dienstag, den 30.8.05, 16h
- Mittwoch, den 31.8.05, 16h
- Donnerstag, den 1.9.05, 16h



Kirsten Brüchner E IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften E Olshausenstraße 62 E 24098 Kiel E Tel.: 0431/880-3164 E E-Mail: bruechner@ipn.uni-kiel.de

Anhang F: Instruktionkarten aus Studie II

| |
|------------------------------------|
| Karte 1 (Kontrollgruppe) |
| Ablauf |
| Einführung (ca. 20 Minuten) |
| kurze Pause |
| Lernphase (ca. 45 Minuten) |
| kurze Pause |
| Abschlussfragebogen |

| |
|-------------------------------------|
| Karte 1 (Trainingsgruppe) |
| Ablauf |
| Einführung (ca. 40 Minuten) |
| kurze Pause |
| Lernphase (ca. 45 Minuten) |
| kurze Pause |
| Abschlussfragebogen |

Karte 2**Instruktion zum „lauten Denken“**

Sprich alles laut aus, was dir bei der Bearbeitung der Lernaufgaben in den Sinn kommt. Dazu gehört auch, dass du laut liest, wenn du Texte in den Lernmaterialien bearbeitest.

Sprich dabei so, als würdest du mit dir selbst reden und nicht als müsstest du einer anderen Person begründen, was du warum machst. Dazu gehört auch, dass du beim lauten Lesen nicht der Untersuchungsleiterin vorliest, sondern für dich selbst liest.

Versuche dabei kontinuierlich zu sprechen. Falls du längere Pausen machst, wird dich die Versuchsleiterin an das laute Denken erinnern.

Da die Versuchsleiterin nicht alles so schnell mitschreiben kann, machen wir eine Aufnahme, damit deine Gedanken nicht verloren gehen.

Karte 3**Aufgabe „Atome“**

Du sollst nun das laute Denken üben, während du Lernmaterialien zum Thema „Atome und Atombau“ bearbeitest. Versuche dabei die folgenden Aufgaben zu lösen:

- 1) Suche nach einer Abbildung eines s-Orbitals und erkläre nur, wie ein s-Orbital aussieht
- 2) Suche im Kapitel „Atome und Atombau“ nach dem Rutherford'schen Atommodell. Formuliere kurz in eigenen Worten die Kernaussage.
- 3) Suche nach der Masse und Ladung von atomaren Bausteinen.

Karte 4

(nur Trainingsgruppe)

Aufgabe zu „Karies durch Säuren“

Du sollst nach Bearbeitung der Lerneinheit in der Lage sein,...

...den Einfluss von Säuren bei der Entstehung von Karies zu erläutern.

...Möglichkeiten zu nennen, wie man Zähne vor Karies schützen kann.

Karte 5**Lernziele für das Kapitel „Chemisches Gleichgewicht“**

Informiere dich in den folgenden 40 Minuten über das Thema „Chemisches Gleichgewicht“. Du wirst es wahrscheinlich nicht schaffen alle Materialien zu diesem Thema in „chemnet“ zu bearbeiten. Konzentriere dich daher besonders auf die folgenden Lernziele.

Du sollst nach Bearbeitung der Lernmaterialien in der Lage sein,...

...genau zu erklären, was der Begriff „Chemisches Gleichgewicht“ bedeutet.

...das Massenwirkungsgesetz für alle Gleichgewichtsreaktionen (Gase und Flüssigkeiten) zu formulieren.

...das Prinzip von Le Chatelier wiederzugeben.

...die unterschiedliche Wirkung verschiedener Einflussfaktoren auf das Chemische Gleichgewicht gegenüberstellen zu können.

...die unterschiedliche Wirkung verschiedener Einflussfaktoren auf die Reaktionsgeschwindigkeit gegenüberstellen zu können.

Anhang G: Instruktionen für die Trainingsgruppe im Kurztraining zur exekutiven Metakognition

Handlungen der Versuchsleiterin sind kursiv gedruckt.

An den fettgedruckten Stellen sollte die Versuchsleiterin auf die entsprechenden Stellen des Lernschemas deuten.

Nur Experimentalgruppe: Als nächstes werde ich dir eine Methode vorstellen, die dir dabei helfen soll, beim Lernen mit dem Hypertext strategisch vorzugehen.

Training des Lernschemas: 7 Phasen des strategischen Lernens mit Hypertext

Der Vpn einen Bogen mit dem Lernschema vorlegen.

Dieses Lernschema hat das Ziel, das Lernen mit dem Hypertext zu verbessern. In dem Lernschema sind insgesamt 7 Phasen des strategischen Lernens beim Lernen mit Hypertext dargestellt. Es geht darum, dass „strategisch“ gelernt wird, d.h. dass du dir Ziele setzt und beim Lernen die Erreichung dieser Ziele überwachst.

Es wurde wissenschaftlich erwiesen, dass ein solches Vorgehen das Lernen unterstützen kann.

Ich werde dir nun jede der sieben Lernphasen einmal einzeln erklären und dir an einem Beispiel zeigen, wie man die einzelnen Phasen in Lernaktivitäten umsetzen kann. Als Beispiel wähle ich ein sehr kurzes Kapitel in CHEMnet. Es ist das Thema „Karies durch Säuren“, ein Unterkapitel von „Säuren und Basen“.

Kapitel öffnen und dabei sagen, welche Schritte man macht.

Du kannst dir während dieser Vorführung Notizen auf dem Lernschema machen (*auf das Lernschema zeigen*).

Die erste Phase heißt: **Überblick verschaffen**

Sich einen Überblick zu verschaffen, ist sehr wichtig, um herauszubekommen, was man überhaupt tun soll. Dazu gehört, sich **die Aufgabenstellung genau durchzulesen.**

Karte 4 der VP vorlegen und vorlesen

Vorwissen aktivieren

Jetzt überlege ich mir, was ich zu dem Thema schon weiß. Ich habe z. B. schon einmal gehört, dass Karies durch Zucker entsteht oder wenn die Zähne nicht ausreichend geputzt werden oder aber auch durch Bakterien.

Kapitelübersicht überfliegen

Als nächstes sollst du die Kapitelübersicht nur überfliegen, um einen Überblick darüber zu bekommen, welche Themen das CHEMnet-Kapitel enthält. In diesem Fall sehe ich, dass es die Unterkapitel: „Aufbau der Zähne“, „Was ist Karies?“, „Wie entsteht Karies?“ und „Wie kann Karies effektiv vorgebeugt werden?“ gibt.

Hast du Fragen zu dieser Phase?

Eventuelle Fragen beantworten.

Die zweite Phase heißt: Lernfragen formulieren

Hierbei sollst du, ausgehend von der Aufgabe, **Lernfragen an das CHEMnet-Kapitel formulieren**. Du sollst erst herausfinden, was in der Aufgabe erwartet wird und anschließend die Anforderungen in eigene Lernfragen umformulieren. Wichtig ist dabei, dass du die Aufgabe vollständig bearbeitest und kein Lernziel aus der Aufgabe weglässt. Die Lernfragen sollen als deine persönlichen Lernziele dienen, die du beim Lernen immer vor Augen hast.

Aufgabenzettel zur Hand nehmen und Lernfragen formulieren

Ich formuliere also für das Thema folgende Lernfragen:

Was ist Karies überhaupt?

