

Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie

Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften
- Dr. rer. nat -

Vorgelegt dem Fachbereich Chemie
der Universität Duisburg-Essen

von
Andrea Maier-Richter
aus Rötz

Essen Juli 2005

Erstes Gutachten: Prof. Dr. Elke Sumfleth

Zweites Gutachten: Prof. Dr. Angela Sandmann

Tag der Disputation: 15.09.2005

Frau Professor Dr. Elke Sumfleth danke ich für die anspruchsvolle Betreuung und Unterstützung meiner Arbeit, die konstruktiven Diskussionen zur Datenauswertung, für ihr Verständnis und die außerordentlichen Arbeitsbedingungen, durch die sich Promotion und Familie vereinbaren ließen.

Frau Professor Dr. Angela Sandmann danke ich für die Erstellung des Zweitgutachtens.

Herrn Professor Dr. Mathias Ulbricht danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Frau Professor Dr. Karin Stachelscheid danke ich für das Interesse an der Studie und die motivierenden Gespräche zum Fortgang meiner Arbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	7
2	Lernen	10
2.1	Gedächtnis und Lernprozesse	10
2.2	Wissensaufbau und Wissensspeicherung	11
2.3	Cognitive Load-Theorie und Kategorien der kognitiven Belastung	12
2.4	Lernen mit Lösungsbeispielen und Cognitive Load-Theorie	14
2.5	Zusammenfassung	15
3	Lernen mit Lösungsbeispielen	17
3.1	Gestaltung und Anordnung von Lösungsbeispielen	17
3.1.1	Intra-Beispiel Merkmale	18
3.1.2	Inter-Beispiel Merkmale	19
3.2	Einfluss von Selbsterklärung auf das Lernen mit Lösungsbeispielen	21
3.2.1	Selbsterklärung von Lösungsbeispielen und Lernerfolg	21
3.2.2	Möglichkeiten zur Erhöhung der Selbsterklärungsaktivität	23
3.3	Einfluss von instruktionalen Erklärungen auf das Lernen mit Lösungsbeispielen	25
3.4	Zusammenfassung	29
4	Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen	32
4.1	Lerntheoretische Aspekte	33
4.2	Methodische Grundtypen computerunterstützter Lehr- und Lernsysteme	38
4.3	Computerunterstützte Hochschullehre.....	43
4.4	Zusammenfassung	45
5	Forschungsvorhaben und Forschungsfragen	47
6	Lernumgebung und Lösungsbeispiele	50
6.1	Programmdesign und Lerninhalt.....	50
6.2	Integrierte instruktionale Erklärungen	53

7	Untersuchungsdesign und Methode	57
7.1	Probanden.....	57
7.2	Untersuchungsdesign.....	57
7.3	Aufgabenstellung.....	58
7.4	Lehrtext.....	58
7.5	Versuchsablauf.....	59
7.6	Instrumente.....	61
7.6.1	KFT-Test.....	61
7.6.2	Fragebögen.....	62
7.6.3	Vortest.....	63
7.6.4	Prozessdaten.....	66
7.6.5	Nachtest.....	68
8	Empirische Ergebnisse und Diskussion	70
8.1	Überprüfung der experimentellen Voraussetzungen.....	70
8.2	Überprüfung der Effektivität des Lernmoduls zum Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie.....	73
8.3	Einfluss von integrierten instruktionalen Erklärungen auf den Lernzuwachs und die Transferleistung.....	74
8.3.1	Einfluss auf den Lernzuwachs.....	74
8.3.2	Einfluss auf die Transferleistung.....	76
8.4	Einfluss von integrierten instruktionalen Erklärungen auf die Selbsterklärungen.....	79
8.5	Einfluss der integrierten instruktionalen Erklärungen auf das Lösen von Übungsaufgaben.....	86
8.6	Einfluss der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen auf das computerunterstützte Lernen mit Lösungsbeispielen.....	90
8.6.1	Veränderung der Einschätzung des computerunterstützten Lernens im Vergleich zu herkömmlichen Lernformen.....	90
8.6.2	Veränderung der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen durch das Lernmodul.....	93
8.6.3	Positive und negative Aspekte zum computerunterstützten Lernmodul.....	97
8.7	Identifikation von speziellen Lernerprofilen.....	99
9	Zusammenfassung und Ausblick	105

10 Tabellenverzeichnis	111
11 Abbildungsverzeichnis	113
12 Literaturverzeichnis	115
13 Anhang	121
14 Persönliches	159

1 Einleitung

Das Lernen von Lösungsbeispielen ist seit über zehn Jahren Thema in der empirischen Lehr- und Lernforschung. Mindestens genauso lange gibt es Chemielehrbücher, die Aufgaben mit Lösungsbeispielen enthalten, wie beispielsweise das von Chemiestudierenden oft verwendete Buch „Chemie – Das Basiswissen der Chemie“ von C. Mortimer. Die Lösungsbeispiele sollen illustrieren, wie die eingeführten Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten angewendet werden. Sie repräsentieren eine Expertenlösung der Aufgabenstellung und eignen sich vor allem für das Lernen von Novizen mit geringem themenspezifischen (Vor-) Wissen. Eine typische Aufgabenstellung zur Stöchiometrie aus einem chemischen Lehrbuch lautet beispielsweise: „Wie groß ist der Eisengehalt in einem Erz, das zu 70% aus Eisentrioxid besteht?“. Dem Studierenden wird in ein bis zwei Lösungsschritten der Lösungsweg und das Ergebnis präsentiert. Nachteilig an den meisten Lösungsbeispielen in Chemielehrbüchern ist, dass oftmals nur *ein* Lösungsbeispiel zu einem Lerninhalt präsentiert wird und dadurch nur sehr begrenzt Lernerfahrung gesammelt werden kann. Außerdem sind die präsentierten Lösungsbeispiele meist deutlich weniger anspruchsvoll als die nachfolgend gestellten Übungsaufgaben, welche die Studierenden selbstständig ohne Anschauungsmaterial lösen sollen. Erschwerend für das Verständnis werden insbesondere bei komplexen chemischen Aufgabenstellungen oftmals mehrere logische Zwischenschritte zu einem Lösungsschritt zusammengefasst, wodurch das Lösungsbeispiel für die Studierenden häufig nur schwer nachvollziehbar ist.

Das Lernen mit Lösungsbeispielen wurde bisher im wesentlichen in mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachgebieten, wie beispielsweise der Physik, Mathematik, Programmierung oder Statistik untersucht (u.a. CHI et al. 1989; RENKL 1997). Die Effektivität und Effizienz des Lernens mit Lösungsbeispielen konnte in den vergangenen Jahren von zahlreichen Forschergruppen empirisch nachgewiesen werden (für einen Überblick: ATKINSON, RENKL, DERRY & WORTHAM 2000). Ein entscheidender Vorteil der Lernmethode liegt darin, dass die kognitive Belastung des Lernenden verringert wird, weil der Fokus nicht auf dem eigentlichen Problemlösen der Aufgabenstellung liegt, sondern auf dem Verstehen der Lösungsrationale, die hinter den präsentierten Lösungsbeispielen steht. Dadurch ist der Erfolg dieser Methode stark davon abhängig, wie intensiv sich der Lernende mit dem Lösungsbeispiel auseinandersetzt. In der Lehr- und Lernforschung werden zur Intensivierung des Lösungsbeispielstudiums überwiegend Selbsterklärungen (CHI et al. 1989; RENKL 1997a) und verschiedene instruktionale Maßnahmen, beispielsweise zusätzliche den Lösungsschritt erläuternde externe instruktionale Erklärungen (RENKL 2001) oder das Komplettieren von unvollständigen Lösungsbeispielen (STARK 1999) eingesetzt. Nach Erkenntnissen der Cognitive Load-Theorie (u.a. SWELLER 1988) kann durch die effektive Gestaltung des einzelnen Lösungsbeispiels der Lernerfolg maßgeblich erhöht werden. Effektive Gestaltungsmerkmale sind u.a. die Zusammenführung unterschiedlicher Informationen aus verschiedenen Quellen (z.B. Text und Diagramm) zu einer integrierten Aufgabenstellung (u.a. WARD & SWELLER 1990) und die Formulierung von Zwischenzielen (u.a. CATRAMBONE 1994) zur Erhöhung der Nachvollziehbarkeit des

Lösungsbeispiels. Der Sequenzierung von Lösungsbeispielen wird ebenfalls eine große Bedeutung beigemessen. Beispielsweise hinsichtlich der Wiederholung gleichartiger Lösungsbeispiele (u.a. GICK & HOLYOAK 1983) oder der Unterschiedlichkeit von Lösungsbeispielen hinsichtlich Problemstruktur und Oberflächenmerkmalen (u.a. QUILICI & MAYER 1996).