Wieso verursachen Säuren Karies?

Wie entstehen die Säuren im Mund?

Wie kann man die Zähne vor Karies schützen?

Diese Lernfragen auf Extrazettel notieren.

So einen Zettel bekommst Du später auch für die Aufgabe.

Diese eigenen Lernfragen können, wie man sieht, der ursprünglichen Aufgabenstellung ähneln.

Hast du Fragen zu dieser Phase?

Eventuelle Fragen beantworten

Die dritte Phase heißt nun: Planen

Hierbei sollst du deine Lernfragen und das CHEMnet-Kapitel, was dir zur Verfügung steht, zusammenbringen. Dadurch soll erreicht werden, dass du es auch tatsächlich schaffst, alle deine Lernfragen mit dem CHEMnet-Kapitel zu beantworten. Dazu gehört, dass du dich fragst, **welche Seiten wohl deine Lernfragen beantworten könnten**.

Die Frage, was Karies eigentlich ist, wird sicherlich durch die Seite „Was ist Karies?“ beantwortet. Die Fragen, warum Säuren Karies verursachen und wie die Säuren entstehen, könnten durch die Seite „Wie entsteht Karies?“ beantwortet werden. Die Frage, wie man seine Zähne vor Karies schützen kann, wird wahrscheinlich auf der Seite „Wie kann Karies effektiv vorgebeugt werden?“ beantwortet.

Die **Reihenfolge der Lernfragen** lege ich wie folgt fest: Zunächst möchte ich mich damit beschäftigen, was Karies ist, anschließend wie Säuren Karies verursachen, dann wie die Säuren in den Mund kommen und dann wie die Zähne vor Karies geschützt werden können.

Dann legst du fest, **wie viel Zeit du für die einzelnen Fragen einplanst**. Plane einige Minuten Zeit für den Schluss ein, um eventuelle Schwierigkeiten aus dem Weg zu räumen.

Hast du Fragen zu dieser Phase?

Eventuelle Fragen beantworten.

Die vierte Phase heißt nun: Passende Abschnitte auswählen

In dieser Phase sollst du die Inhalte der Seiten, die du bei der **Planung ausgewählt hast, mit deinen Lernfragen abgleichen**. Dies ist wichtig, damit du nicht lauter Seiten liest, die für die Beantwortung deiner Lernfragen überhaupt nicht wichtig sind.

Die zweite Frage, die ich bei meiner Planung ausgewählt hatte, war: „Wieso verursachen Säuren Karies?“

Das wollte ich auf der Seite: „Wie entsteht Karies?“ nachlesen.

Entsprechenden Abschnitt anklicken

Ich sehe hier gleich, dass dieser Abschnitt zu meiner Lernfrage „Wie verursachen Säuren Karies?“ passt. Ich notiere also für die erste Lernfrage diesen Abschnitt.

Auf Extrazettel „Wie entsteht Karies?, 1. Absatz“ notieren

So gehe ich auch für die anderen Lernfragen vor und schreibe mir auf, welche Abschnitte zu welchen Lernfragen passen.

Als nächstes sollst du die gefundenen passenden Abschnitte natürlich genau lesen und dabei auf Informationen achten, die zu deinen Lernfragen passen. Also: Es geht nur darum deine Lernfragen zu beantworten. **Alles was nicht passt, sollst du auf jeden Fall weglassen.**

Hast Du Fragen zu dieser Phase?

Eventuelle Fragen beantworten.

Die beiden nächsten Phasen: „Vorgehen beobachten und kontrollieren“ und „Verständnis vertiefen“ führt du, während du liest, immer wieder durch und versuchst, die beschriebenen Aktivitäten, die unter diesen Phasen stehen, im Hinterkopf zu behalten.

Die fünfte Phase heißt also: Vorgehen beobachten und kontrollieren

Diese Phase ist entscheidend, damit du keine deiner Lernfragen vergisst und dir die Lernfragen immer wieder ins Gedächtnis rufst. Man kennt das ja, dass man beim Lernen manchmal mit den Gedanken abschweift und sein eigentliches Ziel aus den Augen verliert. Genau das soll dadurch verhindert werden, dass du dich beim Lernen beobachtest und kontrollierst.

Zunächst frage ich mich, **ob ich vorgehe wie geplant oder ob ich meinen Plan verändern muss.** Da ich sehe, dass der Text in Abschnitt vier am längsten ist und die anderen verhältnismäßig kurz sind, wird die Zeitplanung verändert.

Im Material zeigen, dass dieser Abschnitt umfangreicher ist.

Ich versuche deswegen die ersten beiden Fragen schneller zu beantworten, damit ich noch genügend Zeit für die letzte habe.

Die nächste Kontrollfrage ist, **welche Lernfragen ich schon beantworten kann.**

Außerdem sollte ich mich immer mal wieder fragen, **wie viel Zeit mir noch bleibt.** Ein Blick auf die Uhr des Computers zeigt dann, wie viel Zeit für die restlichen Lernfragen bleibt.

Hast Du Fragen zu dieser Phase?

*Eventuelle Fragen beantworten.***Die sechste Phase heißt: Verständnis vertiefen**

Hierdurch soll etwas vermieden werden, was jeder kennt. Man liest etwas und fragt sich hinterher, was man überhaupt gelesen hat. Man muss dann feststellen, dass man das Gelesene überhaupt nicht verstanden hat.

Überprüfe deswegen ständig dein Verständnis, indem du dich fragst, ob du das Gelesene auch verstehst. Das kannst du dadurch unterstützen, indem du versuchst möglichst aktiv zu lernen. Aktiv lernen kannst du **z. B.,** indem du **das Gelesene** noch einmal **in eigenen Worten formulierst.** Oder ich hinterfrage die Richtigkeit des Gelesenen kritisch, und überlege, ob es **mit meinem Vorwissen zusammenpasst.** Dies sind jedoch nur Beispiele, wie man besser verstehen kann. Du kannst auch eigene Strategien anwenden, die du gewohnt bist.

Meine dritte Lernfrage lautet: Wie entstehen die Säuren im Mund? Hierzu lese ich z. B. diesen Textabschnitt.

Mit der Maus zeigen

Hier steht, dass die Säuren mit der Nahrung aufgenommen werden. Oh, wirklich? Das verstehe ich jetzt erst mal nicht. Darüber muss ich nachdenken. Es ist also erst mal sehr wichtig, zu erkennen, dass man etwas nicht verstanden hat. Als nächstes überlege ich mir, was ich tun kann, um mein Verständnis zu verbessern: Das könnte ein nochmaliges Lesen sein oder ich mache mir eine Zeichnung oder ich formuliere das Ganze noch einmal in eigenen Worten.

Ich frage mich also **kritisch,** warum so viele Säuren in unserer Nahrung sind. Doch **wenn ich mein Vorwissen aktiviere,** fällt mir auf, dass z.B. Zitronensäure in vielen Lebensmitteln vorkommt.

Manchmal stehen in CHEMnet auch Beispiele zur Verfügung, die bei **der Vertiefung des Gelernten** helfen können.

Hast Du Fragen zu dieser Phase?
Eventuelle Fragen beantworten.

Die siebte Phase heißt: Abschlusscheck

Ein paar Minuten vor Schluss solltest du auf jeden Fall einen Abschlusscheck durchführen. D. h. du solltest dich fragen, **ob du alle Fragen beantworten kannst**. Solltest du hierbei Schwierigkeiten haben, ist dann noch Zeit, schwierige Stellen noch einmal zu lesen.

Wenn ich jetzt einen Abschlusscheck durchführen müsste, würde mir als aller erstes auffallen, dass ich nicht alle Lernfragen beantwortet habe. Ich müsste also noch einmal auf der entsprechenden Seite nachlesen.

Außerdem solltest du **deine Lernfragen mit eigenen Worten beantworten können**. Dafür kannst du dir während der Bearbeitung Notizen machen, die du für die Beantwortung als Hilfestellung benutzen kannst.

Du solltest in der Lage sein, alle Lernfragen beantworten zu können.

Wenn du bei einer Frage **Schwierigkeiten bemerkst**, gehe einfach noch einmal an die entsprechende Stelle im CHEMnet-Kapitel zurück und **lese noch einmal nach**.

Wichtig ist, dass du den Abschlusscheck **in jedem Fall** durchführst. D.h., auch wenn Du nicht alle deine Lernfragen in der Zeit bearbeiten konntest, **solltest du ein paar Minuten vor Schluss abbrechen** und den Abschlusscheck durchführen, damit sich das Gelernte noch einmal festigt.

Hast Du Fragen zu dieser letzten Phase?
Eventuelle Fragen beantworten.

Wenn du gleich mit dem CHEMnet-Kapitel zum chemischen Gleichgewicht lernst, sollst du in ähnlicher Weise vorgehen, wie ich es dir eben gezeigt habe und dabei laut denken und lesen.

Hast Du jetzt noch Fragen zu den 7 Phasen des strategischen Lernens?

Eventuelle Fragen beantworten

Damit du nachher die 7 Phasen auch gut anwenden kannst, sollst du sie mir jetzt einmal kurz erklären. Das soll keine Prüfung sein, sondern sicherstellen, dass du die Phasen verstanden hast. Sollte dabei etwas unklar sein, kann ich dir Hilfestellung leisten. Orientiere dich dabei am Lernschema, das ich dir gegeben habe.

Lernaktivitäten abdecken

Also beginne einfach mit der ersten Phase: Überblick verschaffen...

Angemessene Zuhörhaltung einnehmen und verstärkend nicken oder brummen. Nicht unterbrechen! Eigene Interpretationen zulassen, sofern sie nicht grob falsch sind. Gravierende Missverständnisse können hinterher ausgeräumt werden. Bei Nachfragen oder Problemen kurze Hilfestellung geben. Wichtig ist in dieser Phase jedoch, dass der Lerner selbst redet.

Anhang I: Transkribierregeln für Studie II

Transkribierregeln

Beginn und Ende des Transkript

das Transkript beginnt, wenn die VPN die Aufgabe liest.
das Transkript endet, wenn die VL die Lernzeit beendet.

In den Transkribierintervallen möglichst immer ganze Wörter verwenden.

Kennzeichnung von „besonderen“ Passagen

Liest die VPN in Hypertext oder Aufgabe, werden die betreffenden Passagen in Anführungszeichen gesetzt: „ „. Hierbei ist ausschlaggebend, was die VPN tatsächlich sagt und nicht, was im Text steht. Dies gilt besonders, wenn die VPN Formeln oder Tabellen ausformuliert. Bei Formeln sind Begriffe wie „Wurzel“, „Quadrat“ und „minus“ auszusprechen, während einfache Ziffern und Buchstaben nicht ausgeschrieben werden.

schreibt die VPN (dies ist durch die vorliegenden Notizblätter zu prüfen) werden die betreffenden Passagen in eckige Klammern gesetzt: [].

Liest die VPN vor, was sie selber geschrieben hat, sind keine besonderen Zeichen zu verwenden.

Die Kennzeichnungen sind in jedem Transkribierabschnitt neu zu setzen.

Spricht die VL ist dies mit „VL:“ zu kennzeichnen.

Formuliert die VPN eigene Lernfragen, so sind diese in: // zu setzen.

Pausen

Wenn eine Pause länger als 3 Sekunden dauert, sollte eine Leerzeile gesetzt werden

Kürzere Pausen werden mit „...“ gekennzeichnet.

Ein Trennstrich „-“, zeigt an, dass der Sprecher sich selbst unterbricht (Stocken, Stottern)

Satzzeichen

Satzzeichen folgen der Sprechmelodie und den Sprechpausen:

„.“: Stimme senkt sich

„“: leichtes Absetzen der Stimme

„?“: Stimme hebt sich

„!“: Ausruf

Sprachliche Form

Dialekt wird in Sternchen gesetzt ins Hochdeutsche übersetzt: *Übersetzung*

hä, he... wird zu „hm“; öh, äh, ähm... wird zu „äh“; aha, ha... wird zu „ah“.

Unverständliche Wörter oder Satzteile

Leere Klammern () werden gesetzt, wenn ein Wort oder Satzteil vollkommen unverständlich ist.

Schwer verständliche Wörter werden soweit wie möglich interpretiert und in Klammern gesetzt:

(Wort)

Wenn zwei oder mehrere Interpretationen möglich sind, werden alle diese Möglichkeiten durch Schrägstriche getrennt aufgeführt: **(Alternative1/Alternative2/...)**

Paraverbale Artikulation

wie Stöhnen oder Lachen, bitte in Mengenklammern setzen: { }.

Anhang J: Kodiersystem für die Bereiche exekutiver Metakognition

Kodiersystem

Die Kodierung beginnt mit dem Lesen der Aufgabe durch die Versuchsperson und endet mit der Beendigung der Lernphase durch die Versuchsleiterin. Kodiert wird in einem *time-sampling* Verfahren, d.h. an jedes 10-Sekunden-Intervall wird eine Kodierung vergeben. Kommen in einer 10 Sekunden-Sequenz zwei verschiedene Aktivitäten vor, muss die Kodiererin entscheiden, welcher Aktivität sie in diesem Abschnitt mehr Gewicht gibt (soweit nicht anders in den Kodierregeln spezifiziert). Es handelt sich also um ein disjunktives Kategoriensystem, es soll jeweils nur eine Kodierung pro Abschnitt vorgenommen werden. Für die Interpretation der Abschnitte können jeweils noch der vorherige und der nachfolgende Abschnitt zu Rate gezogen werden.

Im Folgenden wird jede Kategorie der Kodiersystems zunächst kurz beschrieben. Dann folgt eine kurze inhaltliche Beschreibung der Indikatoren, der teilweise noch in weiteren Unterpunkten Beispiele und spezielle Kodierregeln, z. B. zur Abgrenzung von anderen Kategorien, hinzugefügt werden.