In den letzten fünf Jahren werden verstärkt computerunterstützte Lernumgebungen zur Untersuchung des Lernens mit Lösungsbeispielen eingesetzt, da sich mit ihnen u.a. oben genannte instruktionale Maßnahmen einfacher und effizienter realisieren lassen. Dadurch ergeben sich bessere Möglichkeiten, handlungsorientiertes Lernen und Problemlösen zu fördern. In bisherigen Studien werden die Lernumgebungen jedoch nur zu Untersuchungszwecken eingesetzt und nicht als Lernprogramm in eigentlichen Sinn verwendet.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine computerunterstützte Lernumgebung basierend auf der Lernmethode des Wissenserwerbs aus Lösungsbeispielen entwickelt und evaluiert. Damit soll das bisher noch nicht untersuchte Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie, anhand des konkreten Themengebiets Löslichkeit, geprüft werden. Die computerunterstützte Lernumgebung wird nach erfolgreicher Evaluierung in der Veranstaltung „Übung zur Allgemeinen und Anorganischen Chemie“ für Lehramtsstudierende eingesetzt. Neben der Klärung der Effektivität des Lernens mit Lösungsbeispielen in der Chemie, liegt der Fokus der Studie auf der Untersuchung des Einflusses von obligatorischen, integrierten instruktionalen Erklärungen, in Kombination mit schriftlich formulierten Selbsterklärungen. Dazu wurden zwei Versionen des Lernmoduls entwickelt, die sich in Inhalt und Ablauf nicht unterscheiden, sondern nur hinsichtlich der obligatorischen Nutzung der integrierten instruktionalen Erklärungen. Neben den schriftlich generierten Selbsterklärungen sollen interaktive Übungsbeispiele, die in beiden Versionen eingebracht werden, die Elaborationsaktivität steigern und erste Rückschlüsse auf die Problemlösefähigkeit liefern.

In den Kapiteln 2 bis 4 werden die relevanten theoretischen Grundlagen zu Lernprozessen, Lernen mit Lösungsbeispielen und computerunterstützten Lernens dargestellt. Darauf aufbauend werden in Kapitel 5 das Forschungsvorhaben und die daraus resultierenden Forschungsfragen formuliert. Danach wird die Entwicklung der Lernumgebung und der Lösungsbeispiele in Kapitel 6 ausführlich erläutert. Fokussiert wird dabei auf die Realisierung der computerunterstützten Lernumgebung basierend auf den theoretischen Grundlagen und den aktuellen Befunden der Lehr- und Lernforschung. In Kapitel 7 wird die Operationalisierung der Untersuchung präsentiert. Dazu werden das Untersuchungsdesign und alle Erhebungsinstrumente, die zur Klärung der Forschungsfragen dienen, präsentiert. Die Darstellung der Ergebnisse und deren Interpretation erfolgt ausführlich in Kapitel 8. Abschließend mit Kapitel 9 wird die Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick zu möglichen weiteren interessanten Forschungsansätzen gegeben.

Ziel der hier vorliegenden Arbeit ist es, die Effektivität des computerunterstützten Lernens mit Lösungsbeispielen in der Chemie zu klären. Der Fokus dabei liegt auf der Untersuchung des Einflusses von integrierten instruktionalen Erklärungen in Kombination mit Selbsterklärung auf das Lernen mit Lösungsbeispielen.

2 Lernen

Die neuen Erkenntnisse zu kognitiven Strukturen und Lernprozessen liefern zahlreiche viel versprechende Ansätze für die Entwicklung neuer Lernmaterialien und -bedingungen. Die Anpassung der Lernmodalitäten an die kognitive Struktur des Menschen könnte sich unter anderem positiv auf den Lernerfolg auswirken.

In den folgenden Kapiteln wird der Zusammenhang zwischen Arbeits- bzw. Langzeitgedächtnis und Lernprozessen erläutert. Lernen wird nach kognitivistischer Auffassung als Informationsverarbeitung betrachtet, bei der der Lernende neues Wissen in bestehende Gedächtnisstrukturen integriert. Diese Informationsverarbeitung wird durch verschiedene Arten von kognitiver Belastung beeinträchtigt. Die Cognitive Load-Theorie erläutert differenziert die verschiedenen Arten der kognitiven Belastungen und diskutiert Möglichkeiten, diese zu beeinflussen.

2.1 Gedächtnis und Lernprozesse

Menschen können bewusst nur den Inhalt ihres *Arbeitsgedächtnisses* kontrollieren und verändern. Alle anderen kognitiven Funktionen laufen für den Menschen im Hintergrund unbewusst ab. Die Kapazität des menschlichen Arbeitsgedächtnisses ist begrenzt. Nach MILLER (1956) können im Arbeitsgedächtnis nur ungefähr sieben Informationselemente simultan bereitgehalten werden. Nach neueren Erkenntnissen wird davon ausgegangen, dass das menschliche Arbeitsgedächtnis in der Regel maximal zwei bis drei Informationselemente gleichzeitig bereithalten kann, da es hauptsächlich mit der Verarbeitung zusätzlicher neuer Informationen beispielsweise in Form von Organisieren, Vergleichen oder Kontrastieren beschäftigt ist. Jede Wechselwirkung und Kausalbeziehung zwischen den im Arbeitsgedächtnis bereitgehaltenen einzelnen Informationselementen reduziert die zur Verarbeitung neuer Elemente zur Verfügung stehende Kapazität. Damit limitiert sich bei begrenztem Arbeitsgedächtnis die Anzahl der Elemente, die gleichzeitig verarbeitet werden können. Alle bewussten kognitiven Aktivitäten folgen dem gleichen Ablauf, der für sich bereits einen beträchtlichen Teil des Arbeitsgedächtnisses okkupiert. Es können deshalb gleichzeitig nur entsprechend einfache Verarbeitungsprozesse ablaufen. Alle kognitiven Aktivitäten, die über diese einfachsten Verarbeitungsprozesse hinausgehen, scheinen den Arbeitsspeicher bereits zu überlasten und die Informationsverarbeitung zu beeinträchtigen (SWELLER, VAN MERRIENBOËR & PAAS 1998).

Im Gegensatz zum Arbeitsgedächtnis sind sich Menschen der Existenz und des Inhalts ihres *Langzeitgedächtnisses* nicht bewusst. Hinweise zu dessen Inhalt erhalten sie nur, wenn diese in das Arbeitsgedächtnis eingebracht werden. Dies ist vermutlich auch der Grund dafür, dass sich das Wissen und die Forschung bezüglich der Funktion und den Eigenschaften des Langzeitgedächtnisses wesentlich langsamer entwickelten als dies beim Arbeitsgedächtnis der Fall war. Zahlreiche Studien in den späten 70er und frühen 80er Jahren zeigten, dass sich Experten von Novizen beim Problemlösen nicht hinsichtlich der hoch entwickelten, generellen Problemlösestrategien unterscheiden, sondern durch die enorme Anzahl bereits elaborierter gleichartiger Probleme, die in ihrem Langzeitgedächtnis gespeichert sind (u.a. BARFIELD 1986; SWELLER &

COOPER 1985). Aufgrund dessen scheint die Kapazität des Langzeitgedächtnisses in Hinblick auf die Speicherung von Information nahezu unbegrenzt. Dadurch wird auch die Bedeutung des Vorwissens zu einem bestimmten Lerninhalt und dessen Effekt auf den Lernerfolg evident. Intellektuelle Fähigkeiten sind bestimmt durch die Befähigung, Wissen im Langzeitgedächtnis zu speichern und nicht von der Fähigkeit sich mit umfangreichen komplexen Prozeduren im Arbeitsgedächtnis zu befassen. In der Regel ist das Arbeitsgedächtnis nicht in der Lage aufgrund seiner begrenzten Kapazität komplexe Interaktionen zwischen neuen Informationselementen herzustellen, außer diese Elemente wurden bereits zu einem früheren Zeitpunkt im Langzeitgedächtnis abgelegt. (u.a. SWELLER, VAN MERRIENBOËR & PAAS 1998).