Orientierung

Vor und während des Lernprozesses erfolgende Aktivitäten der Orientierung. Es werden z. B. die Aufgabenstellung paraphrasiert oder die Struktur des CHEMnet Kapitels wird überflogen. Es geht hierbei eher um eine erste **inhaltliche** Auseinandersetzung, als um die Ableitung von Handlungsanleitungen, die den Lernzielen zuzuordnen wären. Beispiele für Aussagen, die auf eine Orientierungsaktivität des Lerners hindeuten, sind:

- paraphrasieren oder **verdeutlichen der Aufgabe**
 - *Abzugrenzen* von Übernahme von Aufgabeninhalten als eigene Lernziele
- Aussagen über die **Aufgabenschwierigkeit**
- Aussagen über das eigene **Vorwissen bezüglich der Aufgabe** (nur bezüglich der Aufgabe! *Abzugrenzen* von der Kategorie Regulation, die u. a. dadurch gekennzeichnet ist, dass zu einem späteren Zeitpunkt im Lernprozess Vorwissen bezüglich von Lerninhalten aktiviert wird)
 - „Das haben wir schon in der Schule gemacht.“
- **überfliegen** der Kapitelübersicht
 - „Gut, gucken wir doch mal in der Übersicht, gut.“
 - *Abzugrenzen* von dem Bearbeiten der Kapitelübersicht, um gezielt eine Information zu finden, dieses wird unter Monitoring (a.) kodiert.
- **analysieren** der Kapitelübersicht

Festlegen von Lernzielen

Zu Beginn oder während der Lernphase wird eine Ausrichtung auf die vorgegebenen oder selbst formulierten Lernziele thematisiert.

Aussagen und Aktivitäten, die Indikatoren für eine Lernzielspezifikation sind:

- formulieren von **eigenen Lernzielen**
- Bemerkungen, dass die vorgegebenen Lernziele oder Teile der vorgegebenen Lernziele **übernommen werden**, mündlich oder schriftlich
 - „Dann guck ich mir nochmal mal genau an, was ich nochmal alles machen muss. So, Begriff des Chemischen Gleichgewichts, schreib ich mir mal auf“
 - „So, was soll ich genau machen, das Massenwirkungsgesetz für alle Gleichgewichtsreaktionen zu formulieren, hm.“
- **Umformulieren** von vorgegebenen Lernzielen in eigene Lernziele
- **Gegenüberstellen/Kontrastieren** von vorgegebenen Lernzielen und eigenen Lernzielen

Planung

Die Kategorie Planung kennzeichnet Sinneinheiten, in denen der Lösungsweg, ein Teil davon oder zu erreichende Teilziele antizipiert werden (Artzt & Armour-Thomas, 1992). Der Lerner überlegt hierbei, in welcher Reihenfolge er welche Lernmaterialien bearbeiten möchte, um seine Lernziele zu erreichen. Entscheidend ist hierbei die Antizipation, also die gedankliche Vorwegnahme chronologisch späterer Handlungsteile.

Abzugrenzen ist eine solche Antizipation von der Kategorie Monitoring, bei der Handlungen im nachhinein reflektiert oder „online“ und mit der Planung abgeglichen werden.

Abzugrenzen sind solche Planungsüberlegungen auch von der tatsächlichen Entscheidung für oder gegen die weitere Bearbeitung einer Seite, die in der Kategorie Monitoring subsummiert werden soll.

Eine Planungshandlung ist dann gegeben, wenn

- der Lerner eine **Reihenfolge von zu besuchenden Seiten** antizipiert. Hierbei soll eine konkrete Aussage über die Reihenfolge gemacht werden.
- er **anhand von Kapitelüberschriften antizipiert**, dass **bestimmte Seiten/Abschnitte des Hypertexts** für die Aufgabenbearbeitung **nicht relevant oder relevant sind**.

- „Gut "der Gleichgewichtszustand". Ja, ich soll ja chemisches Gleichgewicht erklären, dann guck ich da mal nach.“
- *Abzugrenzen* von der Kategorie Monitoring (a.), bei der Seiten verworfen werden, die anfänglich interessant erschienen und zumindest geöffnet werden und mehr als die Kapitelüberschrift vorgelesen wird.
- **Planungen der Lernzeit.** Es werden für einzelne Lernziele oder die gesamte Lernzeit Planungen externalisiert.
- **Antizipiert wird, welche Inhalte eine Seite/ein Abschnitt** haben wird, bevor diese angeschaut wurde.
 - *Abzugrenzen* von der nachträglichen Paraphrasierung, die unter „Regulation“ kodiert wird.
- Überlegt wird, wie das durch die **Aufgabe oder die eigenen Lernziele gestellte Verarbeitungsziel** (oder ein Teilziel davon) **am besten zu bearbeiten ist oder eine Vorgehensweise angekündigt** wird
 - „Womit fange ich an?“ „Was mache ich als erstes?“ „Das werde ich mir durchlesen.“
 - *Abzugrenzen* von reinen Beschreibungen der Navigation wie „und dann“ „schau ich mir auch mal an“ oder „geh ich weiter“, die nicht kodiert werden.

Monitoring

Unter Monitoring wird die Überwachung des eigenen Lernprozesses verstanden. Diese Überwachung manifestiert sich sowohl im Beobachten der eigenen Lernhandlung als auch der Kontrolle dieser Lernhandlungen (d. h. Abgleich der beobachteten Lernhandlung mit dem Plan oder den Lernzielen). Zu unterscheiden ist zwischen dem *comprehension-monitoring*, worunter die Beobachtung und Kontrolle des Verständnisses verstanden wird und dem *strategy-utility-monitoring*, worunter die Beobachtung und Kontrolle des Lernplans verstanden wird. Im Gegensatz zur Evaluation geht es hierbei um die *Kontrolle des Lernprozesses* und nicht um die *Beurteilung von Lernergebnissen*. Aussagen, die auf *comprehension-monitoring* (a.) oder *strategy-utility-monitoring* (b.) hinweisen:

a.)

- **Zielgerichtete oder planvolle Informationssuche, Suche nach bestimmten** (für Verarbeitungsziel relevanten) **Informationen**
 - „Einflussfaktoren...Wo finde ich da was?“ „Einfluss der Temperatur - Eine quantitative Betrachtung, Katalysator und Chemisches Gleichgewicht, Ammoniaksynthese" Ich frag mich gerade, wo ich Einflussfaktoren auf die Reaktionsgeschwindigkeit finde.“
- Aussagen und Entscheidungen über **Relevanz und Irrelevanz** von Seiten bezüglich der Lernziele
 - „Das brauch ich“, „Muss ich das können?“, „Das muss ich mir jetzt nicht durchlesen“, „das ist wichtig“.
- **Aussagen über den Lernfortschritt bezüglich des Lernplans, der Aufgabe oder der Lernziele** (positiv und negativ)
 - „Also, das war dann der Gleichgewichtszustand“, „Gut, das wär ja dann schon mal die erste Aufgabe, dann können wir ja jetzt ja mal weiter machen mit dem Massenwirkungsgesetz“ „Ich weiß jetzt, wie die verschiedenen Faktoren das Gleichgewicht beeinflussen.“
 - *Abzugrenzen* von der Evaluation, in der eine abschließende Beurteilung über die Erreichung eines Lernziels abgegeben wird
- Überwachung der **Zeit** („Ich hab jetzt noch 10 Minuten“)
- **Notieren von Seiten/Abschnitten**, die zu den Verarbeitungszielen passen
 - *Abzugrenzen* von „Planung“; die Kodierung wird nur vergeben, wenn Seiten/Abschnitte notiert werden, nachdem zumindest ein Teil von ihnen gelesen bzw. überflogen wurde.
- **Überwachung des allgemeinen Vorgehens:**
 - „Wo war ich?“ „Was waren meine Ziele?“

b.)

- Aussagen über das **Verständnis**
 - „Ich kapiere das nicht“. „Das verstehe ich“. „Logisch, gut“.
- **Kritisches Lesen:** sich selbst auf logische Fehler oder Ungereimtheiten aufmerksam machen.
 - „Halt, da ist ein Fehler!“
- **Hinterfragen** des eigenen Verständnisses.
 - „Habe ich auch alles verstanden?“ „Da frage ich mich gerade, warum.“
- Aussagen über die **Bekanntheit oder Neuheit** von Textinformationen getroffen werden
 - „Das kenne ich schon.“ „So ähnlich hatten wir das mal.“ „Da war ich schon.“

Regulation

Hierbei wird der Lernvorgang in Folge des Monitorings verändert. Das Monitoring muss hierzu vorher nicht laut ausgesprochen worden sein. Durch Regulation werden im Monitoring erkannte Lernschwierigkeiten versucht zu beheben, indem z. B. versucht wird, das Verständnis zu verbessern oder das Behalten zu fördern. Hierzu verwenden die Lernenden bewusst oder unbewusst kognitive Lernstrategien, die sich teilweise der in der Literatur beschriebenen Elaborations-, Organisationsstrategien oder Wiederholungsstrategien zurechnen lassen.

Indikatoren für Regulationsaktivitäten sind:

- **Änderung** der allgemein geplanten Vorgehensweise/des Lernplans
- **Änderung der geplanten Reihenfolge**
 - „Aber, dann such ich erstmal nach dem anderen und guck mir das zum Schluss nochmal an.“
- **Änderung des Zeitplans**
- **Ausdruck der Intention zur Änderung von Lernstrategien**, nachdem schon mit der Verarbeitung eines Lerninhalts begonnen wurde (z. B. zum Wechsel zwischen tiefer und oberflächlicher Verarbeitung, *abzugrenzen* von der Kategorie Planung, in der die Verarbeitungstiefe lediglich auf Grund von Kapitelüberschriften antizipiert wird).
- **Aktivierung und Vergleich mit Vorwissen**
 - „Das ist so ähnlich wie bei...“
- **Schriftliches Formulieren/Paraphrasieren in eigenen Worten**
 - wird nur kodiert, falls keine Planungs- oder Monitoring-Aktivität im gleichen Abschnitt vorkommen.
- **Mündliches Formulieren/Paraphrasieren in eigenen Worten**
 - „Also, ich merk mir, dass sich die Konzentrationen nicht mehr ändern“
- **Nochmaliges Lesen von eigenen Notizen oder Hypertext**
- **Zielgerichtetes Hinzufügen von Informationen:** z. B. eigengeneriert oder Beispiele aus dem Hypertext
- **Rekapitulation der Struktur des Gelernten**
 - „Das gehört ja dann mit zum Massenwirkungsgesetz.“

Abschließende Evaluation

Hierbei gleicht der Lerner abschließend seine Lernergebnisse mit den individuellen oder in der Aufgabe vorgegebenen Lernzielen ab. Hierbei steht nicht der *Kontrollprozess*, sondern die abschließende *Beurteilung und Sicherung* von Lernergebnissen im Vordergrund. *Abzugrenzen* ist dies vom Monitoring, wobei der Lerner seinen Fortschritt während des Lernens kontrolliert.

Inhaltliche Beschreibung der Indikatoren:

- Abschließender **Abgleich von Lernzielen und Gelerntem**, Beurteilen von Zwischenergebnissen hinsichtlich ihres Bezugs auf die Aufgabe/Lernziele, abschließendes **Beantworten von Lernfragen, Ergebnissicherung**
 - „Passt schon!“, „Ich les mir jetzt noch mal alles durch, was ich aufgeschrieben habe“.
- Beurteilung von Teilhandlungen oder der Gesamtlösung auf **Vollständigkeit**
 - „Ich glaube das war alles zu dem Thema“, „Damit bin ich fertig“, „Ich habe alle Lernfragen beantwortet“
- Beurteilung von Teilhandlungen oder der Gesamtlösung auf **Korrektheit und Verständnis**
 - „Ich denke, dass ist jetzt die richtige Antwort auf meine Lernfrage.“ „Ich frag mich, ob ich alles verstanden habe.“

Anhang K: Itemanalysen der neugebildeten Variablen „Planung“ und „Verständnisregulation“

Tabelle 1: Itemabkürzung und Kennwerte der Itemanalysen für die Variable **Planung**

| Item | M | SD | r_{it} |
|--------------------------|----------|-----------|-----------------------|
| Orientierung | 1.97 | 2.33 | .61 |
| Festlegen von Lernzielen | 2.64 | 2.73 | .86 |
| Planung | 2.96 | 3.84 | .68 |

Tabelle 2: Itemabkürzung und Kennwerte der Itemanalysen für die Variable **Verständnisregulation**

| Item | M | SD | r_{it} |
|--------------------------|----------|-----------|-----------------------|
| Comprehension monitoring | 3.98 | 2.56 | .62 |
| Regulation | 6.01 | 3.65 | .62 |

Anhang L: Vorwissenstest und Wissenstest zum Chemischen Gleichgewicht

Gleichgewichtszustand und Formulierung Massenwirkungsgesetz: GZMW

Einflüsse auf das Gleichgewicht: EGLW

Interpretation der Gleichgewichtskonstanten: IGK

Aufgaben im Vorwissenstest und Wissenstest

Bei den folgenden Fragen ist *nur eine* Antwort korrekt. Kreuze bitte die zutreffende Antwort an.

-
1. Welche Größen sind im chemischen Gleichgewicht gleich groß? GZMW1
- Stoffmenge der Edukte und Produkte
 - Konzentration der Edukte und Produkte
 - Masse von Edukten und Produkten
 - Gleichgewichtskonstante und Gesamtreaktionsgeschwindigkeit
 - Reaktionsgeschwindigkeit der Hin- und Rückreaktion
-
2. Welche Aussage kann man machen, wenn die Gleichgewichtskonstante einer Reaktion den Wert $K = 10^6$ besitzt? IGK1
- Die Reaktion ist zum Stillstand gekommen.
 - Das Gleichgewicht liegt weit auf Seiten der Edukte.
 - Das Gleichgewicht liegt weit auf Seiten der Produkte.
 - Die Gleichgewichtseinstellung verläuft sehr schnell.
 - Das Gleichgewicht kann nicht erreicht werden.
-
3. Woraus ergeben sich die Exponenten der Konzentrationsangaben im Massenwirkungsgesetz? GZMW2
- aus den Geschwindigkeitskonstanten der Hin- und Rückreaktion
 - aus der Masse der eingesetzten Edukte
 - aus der Molekularität der Reaktion
 - aus den stöchiometrischen Faktoren der Reaktionsgleichung
 - aus der Masse der entstehenden Produkte
-

-
4. Liegt ein chemisches Gleichgewicht mehr auf Seiten der Edukte, so gilt für den Wert der Gleichgewichtskonstanten K : IGK2
- $K < 0$
 - $K = 0$
 - $K < 1$
 - $K = 1$
 - $K > 1$
-

Trage im Folgenden bitte die richtige Lösung ein!