Die Hauptaufgaben des menschlichen Gedächtnisses liegen im Wesentlichen darin, eine nahezu unbegrenzte Menge an Informationen im Langzeitgedächtnis zu speichern und im Arbeitsgedächtnis zu verarbeiten. Die Informationen bestehen nicht nur aus knappen, isolierten Fakten sondern können auch komplexe und vernetzte Interaktionen und Prozeduren beinhalten.

2.2 Wissensaufbau und Wissensspeicherung

Lernen erfolgt nach kognitionspsychologischer Auffassung durch den Aufbau von Schemata, deren Optimierung und Automatisierung. In den folgenden Abschnitten wird die Funktion und Bedeutung von Schemakonstruktion und -automatisierung für Wissensaufbau und Wissensspeicherung erläutert.

Ein Schema ist eine organisierte Abstraktion, die Objekte, Situationen oder Abläufe beschreibt (SUMFLETH 1988). Ein Schema spiegelt ein bestimmtes Konzept zu einem Sachverhalt wieder, muss aber nicht alle Eigenschaften dazu implizieren (ANDERSON 2001). Eine wesentliche Funktion von Schemakonstruktion ist die Bereitstellung eines Mechanismus zum Aufbau von Wissen und dessen Speicherung im Langzeitgedächtnis. Ein Schema kategorisiert Informationselemente in Anlehnung an die Art und Weise wie sie tatsächlich genutzt werden (CHI, GLASER & REES 1982). In einem Schema werden mehrere relevante einzelne Elemente eines Sachverhalts organisiert und zusammengefasst. Dieses Schema wird beim Abruf vom Langzeitgedächtnis ins Arbeitsgedächtnis als *ein* Element behandelt und erlaubt, andere irrelevante Elemente zu diesem Sachverhalt, die davon abweichen, zu ignorieren. Schemata reduzieren deshalb die Belastung des Arbeitsgedächtnisses. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist die *Anzahl* der Elemente, die im Arbeitsgedächtnis gleichzeitig verarbeitet werden können, limitiert. Hinsichtlich der *Größe*, *Komplexität* und *Differenziertheit* gibt es keine Einschränkungen. *Ein* Schema wird als Einheit betrachtet, auch wenn es *alles* beinhaltet, was zu einem Sachverhalt gelernt wurde. Neue Informationen oder einfache Schemata zu einem Sachverhalt werden kontinuierlich in ein bereits zu diesem Sachverhalt bestehendes integriert. Das „Resultat“ wird als *ein* Schema betrachtet, das trotz der zusätzlich eingebrachten Information keine zusätzliche Kapazität im Arbeitsgedächtnis okkupiert. Wenn sich der Lernprozess über eine längere Zeit erstreckt, kann ein einziges Schema unter Umständen eine sehr große Menge an Information enthalten. Lernen ist demnach erst nach der Verarbeitung der Informationselemente durch den Einbau in Schemata möglich (u.a. SWELLER 1988; PAAS, RENKL & SWELLER 2003;

ANDERSON 2001). Durch häufiges Bilden von immer komplexeren Schemata aus der Kombination bzw. der Verknüpfung von mehreren einfachen und Aufnahme von neuen Informationen entwickeln sich eine qualifizierte Fähigkeit zur Schemakonstruktion und optimierte Schemata. Schemakonstruktion schafft zwei wesentliche Voraussetzungen für erfolgreiche Lernprozesse, zum einen den Aufbau und die Speicherung von Wissen im Langzeitgedächtnis und zum anderen eine Reduzierung der Belastung des Arbeitsgedächtnisses.

Schemaautomatisierung ist wie die Schemakonstruktion ein wichtiger Arbeitsschritt beim Erlernen neuer Sachverhalte. Information kann sowohl bewusst als auch automatisch verarbeitet werden (SCHNEIDER & SCHIFFRIN 1977). Bewusstes Verarbeiten von Information findet, wie in Kapitel 2.1 beschrieben im Arbeitsgedächtnis statt. Die automatische Verarbeitung hingegen umgeht das Arbeitsgedächtnis weitgehend. Die Automatisierung eines Vorgangs setzt normalerweise erst nach extensiver Übung ein. Aufgrund dessen kann eine Prozedur nach ausreichend frequenter Übung mit minimaler Belastung des Arbeitsgedächtnisses ausgeführt werden. Lernende, die automatisierte Regeln zum Problemlösen anwenden, haben einen beträchtlichen Anteil des Arbeitsgedächtnisses zur Verfügung um nach der eigentlichen Problemlösung zu suchen. Bei Einsatz von nicht automatisierten Regeln ist davon auszugehen, dass ein erheblicher Anteil der Kapazität des Arbeitsspeichers dazu verwendet wird, die Regeln aufzurufen anstatt die eigentliche Problemlösung zu finden (KOTOVSKY, HAYES & SIMON 1985). Damit hilft die Schemaautomatisierung analog der Schemakonstruktion die Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu reduzieren und freie Kapazität für lernförderliche, kognitive Aktivitäten zu schaffen. Durch Schemaautomatisierung können ähnliche Aufgabenstellungen effizient und korrekt abgearbeitet werden. Selbst unbekannte Aufgabenstellungen, bei denen nur teilweise auf automatisierte Arbeitsabläufe aus dem Langzeitgedächtnis zurückgegriffen werden kann, werden so effizient abgearbeitet, da auch in diesem Fall ein Maximum an freiem Arbeitsgedächtnis zur Problemlösung zur Verfügung steht.

Um die lernförderliche Konstruktion von Schemata und deren Automatisierung zu intensivieren, werden die Erkenntnisse zur kognitiven Struktur des menschlichen Gedächtnisses und die Befunde zum Wissenserwerb aus Schemata beispielsweise beim Instruktionsdesign, z.B. bei der Entwicklung und Gestaltung von Lehr- und Lernmaterialien, immer stärker berücksichtigt (u.a. VAN MERRIENBOËR 1997).

2.3 Cognitive Load-Theorie und Kategorien der kognitiven Belastung

Die Leistung des Lernenden lässt nach, wenn die kognitive Belastung entweder extrem niedrig (Unterbelastung) oder extrem hoch (Überbelastung) ist (TEIGEN 1994). In beiden Extremfällen findet kein Lernprozess mehr statt. Lernende in Lernsituationen mit niedrigen Anforderungen an den Verarbeitungsprozess profitieren von Übungen, bei denen die kognitive Belastung und Herausforderung sukzessive erhöht wird. Lernsituationen, bei denen sehr hohe Anforderungen an die kognitive Belastung des Lerners gestellt werden, können durch Übungen, in denen die kognitive Belastung auf ein kontrollierbares Maß reduziert wird, überschaubarer werden (WULF & SHEA 2002).