5. Eine chemische Reaktion hat den Gleichgewichtszustand erreicht, wenn Hin- und Rückreaktion die gleiche _____ haben. GZMW3
-

6. Der Einfluss von äußeren Faktoren auf die Lage eines chemischen Gleichgewichts wird durch das Prinzip von Le Chatelier beschrieben. Formuliere das Prinzip in eigenen Worten. EGLW1

7. Wie lautet die Gleichung, die den Zusammenhang zwischen der Änderung der Freien Standardreaktionsenthalpie ΔG^0 und der Gleichgewichtskonstanten K beschreibt? IGK3

8. Wie lautet die Gleichung von van't Hoff? IGK4

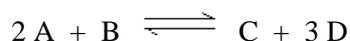
Die Gleichung von van't Hoff beschreibt quantitativ

die Abhängigkeit der/des _____

von der/dem _____.

IGK5

-
9. Formuliere das Massenwirkungsgesetz für folgende allgemeine Reaktion: GZMW4



Achtung! Bei den Fragen auf dieser Seite können auch *mehrere* Antworten richtig sein! Kreuze *alle* richtigen Aussagen an.

10. Welche der folgenden Aussagen ist/sind richtig? IGK6

- Die Gesamtreaktionsgeschwindigkeit für eine umkehrbare Reaktion im Gleichgewicht ist null.
- Die Gesamtreaktionsgeschwindigkeit für eine umkehrbare Reaktion im Gleichgewicht ist abhängig vom Wert der Gleichgewichtskonstanten.
- Die Geschwindigkeiten der Hin- und der Rückreaktion im Gleichgewicht sind null.
- Die Geschwindigkeiten der Hin- und der Rückreaktion im Gleichgewicht sind gleich groß.
- Die Geschwindigkeiten der Hin- und der Rückreaktion im Gleichgewicht hängen vom Wert der Gleichgewichtskonstanten ab.

11. Welche der folgenden Aussagen ist/sind richtig? EGLW2

- Katalysatoren haben nur Einfluss auf die Geschwindigkeit der Hinreaktion.
- Katalysatoren können selektiv die Geschwindigkeit der Rückreaktion senken.
- Katalysatoren verschieben das Gleichgewicht immer auf die Seite der Produkte.
- Katalysatoren beschleunigen Hin- und Rückreaktion in gleichem Maße.
- Katalysatoren beeinflussen nicht den Wert der Gleichgewichtskonstanten.

12. Welche Faktoren können die Gleichgewichtslage einer chemischen Reaktion beeinflussen? EGLW3

- Verwendung eines Katalysators
- Änderung des Drucks
- Vergrößerung der Oberfläche (bei Festkörpern)
- Änderung der Temperatur
- Änderung der Konzentration eines reagierenden Stoffes

Lies die folgenden Sätze sorgfältig durch! Jeder Satz enthält einen Teil, der *falsche* Aussagen enthält. Unterstreiche diesen Satzteil und begründe deine Entscheidung.

13. Das System $A + B \rightleftharpoons C + D$ befinde sich im Gleichgewicht. Wird die Konzentration von A erhöht, so ändert sich die Gleichgewichtslage zugunsten von C und D, d. h. die Gleichgewichtskonstante wird größer. IGK7

Begründung:

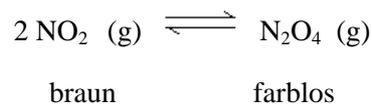
14. Durch Wärmezufuhr werden in einem System, das sich im Gleichgewicht befindet, die Geschwindigkeiten der Hin- und Rückreaktion in gleichem Maße erhöht, so dass sich die Gleichgewichtslage dadurch nicht ändert. EGLW4

Begründung:

15. Ein Katalysator kann ein Gleichgewicht auf die Seite der Produkte verschieben, indem er selektiv die Geschwindigkeit der Hinreaktion erhöht. EGLW5

Begründung:

17. Das braune Gas Stickstoffdioxid NO_2 steht mit dem farblosen Gas Distickstofftetraoxid N_2O_4 in einem Gleichgewicht.



Erhöht man die Temperatur, kommt es zu einer Farbvertiefung des Gasgemisches.

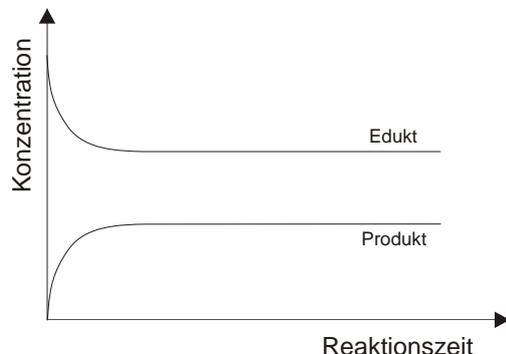
a) Welche Reaktionen des Stickstoffdioxid-Distickstofftetraoxid-Gleichgewichts verlaufen exotherm? EGLW6

- Hinreaktion
- Rückreaktion
- Hin- und Rückreaktion
- keine von beiden

b) Wie würde sich eine Druckerhöhung auf das Gleichgewicht auswirken? Begründe! EGLW7

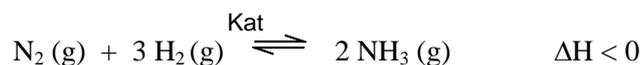
Aufgaben nur im Wissenstest

16. Für eine einfache umkehrbare Reaktion $A \rightleftharpoons B$ werden die Konzentrationen von Edukt und Produkt während der Reaktion fortlaufend gemessen. Für die Abhängigkeit der Konzentrationen des Produkts und Edukts von der Reaktionszeit ergibt sich folgender **grafischer Zusammenhang**:



- a) Welche Aussage ist richtig? GZMW5
- Das Gleichgewicht wird nicht erreicht.
- Das Gleichgewicht liegt auf Seiten des Produktes.
- Das Gleichgewicht liegt auf Seiten des Eduktes.
-
- b) Markiere im Schaubild den Punkt auf der x-Achse, an dem ein (möglicher) Gleichgewichtszustand erreicht wird! GZMW6

18. Ammoniak NH_3 gehört zu den in großer Menge synthetisierten Grundstoffen der Chemischen Industrie. Im Haber-Bosch-Verfahren wird es aus den Elementen Stickstoff N_2 und Wasserstoff H_2 unter Einsatz eines Eisenkatalysators nach folgender Reaktionsgleichung hergestellt:



- a) Formulieren Sie das Massenwirkungsgesetz für diese Reaktion. GZMW7
-
- b) In der Technik wird die Reaktion unter hohem Druck durchgeführt. Begründe! EGLW8
- _____
- _____
-
- c) Wieso arbeitet man beim industriellen Prozess mit einer vergleichsweise hohen Temperatur von $450\text{ }^\circ\text{C}$, obwohl die Gleichgewichtslage bei niedrigeren Temperaturen günstiger wäre? EGLW9
- _____
- _____
- _____