Die Cognitive Load-Theorie¹ „bringt die Leistungsfähigkeit beim anfänglichen Erwerb kognitiver Fertigkeiten mit dem Umgang mit Kapazitätsbeschränkungen im menschlichen Informationsverarbeitungssystem in Zusammenhang“ (RENKL et al. 2003; S.94). Die CLT befasst sich mit dem Lernen von komplexen kognitiven Sachverhalten, bei denen Lernende oft von der Menge an Informationselementen und deren Interaktionen, die gleichzeitig verarbeitet werden müssen, überwältigt werden. Der Fokus der CLT liegt auf der instruktionalen Kontrolle der kognitiven Belastung um effektives Lernen komplexer Sachverhalte zu ermöglichen und zu erleichtern. Die Theorie behauptet, dass Lernen am erfolgreichsten unter Bedingungen stattfindet, die der kognitiven Struktur des menschlichen Gedächtnisses angepasst sind (vgl. Kapitel 2.2). Die CLT geht davon aus, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses limitiert ist und praktisch nicht belastet wird, wenn ähnliche Aufgabenstellungen mit gleichen Sachverhalten behandelt werden, die zu einem früheren Zeitpunkt im Langzeitgedächtnis in Form von Schemata gespeichert wurden. Die Schemaautomatisierung ermöglicht unbewusstes Abarbeiten dieser Schemata unter minimaler Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses. Durch Schemakonstruktion und -automatisierung wird die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für erneute Informationsverarbeitung und damit für den eigentlichen Lernprozess freigegeben. Diese kognitionspsychologischen Erkenntnisse sollten beim Instruktionsdesign berücksichtigt werden, damit möglichst viel Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für die lernwirksame Schemakonstruktion bleibt.

Die CLT unterscheidet zwischen drei Kategorien der kognitiven Belastung: intrinsische, innere („intrinsic load“), irrelevante, unwirksame („extraneous load“) und relevante, wirksame Belastung („germane load“) (SWELLER et al. 1998). Die drei Kategorien bilden additiv die kognitive Gesamtbelastung des Arbeitsgedächtnisses. Diese Belastung darf nicht über die limitierte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hinausgehen, wenn Lernen erfolgreich sein soll (PAAS et al. 2003).

Die *intrinsische Belastung* („intrinsic load“) wird durch die Anzahl der Elemente des Lerngegenstandes, die gleichzeitig verarbeitet und verknüpft werden müssen, bestimmt. Diese ist umso höher, je mehr Wechselwirkungen und Kausalbeziehungen der Lerngegenstand aufweist. Diese Art der kognitiven Belastung ist vom Vorwissen des Lernenden abhängig. Bei hohem Vorwissen ist es sehr wahrscheinlich, dass sich bereits Schemata zum Lerngegenstand im Langzeitgedächtnis befinden, auf die zurückgegriffen werden kann, was bei geringem Vorwissen nicht der Fall ist. Die intrinsische Belastung kann in der Regel bei vorgegebenem Lerngegenstand nicht durch instruktionales Design der Lehr- und Lernmittel beeinflusst werden. Dies gelingt nur durch eine Vereinfachung des Lerngegenstandes durch Reduzierung der Wechselbeziehungen.

Bei der zweiten Kategorie, der so genannten *irrelevanten Belastung* („extraneous load“), handelt es sich um eine zusätzliche nicht auf den eigentlichen Lerngegenstand gerichtete kognitive Belastung. Diese wird, z.B. durch zusätzliche Informationen, die nicht dem Wissenserwerb dienen, oder durch eine unübersichtliche Anordnung der Informationen hervorgerufen. Das Arbeitsgedächtnis wird damit beschäftigt, diese Informationen zu integrieren und zu organisieren, anstatt nach der eigentlichen

¹ Im Folgenden wird die **Cognitiv Load-Theorie** mit CLT abgekürzt.

Problemlösung zu suchen. Durch diese Belastung wird die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses okkupiert, die nicht mehr der Schemakonstruktion und damit dem eigentlichen Lernprozess zur Verfügung steht. Die irrelevante Belastung ist vor allem von Bedeutung, wenn die intrinsische Belastung sehr hoch, d.h. der Lerngegenstand sehr komplex ist, da beide Belastungen additiv in die Gesamtbelastung eingehen. Damit es zu keiner Überlastung des Arbeitsgedächtnisses kommt, sollte der Anteil der irrelevanten kognitiven Belastung durch geeignete Gestaltung des Lernmaterials reduziert werden. Interessant ist, dass bei geringer Elementinteraktion (einfacher Lerngegenstand) und damit niedriger intrinsischer Belastung instruktionale Maßnahmen zur Reduzierung der irrelevanten Belastung keinen bedeutsamen Effekt liefern.

Die letzte Kategorie wird als *relevante, lernwirksame kognitive Belastung* („*germane load*“) bezeichnet. Sie definiert sich aus den zur Schemakonstruktion investierten Ressourcen. Je höher dieser relevante Anteil aufgrund freier Kapazitäten sein kann, desto effektiver erfolgt das Lernen. Im Gegensatz zur intrinsischen Belastung kann diese Kategorie genauso wie die irrelevante Belastung durch das instruktionale Design des Lernmaterials, z.B. die Anordnung von Beispielen und Informationen, beeinflusst werden. Ziel des Instruktionsdesigns basierend auf der CLT ist es, eine Erhöhung der relevanten lernwirksamen Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Förderung und Erhöhung von Schemakonstruktion und -automatisierung zu erreichen und dabei gleichzeitig die irrelevante lernunwirksame Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu minimieren.

2.4 Lernen mit Lösungsbeispielen und Cognitive Load-Theorie

Die Effektivität des Lernens mit Lösungsbeispielen wird derzeit überwiegend basierend auf der CLT erklärt (SWELLER 1988; SWELLER, VAN MERRIENBOËR & PAAS 1998). Der wesentliche Vorteil des Lernens mit Lösungsbeispielen gegenüber anderen Lernmethoden, wie z.B. Lernen durch Problemlösen, liegt an der geringen irrelevanten Belastung („*extraneous load*“). Die ausformulierten Lösungsschritte enthalten die relevanten Informationen und die Kausalbeziehungen zwischen den Sachverhalten werden evident. Dadurch wird eine niedrige Informationsverarbeitungsbelastung erreicht, die beim Lösungsbeispielstudium mehr freie Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für den eigentlichen Lern- und Verstehensprozess („*germane load*“) bewirkt.

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

1. Die intrinsische Belastung ist sehr hoch, da aufgrund des fehlenden Fachwissens keine Schemata zum Lerngegenstand vorhanden sind und diese Informationseinheiten erst gebildet werden müssen. Die einzelnen Informationen und deren Wechsel- und Kausalbeziehungen müssen zunächst in Schemata zusammengefasst und abgebildet werden, um Lernen zu ermöglichen. Der permanente Abgleich der Informationen und Schemata hemmt den eigentlichen Wissenserwerb, da ein erheblicher Teil des Arbeitsgedächtnisses durch die Informationsverarbeitung okkupiert wird. Eine zusätzliche hohe irrelevante Belastung würde den Lern- und Verstehensprozess weiter einschränken.

2. Die Lernenden sind in diesem frühen Wissensstadium auf allgemeine Problemlösestrategien angewiesen. Häufigste Methode beim Problemlösen von Novizen ist die Ziel-Mittel-Analyse, als *suchbasiertes Problemlösen*. Bei dieser Lösungsstrategie wird zu Beginn ein Prinzip z.B. in Form einer Gesetzmäßigkeit gesucht, das die in der Problemstellung gefragte Größe mit anderen Größen, deren Werte bekannt sind, in Beziehung setzt. Im einfachsten Fall wird die Gleichung nach der gesuchten Größe aufgelöst und die Lösung der Aufgabe erhalten. Kann die Lösung nicht mit der Formulierung *einer* Gesetzmäßigkeit oder Gleichung erreicht werden und bleiben weitere Größen der Gleichung ohne Werte, werden mehrere Gleichungen aufgestellt. Die unbekanntes Größen werden als „gesucht“ gekennzeichnet. Dieses Vorgehen wird so lange praktiziert, bis eine Gleichung gelöst und der Wert in die vorhergehende Gleichung eingesetzt werden kann. Dieses „Zurückgehen“ wird so lange praktiziert, bis die gesuchte Größe aus der Problemstellung erhalten wird. Die Ziel-Mittel-Analyse ist „eine „schwache“ Problemlösestrategie, weil sie wenig Bereichswissen nutzt, und daher leicht zu ineffektiven Lösungsversuchen führt. Der Vorteil von schwachen Problemlösestrategien ist, daß sie generell anwendbar sind, also nicht an spezifische Gegenstandsbereiche gebunden sind.“ (REIMANN 1997, S.82).