Anhang M: Kodierschema für die offenen Antworten Wissenstest und Vorwissenstest mit Bestimmung der Interraterreliabilität

| Item | Erwartete Antwort (Teilpunkte = TP) | Höchste Punktzahl | Cohens Kappa Vortest | Cohens Kappa Nachtest | Umkodierung |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| GZMW3 | <i>Reaktionsgeschwindigkeiten</i> | 1 | .93 | 1 | |
| EGLW1 | Formulierung des Prinzips von Le Chatelier, z. B. „Wird auf ein sich im Chemischen Gleichgewicht befindliches System ein äußerer Zwang ausgeübt, dann weicht das System dem Zwang so aus, dass die Wirkung des Zwangs verringert wird.“ (2 TP) Es werden nur einzelne Einflussfaktoren genannt. (1 TP) | 2 | .95 | .69 | 2 => 1 1 => 0 0 => 0 |
| IGK3 | $\Delta G = -RT \ln K$ | 1 | | | |
| IGK4 | $\ln \frac{K_1}{K_2} = \frac{\Delta H^0}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$ | 1 | | .65 | |
| IGK5 | <i>Gleichgewichtskonstanten, Temperatur.</i> | 1 | | .81 | |
| GZMW4 | $K = \frac{[C] \cdot [D]^3}{[A]^2 \cdot [B]}$ | 1 | | .91 | |
| IGK7 | Gleichgewichtskonstante bleibt immer konstant. (1 TP) Sie kann durch Temperaturveränderung verändert werden <i>oder</i> die Gleichgewichtslage verändert sich zugunsten der Produkte. (1 TP) | 2 | .79 | .69 | 2 => 1 1 => 1 0 => 0 |
| EGLW4 | Temperatur verändert die Gleichgewichtslage (1 TP) Es wird nur die endotherme Reaktion begünstigt (1 TP) | 2 | .66 | .83 | 2 => 1 1 => 1 0 => 0 |
| EGLW5 | Der Katalysator erhöht Hin-/Rückreaktion in gleichem Maße (1 TP) Die Gleichgewichtslage wird nicht verändert (1 TP) | 2 | .65 | .89 | 2 => 1 1 => 0 0 => 0 |
| EGLW7 | Hinreaktion wird begünstigt, Begründung: Le Chatelier (1 Teilpunkt), Molarität (1 TP) | 2 | .94 | .83 | 2 => 1 1 => 1 0 => 0 |
| | Nur Nachtest | | | | |
| GZMW7 | $K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$ | 1 | | .69 | |
| EGLW8 | Hinreaktion wird begünstigt, Begründung: Le Chatelier (1 Teilpunkt), Molarität (1 TP) | 2 | | .95 | 2 => 1 1 => 1 0 => 0 |
| EGLW9 | Reaktionsgeschwindigkeit wird erhöht (1 Teilpunkt) Wirksamkeit des Katalysators erst bei höheren Temperaturen (1 Teilpunkt) | 2 | | .87 | 2 => 1 1 => 1 0 => 0 |

Anhang N: Itemanalysen der verwendeten Leistungstests und Fragebögen in Studie II

Tabelle 1: Itemabkürzung und Kennwerte der Itemanalysen für die Kurzskala **chemiespezifisches Selbstkonzept**. Negativ formulierte Items wurden vor der Analyse rekodiert

| Itemabkürzung | M | SD | r_{it} |
|---------------------------------|------|-----|----------|
| Wissen leicht aneignen | 2.71 | .81 | .89 |
| einfach begabt | 1.82 | .90 | .59 |
| leicht hineindenken. | 2.60 | .63 | .72 |
| Chemie fällt schwer (rekodiert) | 3.39 | .99 | .58 |
| mit Denkproblemen gut umgehen | 2.11 | .57 | .55 |
| nie verstehen (rekodiert) | 3.89 | .32 | .57 |

Tabelle 2: Itemabkürzung und Kennwerte der Itemanalysen unter Angabe eines ausgeschlossenen Items für die Kurzskala **Chemieinteresse**. Das negativ formulierte Item wurde vor der Analyse rekodiert

| Itemabkürzung | M | SD | r_{it} | Item auf Grund der Itemanalysen ausgeschlossen |
|--------------------------------------------------|------|-----|----------|------------------------------------------------|
| macht einfach Spaß | 2.54 | .84 | .47 | |
| bereit, Freizeit zu opfern | 2.21 | .74 | | x |
| lieber nicht mit Chemie beschäftigen (rekodiert) | 3.21 | .92 | .47 | |

Tabelle 3: Itemabkürzungen und Kennwerte der Itemanalysen für den **Vorwissenstest**

| Itemabkürzung | M | SD | r_{it} | Item auf Grund der Itemanalysen ausgeschlossen |
|---------------|-------|-----|----------|------------------------------------------------|
| GZMW1PRÄ | .14 | .36 | | x |
| IGK1PRÄ | .43 | .50 | .37 | |
| GZMW2PRÄ | .14 | .36 | | x |
| IGK2PRÄ | .50 | .51 | .22 | |
| GZMW3PRÄ | .57 | .50 | .28 | |
| EGLW1PRÄ | .25 | .44 | .40 | |
| IGK6PRÄ | .36 | .49 | .30 | |
| EGLW2PRÄ | .18 | .39 | | x |
| EGLW3PRÄ | .36 | .49 | | x |
| IGK7PRÄ | .21 | .42 | | x |
| EGLW4PRÄ | .50 | .51 | .46 | |
| EGLW5PRÄ | .25 | .44 | | x |
| EGLW6PRÄ | .75 | .44 | .26 | |
| EGLW7PRÄ | .4286 | .50 | .69 | |

Tabelle 4: Itemabkürzungen und Kennwerte der Itemanalysen für den **Wissenstest**

| Itemabkürzung | M | SD | Thematische Unterskalen | |
|------------------------------------------------------------|-----|-----|-------------------------|------------------------------------------------|
| | | | r_{it} | Item auf Grund der Itemanalysen ausgeschlossen |
| | | | Gesamtskala | |
| | | | r_{it} | Item auf Grund der Itemanalysen ausgeschlossen |
| <u>Gleichgewichtslage/ Massenwirkungsgesetz</u> | | | | |
| GZMW1 | .71 | .46 | .42 | .35 |
| GZMW2 | .79 | .42 | .34 | .21 |
| GZMW3 | .79 | .42 | .51 | .67 |
| GZMW4 | .71 | .46 | .76 | .41 |
| GZMW5 | .54 | .51 | .39 | .40 |
| GZMW6 | .89 | .32 | .23 | .08 |
| GZMW7 | .64 | .49 | .58 | .33 |
| <u>Einflüsse auf Gleichgewicht</u> | | | | |
| EGLW1 | .89 | .32 | .12 | .18 |
| EGLW2 | .57 | .50 | .17 | .17 |
| EGLW3 | .64 | .49 | | x |
| EGLW4 | .68 | .48 | .37 | .40 |
| EGLW5 | .36 | .49 | .41 | .34 |
| EGLW6 | .82 | .39 | | x |
| EGLW7 | .71 | .46 | .54 | .46 |
| EGLW8 | .75 | .44 | .38 | .49 |
| EGLW9 | .14 | .36 | .21 | .26 |
| <u>Interpretation Gleichgewichtslage</u> | | | | |
| IGK1 | .71 | .46 | .52 | .08 |
| IGK2 | .71 | .46 | .37 | x |
| IGK4 | .07 | .26 | .25 | .11 |
| IGK5 | .39 | .50 | .37 | .16 |
| IGK6 | .57 | .50 | .16 | .40 |
| IGK7 | .36 | .49 | .19 | .25 |