Die Ziel-Mittel-Analyse belastet jedoch in hohem Maße das Arbeitsgedächtnis, da die Lernenden gleichzeitig den aktuellen Problemzustand, das gesuchte Ziel, mögliche Unterschiede zwischen dem momentanen Zustand und dem Zielzustand und aktive Zwischenzustände abgleichen bzw. bereithalten müssen. Damit generiert diese Problemlösestrategie eine hohe irrelevante Belastung des Arbeitsgedächtnisses, was der relevanten lernwirksamen Belastung abträglich ist (RENKL et al. 2003; RENKL & ATKINSON 2003). Die Ziel-Mittel-Analyse unterstützt das Problemlösen erfolgreich, dient jedoch nicht dem Wissenserwerb. Bei Experten hingegen wird *schemabasiertes Problemlösen* beobachtet. Experten arbeiten von den gegebenen Größen aus zum Ziel hin. Diese Problemlösestrategie des „vorwärts schließen“ findet sich bei Problemlösern, die bereits über fundiertes Bereichswissen verfügen und damit über Schemata zum Lerngegenstand. Sie sind sich über ihr Vorgehen zur Problemlösung im Klaren und entwickeln ihre Lösungsschritte zum Erreichen der Zielgröße nach einem Plan oder Schema (REIMANN 1997).

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

2.5 Zusammenfassung

Das menschliche Arbeitsgedächtnis ist im Gegensatz zum Langzeitgedächtnis in seiner Kapazität begrenzt. Nur der Inhalt des Arbeitsgedächtnisses kann vom Menschen kontrolliert und verändert werden. Im Langzeitgedächtnis, auf dessen Inhalt der Mensch nicht bewusst zugreifen kann, wird eine nahezu unbegrenzte Menge an Information in

Form von Schemata gespeichert, die neben knappen Fakten auch komplexe Prozeduren beinhalten können. Lernen erfolgt nach kognitionspsychologischen Aspekten durch den Aufbau von Schemata und deren Automatisierung. Ein Schema beinhaltet ein Konzept zu einem bestimmten Sachverhalt, das jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit hat. Die Schemakonstruktion erfüllt zwei Hauptaufgaben, zum einen den Aufbau und die Speicherung von Wissen im Langzeitgedächtnis, zum anderen die Reduzierung der Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Informationsverarbeitung. Durch extensives Üben wird das Ausführen von Prozeduren automatisiert (Schemaautomatisierung). Diese automatisierten Prozeduren umgehen das Arbeitsgedächtnis und schaffen damit freie Kapazitäten für die Verarbeitung neuer Informationen im Arbeitsgedächtnis. Schemaautomatisierung dient wie Schemakonstruktion der Entlastung des Arbeitsgedächtnisses und erhöht damit dessen freie Kapazität für Lern- und Verstehensprozesse. Der Lern- und Verstehensprozess wird durch die kognitive Belastung des Arbeitsgedächtnisses stark beeinflusst. Die kognitive Belastung umfasst die Menge an Informationen und Operationen, die gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis organisiert, abgeglichen und verarbeitet werden müssen.

Die CLT befasst sich mit dem anfänglichen Wissenserwerb unter Berücksichtigung der kognitiven Struktur des Menschen, insbesondere der Kapazitätsbeschränkung des Arbeitsgedächtnisses durch kognitive Belastung. Sie differenziert drei Kategorien der kognitiven Belastung:

- die *intrinsische Belastung* („*intrinsic load*“), die durch die Komplexität des Lerngegenstandes bestimmt wird. Sie kann nicht oder nur sehr begrenzt durch instruktionale Maßnahmen beeinflusst werden kann.
- die *irrelevante Belastung* („*extraneous load*“), die durch zusätzliche, nicht dem Wissenserwerb dienende Informationen entsteht. Sie belastet das Arbeitsgedächtnis unnötig und kann durch instruktionale Interventionen beeinflusst werden.
- die *relevante, lernwirksame* („*germane load*“) Belastung als der Anteil der kognitiven Belastung, der durch den eigentlichen Lern- und Verständnisprozess (Schemakonstruktion und -automatisierung) entsteht. Für einen effektiven Lernprozess ist es essentiell diesen Anteil möglichst zu erhöhen. Dies kann mit Hilfe von instruktionalen Maßnahmen gelingen.

Die Effektivität des Lernens mit Lösungsbeispielen wird derzeit überwiegend mit der CLT begründet. Durch die ausformulierten Lösungsschritte des Lösungsbeispiels wird die irrelevante Belastung durch lernunwirksame Informationsverarbeitung verringert. Damit bleibt mehr Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für den lernwirksamen relevanten Anteil in Form von Lern- und Verstehensprozessen bestehen.

3 Lernen mit Lösungsbeispielen

In den vergangenen zehn Jahren erlangte das Lernen mit Lösungsbeispielen in der Lernforschung, insbesondere in gut strukturierten Fachgebieten, wie Mathematik, Physik, Statistik und Programmierung ein hohes Maß an Bedeutung (für einen Überblick: REIMANN 1997; RENKL 1997a). Für Lösungsbeispiele existieren keine feststehenden Definitionen, sie bestehen im Allgemeinen aus einer Aufgabenstellung, mehreren Lösungsschritten und der eigentlichen Aufgabenlösung. Das Lösungsbeispiel soll veranschaulichen, wie ein vorher eingeführtes Prinzip (z.B. Gesetzmäßigkeit, Formel, etc.) angewendet werden kann. Es zeigt zu einer bestimmten Aufgabenstellung eine von Experten generierte, meist kleinschrittige Problemlösung, die von den Lernenden elaboriert und verinnerlicht werden soll.

Lernen mit Lösungsbeispielen wird vor allem zum Wissenserwerb bei Novizen eingesetzt. Zahlreiche Studien von SWELLER und Kollegen (u.a. SWELLER & COOPER 1985; SWELLER, VAN MERRIENBOER & PAAS 1998) bestätigen, dass Lernen mit Lösungsbeispielen vor allem für Lernende mit geringem oder keinem fachspezifischen Vorwissen effektiver sein kann als das Lernen durch Problemlösen. ZHU und SIMON (1987) fanden in ihrer Studie heraus, dass sich ihre sorgfältig konstruierten und strukturierten mathematischen Beispiele ausgezeichnet eignen, kognitiven Fertigkeitserwerb zu induzieren und Problemstellungen zu abstrahieren.

Lernen mit Lösungsbeispielen weist empirisch verifizierte Vorteile auf, dennoch kann diese Lernmethode nicht generell eingesetzt werden, da ihr Erfolg neben dem Fachgebiet (Lerninhalt) im Wesentlichen davon abhängig ist, wie intensiv der Lehrende das Lösungsbeispiel elaboriert. Das Elaborationsverhalten und damit die Effektivität der Lernmethode werden durch *indirekte Faktoren*, welche die Gestaltung, Präsentation und Struktur der Lösungsbeispiele betreffen und von *direkten Faktoren*, wie z.B. Aufforderung zur Selbsterklärung oder instruktionale Hilfen zum Bearbeiten der Lösungsbeispiele beeinflusst. Für beide Faktoren gibt es verschiedene Möglichkeiten der Einflussnahme, auf die in den nachfolgenden Kapiteln separat eingegangen wird.

3.1 Gestaltung und Anordnung von Lösungsbeispielen

Das Lernen mit Lösungsbeispielen wird durch die Gestaltung und Strukturierung der einzelnen Lösungsbeispiele beeinflusst (für einen Überblick: ATKINSON, R.K, DERRY, S.J., RENKL, A. & WORTHAM, D. 2000; ZHU & SIMON 1987; CATRAMBONE 1996; WARD & SWELLER 1990). Da sie nicht direkt auf das Elaborationsverhalten, sondern über die Effekte von verschiedenen Gestaltungsmerkmalen Einfluss nehmen, werden auch sie als *indirekte Faktoren* bezeichnet. Die Gestaltungsmerkmale werden nach *Intra-Beispiel Merkmalen* und *Inter-Beispiel Merkmalen* unterschieden. *Intra-Beispiel* Merkmale beziehen sich auf die Gestaltung und Strukturierung des *einzelnen Lösungsbeispiels*, während *Inter-Beispiel* Merkmale die effektive Anordnung und Präsentation einer *Sequenz von Lösungsbeispielen* näher bestimmen. Beide Arten von Designmerkmalen sollen auf das Lösungsbeispielstudium einwirken, suboptimales Elaborationsverhalten verbessern und damit die Lern- und Transferleistung erhöhen.