Tabelle 5: Itemformulierung und Kennwerte der Itemanalysen für die Skala **kognitive Belastung**. Negativ formulierte Items wurden vor der Analyse rekodiert

| Itemformulierung | M | SD | r_{it} |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------------------|
| Der Hypertext war für mich zu schwer. | 1.46 | .64 | .44 |
| Die Inhalte des Hypertexts waren für mich nicht zu komplex. (rekodiert) | 1.82 | .72 | .73 |
| Ich musste mich beim Lernen mit dem Hypertext geistig sehr stark anstrengen. | 1.93 | .66 | .43 |
| Ich musste mich bemühen, um die Inhalte des Hypertexts zu verstehen. | 1.86 | .85 | .57 |
| Ich fühlte mich durch die Informationsfülle des Hypertexts nicht geistig überlastet. (rekodiert) | 1.75 | .84 | .64 |
| Ich fühlte mich durch die Komplexität (Auswahlmöglichkeiten, komplizierte Inhalte) des Hypertexts geistig überlastet. | 1.46 | .74 | .43 |
| Ich hatte häufig den Eindruck, dass der Hypertext mir zu viele Informationen anbot. | 1.43 | .57 | -.25 |
| Die Informationen im Hypertext waren für mich fast immer verständlich. (rekodiert) | 1.58 | .63 | .58 |

Anhang O: Seiten des CHEMnet-Kapitels zum „Chemischen Gleichgewicht“ und Klassifizierung ihrer Relevanz hinsichtlich der Aufgabe

Sehr relevant hinsichtlich der in der Aufgabe genannten Lernziele: 1

Semi-relevant hinsichtlich der in der Aufgabe genannten Lernziele: 2

Irrelevant hinsichtlich der in der Aufgabe genannten Lernziele: 3

| | |
|--------------------------------------------------------------|---|
| Umkehrbare Reaktionen | 2 |
| Kalklöschen und seine Umkehrung | 2 |
| Der Gleichgewichtszustand | 1 |
| Einstellung des Gleichgewichts | 1 |
| Chemisches Gleichgewicht und Reaktions-Geschwindigkeit | 1 |
| Das Massenwirkungsgesetz | 1 |
| Reaktion Wasserstoff/Jod | 2 |
| Reaktion Methan/Wasserdampf | 2 |
| Reaktion Stickstoff/Wasserstoff | 2 |
| Charakteristischer Zahlenwert | 1 |
| Das Massenwirkungsgesetz für nicht-ideale Verhältnisse | 2 |
| Bildung von Chlorwasserstoff | 2 |
| Werte der Gleichgewichts - Konstanten | 3 |
| Temperaturabhängigkeit der GK | 3 |
| Gekoppelte Gleichgewichte | 3 |
| Eine Reaktion mit zwei Teilreaktionen | 3 |
| Eine Reaktion mit drei Teilreaktionen | 3 |
| Homogene und heterogene Gleichgewichte | 3 |
| Gleichgewichtskonstante bei heterogenen Reaktionen | 3 |
| Das Löslichkeitsprodukt | 3 |
| Berechnungen mit Hilfe der Gleichgewichtskonstanten | 3 |
| Zersetzung von Ozon | 3 |
| Dissoziation von Chlor | 3 |
| Gleichgewichtskonstante bei Gasreaktionen | 3 |
| Beziehung zwischen K_c und K_p | 3 |
| Gleichgewichtskonstanten für Reaktionen in wässriger Lösung | 3 |
| Das Essigsäure-Gleichgewicht | 3 |
| Vorhersage der Reaktionsrichtung - Der Reaktionsquotient Q | 3 |
| Die Synthese von Ammoniak | 3 |
| Berechnung von Gleichgewichtskonzentrationen | 3 |
| Ausführliches Beispiel: Jodwasserstoff-Gleichgewicht | 3 |
| Ausführliches Beispiel: Schritt 1 | 3 |
| Ausführliches Beispiel: Schritt 2 | 3 |
| Ausführliches Beispiel: Schritt 3 | 3 |
| Ausführliches Beispiel: Schritt 4 | 3 |
| Ausführliches Beispiel: Schritt 5 | 3 |
| Freie Standardenthalpie und chemisches Gleichgewicht | 3 |
| Standardzustand | 3 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------|---|
| Diagramme: Reaktionsrichtung | 3 |
| Tabelle: Quantitativer Zusammenhang | 3 |
| Berechnung der Gleichgewichtskonstanten aus thermodynamischen Daten | 3 |
| Verbrennung von Ethin | 3 |
| Hydrierung von Ethen | 3 |
| Lage des chemischen Gleichgewichts-Einflussfaktoren | 1 |
| Das Prinzip von Le Chatelier | 1 |
| Einfluss der Konzentration | 1 |
| Zugabe von Edukten und Produkten | 1 |
| Entfernung von Edukten und Produkten | 1 |
| Ausbeutesteigerung bei Industrieprodukten | 2 |
| Wachstum in Tropfsteinhöhlen | 2 |
| Einfluss von Druck und Volumen | 1 |
| Distickstoff-Stickstoffdioxid GLW | 1 |
| Anwendungsbeispiel | 1 |
| Höhen Akklimatisierung | 2 |
| Einfluss der Temperatur - Eine qualitative Betrachtung | 1 |
| Der Cobalt-Komplex | 2 |
| Stickstoffdioxid-Gleichgewicht | 2 |
| Stickstoffdioxid-Gleichgewicht: Video | 2 |
| Einfluss der Temperatur - Eine quantitative Betrachtung | 3 |
| Bildung von NO | 3 |
| Katalysator und Chemisches Gleichgewicht | 1 |
| Die Ammoniaksynthese | 3 |
| Zerlegung von Ammoniak: Video | 3 |
| Einfluss der Temperatur | 3 |
| Einfluss des Drucks | 3 |
| Bedingungen des Verfahrens | 3 |
| Das Schwefeldioxid-Schwefeltrioxid-Gleichgewicht | 3 |

Anhang P: Lebenslauf von Kirsten Brüchner

| | |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1976 | geboren in Hamburg |
| 1995 | Abitur in Hamburg |
| 09/1995-03/1996 | Au-Pair in Colchester/England |
| 04/1996-05/1996 | Praktikum im Architekturbüro Silcher, Werner & Partner, Hamburg |
| 1996-1997 | Studium der Stadtplanung an der Gesamthochschule Kassel |
| 1997-2003 | Studium der Psychologie an der Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel mit Nebenfach Geographie |
| 01/1999-04/1999 | Praktikum im Forschungsprojekt „Belästigung durch Schattenwurf bei Windkraftanlagen“ des Instituts für Psychologie der CAU |
| 09/2000-02/2001 | Studium als ERASMUS-Stipendiatin in Granada/Spanien |
| 03/2001-04/2001 | Praktikum bei PSY:PLAN (Institut für Architektur- und Umweltpsychologie), Frankfurt |
| 04/2002-07/2002 | Praktikum beim Berufsförderungswerk Hamburg in Rendsburg |
| 01/2000-06/2000 und 05/2001-12/2002 | Wissenschaftliche Hilfskraft am IPN (Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften) |
| 03/2003 | Diplom in Psychologie |
| 06/2003 bis heute | Wissenschaftliche Angestellte in der Abteilung für Chemiedidaktik des IPN |