3.1.1 Intra-Beispiel Merkmale

Für den erfolgreichen Einsatz von Lösungsbeispielen werden verschiedene Designmerkmale identifiziert, die bei der Gestaltung des einzelnen Lösungsbeispiels, unabhängig vom Lerninhalt, Einfluss auf den Lernerfolg haben. Bei der Konstruktion von effektiven Lösungsbeispielen sollen diese Merkmale deshalb berücksichtigt werden.

Der entscheidende Vorteil beim Lernen mit Lösungsbeispielen liegt darin, dass die kognitive Kapazität des Lernenden durch die Struktur und die Gestaltung des Lösungsbeispiels nicht überlastet wird, und aufgrund dessen ausreichend Arbeitsgedächtnis für die eigentlichen Lern- und Verstehensprozesse zur Verfügung steht (MWANGI & SWELLER 1998; TARMIZI & SWELLER 1988; WARD & SWELLER 1990). TARMIZI & SWELLER (1988) untersuchten das Lernen mit Lösungsbeispielen beim Wissenserwerb in der Geometrie. Unter Laborbedingungen mussten zum Nachvollziehen und Verstehen der Lösungsbeispiele graphische (z.B. Diagramm, Tabelle) und textuelle Informationen abgeglichen werden. Dabei stellten sie fest, dass das Zusammenführen des Informationsmaterials zu einer abnehmenden Problemlösefähigkeit führt. Sie begründen diesen Effekt mit einer erhöhten kognitiven Belastung des Arbeitsgedächtnisses des Lernenden, der durch eine Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen den verschiedenen Informationsquellen und deren Abgleich hervorgerufen wird. Diese Integration der verschiedenen Informationen bindet kognitive Kapazität, die für den eigentlichen Lern- und Verstehensprozess nicht mehr zur Verfügung steht und die Problemlösefähigkeit einschränken kann. Dies wird als „split-attention-effect“ bezeichnet. Als Konsequenz fassen sie, bei der Gestaltung von Lösungsbeispielen die Informationen aus verschiedenen Informationsquellen zu einem *integrierten Beispielformat* zusammen. Damit muss die kapazitätsokkupierende Integrationsleistung von Text und Grafik nicht mehr vom Lernenden erbracht werden. WARD und SWELLER (1990) verifizierten die Ergebnisse von TARMIZI und SWELLER unter leicht modifizierten Versuchsbedingungen. Sie führten Feldexperimente zum integrierten Beispielformat mit Lösungsbeispielen aus der Physik durch.

Basierend auf der CLT gelingt es mit dem integrierten Beispielformat die lernunwirksame, irrelevante Belastung zu reduzieren und damit mehr Kapazität für die lernwirksame Belastung zu schaffen.

CATRAMBONE (1994, 1995, 1996) erzielt durch das Explizieren von Zwischenzielen bedeutsame Effekte auf Lernerfolg und Transferleistung. Er verwendet dazu zwei unterschiedliche Techniken, zum einen das *Beschriften von Lösungsschritten* und zum anderen die *visuelle Auftrennung von Lösungsschritten* in separate Zeilen. Er stellt fest, dass nicht unbedingt die semantische Bedeutung der Beschriftung zum Hervorheben wichtiger Zwischenzielen beiträgt, sondern bereits deren Vorhandensein. Deshalb schlägt er vor, mehrere Lösungsschritte, die zu einem Zwischenziel gehören, zu einer Einheit zusammenzufassen und mit einer Beschriftung zu versehen. Die Lernenden sollen dadurch angeregt werden, sich selbst zu erklären, weshalb diese Lösungsschritte zu einer Einheit zusammengefasst werden können und explizit diesem formulierten Zwischenziel angehören. Zudem zeigt sich, dass ein visuelles Aufgliedern des Lösungsbeispiels in einzelne Lösungsschritte ohne Beschriftung genauso effektiv ist (CATRAMBONE 1994, 1995) wie das Beschriften. Die von CATRAMBONE vorgestellten

relativ einfach zu realisierenden Methoden zur effektiven Strukturierung von Lösungsbeispielen verbesserten den Lernerfolg und erhöhten die Transferleistung.

3.1.2 Inter-Beispiel Merkmale

Inter-Beispiel Merkmale beschreiben die Kombination von Lösungsbeispielen zu einem bestimmten Lerninhalt innerhalb eines Lernmoduls. Sie werden den indirekten Faktoren zugeordnet und beeinflussen, genauso wie Intra-Beispiel Merkmale, das Lernen mit Lösungsbeispielen. Nach BRUNER (1966) und GLASER (1976) ist die Reihenfolge, mit der Lernmaterialien präsentiert werden, genauso wichtig für den Lernerfolg wie deren Strukturierung. Mit den in der Forschung beschriebenen Methoden der Einflussnahme durch Inter-Beispiel Merkmale werden unterschiedliche Wege beschritten, die jedoch alle darauf abzielen, das Elaborationsverhalten des Lernenden zu optimieren und damit den Lernerfolg zu erhöhen. Es werden in der Literatur überwiegend drei Inter-Beispiel Merkmale diskutiert:

- Anzahl der Lösungsbeispiele
- Variabilität der Lösungsbeispiele nach Problemstruktur und Oberflächenstruktur
- Kombination von Lösungsbeispielen und Übungsbeispielen

Zahlreichen Studien zeigen, dass mehrere von der Oberflächenstruktur leicht unterschiedliche Beispiele gleicher Problemstruktur (isomorphe Beispiele) erforderlich sind, damit Lernende auch komplexe Lerninhalte verstehen können (u.a. GICK & HOLYOAK 1983; SWELLER & COOPER 1985). GICK und HOLYOAK zeigen, dass ein Lösungsprinzip besser verstanden wird und auf neue Problemstellungen angewendet werden kann, wenn die Lernenden zwei isomorphe Beispiele anstatt nur eines Beispiels bearbeitet haben. Dies begründen sie damit, dass bei der Vorgabe von mehreren Beispielen gleicher Problemstruktur der Aufbau von abstrakten Wissensstrukturen (Schemainduktion) unterstützt wird, da durch die Bearbeitung der isomorphen Beispiele problemstrukturbezogene und damit lösungsrelevante Ähnlichkeiten der Lösungsbeispiele hervortreten. Der Lernende extrahiert diese strukturellen Gemeinsamkeiten der isomorphen Lösungsbeispiele und versucht die Ähnlichkeiten in der neuen Problemstellung wieder zu erkennen und anzuwenden. Die erste empirische Studie zur effektiven Anzahl von isomorphen Beispielen wurde von REED und BOLSTAD (1991) zum Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen in der Algebra durchgeführt. Sie verifizierten die Erkenntnis von GICK & HOLYOAK (1983), dass mindestens zwei isomorphe Beispiele unterschiedlicher Komplexität notwendig sind, um den Wissenserwerb zu fördern.

Neben der Anzahl von Lösungsbeispielen beeinflusst auch die Unterschiedlichkeit von Lösungsbeispielen innerhalb eines Lernmoduls die Lern- und Transferleistung. Die Variabilität der Lösungsbeispiele bezieht sich bei gleichem Lerninhalt entweder auf die Unterschiedlichkeit der Problemstruktur (Lösungsprinzip) oder auf die Unterschiedlichkeit der Oberflächenstruktur (inhaltliche Einbettung, Oberflächeninformation).

Unter einer Beispielsequenz mit unterschiedlicher Problemstruktur sind Lösungsbeispiele zu verstehen, die dem gleichen Lerninhalt angehören, jedoch lösungsbezogene Unterschiede im zugrunde liegenden Lösungsprinzip aufweisen. Bei einer oberflächlich unterschiedlichen Beispielsequenz bleibt die zugrunde liegende Problemstruktur der

Lösungsbeispiele gleich, es gibt es keine lösungsbezogenen Unterschiede, wohingegen jedes Lösungsbeispiel eine andere Oberflächenstruktur, in Form der inhaltlichen Einbettung, z.B. Zahlenwerte, Einheiten, chemischen Verbindung, Aufgabentext, etc., aufweist. Im Kontext dieser Studie wird der Lerninhalt Löslichkeit aus der Allgemeinen Chemie ausgewählt, die zu vermittelnden verschiedenen Problemstrukturen innerhalb des Lerninhalts beziehen sich auf Aufgabenstellungen zur Löslichkeit und zu Fällungsreaktionen. Die Variation der Oberflächenmerkmale wird durch unterschiedliche chemische Verbindungen und deren Kenngrößen bzw. Zahlenwerte in der Aufgabenstellung erreicht.

In bisherigen Studien werden im Wesentlichen zwei Arten der Kombination von Lösungsbeispielen diskutiert. Entweder wird der Einfluss von unterschiedlicher Problemstruktur *oder* die Wirkung von verschiedenen Oberflächeninformationen innerhalb einer Sequenz von Lösungsbeispielen untersucht (u.a. QUILICI & MAYER 1996; PAAS & MERRIENBOER 1994). Die Ergebnisse der Experimente weisen je nach Untersuchungsgegenstand, z.B. Transferdistanz, in verschiedene Richtungen und sind keinesfalls zu generalisieren. (THUßBAS & CHOURDAKIS 2002). Eine wichtige Studie in der die Effekte der Beispielvariation systematisch untersucht werden, ist die Untersuchung von QUILICI & MAYER (1996) zum Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen in der Statistik. Die Probanden sollen anhand von Lösungsbeispielen verschiedene Testverfahren (Problemstrukturen) der Statistik erlernen. Dazu wird eine strukturbetonte Beispielsequenz generiert, die mehrere Lösungsbeispiele der gleichen Problemstruktur enthält, die jedoch inhaltlich verschieden eingebettet wurden, d.h. jedes Lösungsbeispiel der Sequenz erhält andere Oberflächenmerkmale. Im Anschluss verwenden QUILICI & MAYER zum Erlernen einer anderen Problemstruktur für die Lösungsbeispiele die gleichen bzw. sehr ähnliche Oberflächenmerkmale. Es zeigt sich, dass die strukturbetonte Beispielsequenz beim Erlernen von statistischen Testverfahren und Ausführen von nahen Transferaufgaben, d.h. Aufgaben mit gleicher Problemstruktur und unterschiedlicher Oberflächenmerkmale im Vergleich zu den präsentierten Lösungsbeispielen, überlegen ist. Offensichtlich gelingt es mit der Abfolge von mehreren Lösungsbeispielen gleicher Problemstruktur, lösungsrelevante prinzipbasierte Merkmale herauszustellen. Es wird die Bildung von abstrakten Wissensstrukturen (Schema-konstruktion) induziert, da es den Lernenden durch diese Lösungsbeispielsequenz gelingt, das relevante Lösungsprinzip unabhängig von den verschiedenen Oberflächenmerkmalen herauszulösen und zu transferieren. Die anschließende Verwendung von gleichen Oberflächenmerkmalen für unterschiedliche Problemstrukturen macht den Lernenden deutlich, dass die inhaltliche Einbettung für das zugrunde liegende Lösungsprinzip irrelevant und keinen Indikator für eine bestimmte Problemstruktur oder Lösungsweg darstellt.

In einer weiteren Studie untersuchen RENKL et al. (1998) die Variabilität von Lösungsbeispielen in Kombination mit Selbsterklärungen. Ein Vorteil von strukturell ähnlichen und oberflächlich unterschiedlichen Lösungsbeispielen kann nicht nachgewiesen werden. Bei diesem Befund darf jedoch der Einfluss der Selbsterklärung auf das Lernen und die Transferleistung nicht vernachlässigt werden.

Neben Beispielsequenzen, die sich strukturell oder oberflächlich ähneln, werden in einigen Studien auch Abfolgen untersucht, in denen die Unterschiede zwischen den

präsentierten Lösungsbeispielen hinsichtlich Problemstruktur und inhaltlicher Einbettung möglichst groß waren. Exemplarisch fanden GICK und HOLYOAK (1983) keine Unterschiede beim Einsatz von sehr ähnlichen und extrem verschiedenen Lösungsbeispielen. Im Gegensatz dazu steht die Untersuchung von PAAS und VAN MERRIENBOËR (1994), die bei der Verwendung von sehr unterschiedlichen Lösungsbeispielen im Unterschied zu gleichförmigen Lösungsbeispielen eine höhere Transferleistung feststellen. Aufgrund der Divergenz der Befunde wird deutlich, dass zur Variabilität von Beispielen keine generelle Empfehlung ausgesprochen werden kann.

CHI et al. (1989) stellen in ihrer Studie u.a. fest, dass viele Lernende sich beim Problemlösen stark an vorher präsentierten Lösungsbeispielen orientieren. Als Konsequenz werden sowohl in Lernsituationen als auch bei experimentellen Designs von Untersuchungen Lösungsbeispiele und Übungsbeispiele kombiniert (u.a. WARD & SWELLER 1990). TRAFTON und REISER untersuchen beispielsweise die unterschiedliche Wirkung von paarweise alternierenden (Lösungsbeispiel1-Übungsbeispiel1, Lösungsbeispiel2-Übungsbeispiel2, etc.) oder blockweise angeordneten Lösungs- und Übungsbeispielen (Lösungsbeispiel1- Lösungsbeispiel2-etc., Übungsbeispiel1-Übungsbeispiel2 etc.) hinsichtlich der nahen Transferleistung. Sie stellen fest, dass Lernende, welche die alternierende Beispielführung bearbeiten, für die nahen Transferaufgaben im Post-Test weniger Zeit brauchen und mehr richtige Lösungen generieren als Probanden mit der blockweisen Lösungs-Übungsbeispielkombination. TRAFTON und REISER gehen davon aus, dass beim Lösen der Übungs- bzw. Transferaufgaben die vorher präsentierten Lösungsbeispiele im Arbeitsgedächtnis präsent sein müssen, dies scheint die alternierende Beispielführung besser zu unterstützen als die blockweise Anordnung von Lösungs- und Übungsbeispielen (ATKINSON et al. 2000).

3.2 Einfluss von Selbsterklärung auf das Lernen mit Lösungsbeispielen

Neben den indirekten Faktoren, die im vorherigen Kapitel erläutert und diskutiert werden, wird der Wissenserwerb beim Lernen mit Lösungsbeispielen auch durch *direkte Faktoren* beeinflusst. Zu diesen Faktoren zählen Maßnahmen, die einen unmittelbaren Einfluss auf das Elaborationsverhalten des Lernenden während des Beispielstudiums haben. Ziel dieser Maßnahmen ist es, analog den indirekten Faktoren, suboptimales Elaborationsverhalten zu verbessern. Durch das Generieren von Selbsterklärungen soll die Elaborationsaktivität und -intensität während der Lernphase erhöht werden. Im ersten Abschnitt wird die Bedeutung der Selbsterklärung beim Lernen mit Lösungsbeispielen dargestellt. Im zweiten Abschnitt werden Möglichkeiten der Erhöhung der Selbsterklärungsaktivität, die im Kontext des Lernens mit Lösungsbeispielen wesentlich sind, diskutiert. Die dargestellten Aspekte sind zum einen explizites Training der Methode und zum anderen Berücksichtigung der sozialen Motivation.

3.2.1 Selbsterklärung von Lösungsbeispielen und Lernerfolg

Für das Verständnis der Lösungsrationale, die sich hinter dem Lösungsbeispiel verbirgt, ist es essentiell für den Lernenden, sich intensiv mit den einzelnen präsentierten Lösungsschritten auseinander zu setzen. Mit selbst generierten Erklärungen soll der

Lernende sich verdeutlichen, welches Ziel mit einem präsentierten Lösungsschritt erreicht werden soll und auf welchem Prinzip oder Gesetz eine dargestellte Operation basiert.

CHI et al. (1989) zeigen anhand von physikalischen Lösungsbeispielen zum Thema Mechanik, dass das Ausmaß in welchem ein Lernender von Lösungsbeispielen profitiert sehr stark davon abhängt, wie gut er sich die einzelnen Operationen und damit die Lösungsrationale des präsentierten Lösungsbeispiels selbst verdeutlicht. Die Autoren bezeichnen dies als „Selbsterklärungseffekt“. Die Selbsterklärungen werden durch die Methode des lauten Denkens erhoben. Die gut Lernenden unterscheiden sich dabei von den schlecht Lernenden durch folgende vier wesentlichen Selbsterklärungsmerkmale. Im Gegensatz zu den schlecht Lehrenden verwenden die gut Lehrenden während des Beispielstudiums mehr Zeit für die Selbsterklärungen. Sie benutzen in ihren selbstgenerierten Erklärungen regelmäßig prinzipbasierte Erklärungen. Aufgrund von kontinuierlicher, kritischer Selbstkontrolle während der Elaborationsphase zeigen sie weniger Verständnisillusionen. Außerdem benutzen sie während des nachfolgenden Problemlösens weniger häufig die vorangegangenen Lösungsbeispiele als Referenzen zur Lösung der aktuellen Problemstellung. PIROLI und RECKER (1994) bestätigen mit ihrer Studie auf dem Gebiet der Programmierung die Erkenntnisse von CHI et al. (1989). Nachteilig bei der wichtigen Studie über den Selbsterklärungseffekt von CHI (1989) ist, dass sowohl die Lernzeit als auch die Qualität der Selbsterklärungen von gut zu schlecht Lehrenden variiert.

RENKL (1997a) fixiert daraufhin in seiner Studie, die Lernzeit um die Selbsterklärungseffekte bzw. Selbsterklärungsqualität unabhängig von der Lernzeit untersuchen zu können. Dabei zeigt sich, dass der Lernerfolg stark von der Qualität der Selbsterklärungen abhängig ist. Die Effektivität von Selbsterklärungen ist direkt abhängig davon, wie oft die Lernenden versuchen, sich die zugrunde liegende Problemstruktur des Lösungsbeispiels selbst zu erklären. RENKL identifiziert ebenfalls vier Unterscheidungskriterien zwischen guten und schlechteren Lernenden. Erfolgreich Lernende versuchen häufiger das dem Lösungsschritt zugrunde liegende Prinzip zu identifizieren (prinzipbasiertes Erklären). Sie erklären sich, welche Ziele oder Zwischenziele beim Lösen des Lösungsbeispiels erreicht werden sollen und mit welchen Operationen diese erreicht werden können (Explizieren von Ziel-Operator-Kombinationen). Sie versuchen, den nächsten Lösungsschritt zu erschließen, anstatt ihn direkt nachzulesen (antizipatorisches Erschließen). Die weniger erfolgreich Lernenden signalisieren häufiger Verständnisprobleme und scheinen sich ihres geringen Lernfortschritts bewusst zu sein (metakognitives Beobachten).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von CHI weisen in der Studie von RENKL erfolgreich Lernende nicht alle die von CHI postulierten positiven Selbsterklärungsmerkmale auf. Gut Lernende zeigen stattdessen durchwegs meist nur *ein* positives Selbsterklärungsmerkmal, z.B. häufige Anwendung von prinzipbasierten Erklärungen, aber beispielsweise keine kritische Selbstbeobachtung während des Beispielstudiums. RENKL stellte damit fest, dass gut Lernende nicht alle Selbsterklärungsvarianten aufweisen müssen, um Lernerfolg zu erzielen. Er identifiziert in der gleichen Studie unter den Lernern vier verschiedene Selbsterklärungstypen. Die erfolgreich Lernenden

gliedern sich in so genannte prinzipbasierte Erklärer und antizipatorische Schlußfolgerer. Prinzipbasierte Erklärer konzentrieren sich bei ihren Selbsterklärungen auf die Zuweisung der Bedeutungen einer Operation zum einzelnen Lösungsschritt. Dabei verwenden sie sowohl prinzipbasierte Erklärungen als auch Ziel-Operator-Kombinationen. Sie verzichten auf das antizipatorische Erschließen des nächsten Lösungsschrittes. Antizipatorische Schlußfolgerer dagegen formulieren selten prinzipbasierte Erklärungen oder führen Ziel-Operator-Kombinationen aus, sondern konzentrieren sich ganz auf das gedankliche Erschließen des folgenden Lösungsschrittes. Den geringsten Lernerfolg zeigen die so genannten passiven Erklärer, die kaum Selbsterklärungen formulieren. Mit mäßigem Erfolg lernen die so genannten oberflächlichen Erklärer, die nur sehr wenig Zeit in jedes Lösungsbeispiel investieren. Außerdem äußert diese Gruppe verstärkt Verständnisprobleme, was auch bei den weniger erfolgreichen Lernern in der Studie von CHI der Fall war.

Bei der Diskussion von Ergebnissen der zitierten Studien muss darauf hingewiesen werden, dass die meisten Lernenden geringe Selbsterklärungsaktivitäten zeigen, dürftige verbale Protokolle liefern und den wenig erfolgreichen Lernergruppen zugeordnet werden müssen. In den Studien werden die Selbsterklärungen der Lernenden durch die Methode des lauten Denkens erfasst und videografisch dokumentiert. Es sollte bedacht werden, dass die geringe Selbsterklärungsaktivität zum Teil auch an der für die meisten Lernenden ungewöhnlichen Methode des lauten Denkens liegen könnte. Außerdem ist davon auszugehen, dass die verbalen Formulierungen der Gedankengänge bei anspruchsvollen Lerninhalten einen nicht unerheblichen Teil des Arbeitsgedächtnisses beanspruchen, der nicht mehr dem eigentlichen Verstehensprozess zur Verfügung steht. Trotzdem ist die Bedeutung der Selbsterklärung auf den Lernerfolg beim Lernen mit Lösungsbeispielen unumstritten, wie die Lernleistungen der aktiven Selbsterklärer zeigen. Aufgrund dessen ist es essentiell, bei den Lösungsbeispielen instruktionale Eingriffe vorzunehmen, um die Selbsterklärungsaktivität und damit die Elaborationsintensität der Lernenden während des Lösungsbeispielstudiums zu erhöhen und damit den Lernerfolg zu steigern.

3.2.2 Möglichkeiten zur Erhöhung der Selbsterklärungsaktivität

Explizites Training

Wie das vorangehende Kapitel zeigt, gibt es im Wesentlichen zwei effektive Möglichkeiten die Selbsterklärungsaktivität und damit den Lernerfolg zu steigern. Diese sind zum einen das Forcieren des prinzipbasierten Erklärens in Form von Explizieren von Ziel-Operator-Kombinationen und zum anderen das Fördern von antizipatorischem Schließen. Dies gelingt durch direkte und indirekte Eingriffe in das Beispielstudium (RENKL 2002). Als indirekte Eingriffe oder Faktoren gelten Maßnahmen, die mit dem Lernenden nicht explizit trainiert werden, insbesondere gezielte Manipulationen an der Struktur und Gestaltung des Lernmaterials sowie das Lösungsbeispiel begleitende instruktionale Erklärungen. Instruktionale Erklärungen und die Gestaltung von Lösungsbeispielen werden als indirekten Maßnahmen in separaten Kapiteln (Kapitel 3.1 und Kapitel 3.3) ausführlich vorgestellt.

Als eine direkte Maßnahme zur Steigerung der Selbsterklärungsaktivität gilt ein gezieltes Training der Lernenden zur Bedeutung und Durchführung von Selbsterklärungen für das Beispielstudium. Es existieren verschiedene Studien zur Trainierbarkeit von Selbsterklärungen, die im Zusammenhang mit Lösungsbeispielen durchgeführt wurden. Eine bedeutende Studie wird von BIELACZYC, PIROLI und BROWN (1995) auf dem Gebiet der Programmierung durchgeführt. Die Experimentalgruppe wird explizit trainiert hinsichtlich der Bedeutung und der Anwendung der Selbsterklärung. Die Kontrollgruppe erhält ebenfalls eine Einführung zur Selbsterklärung, jedoch bleibt diese Intervention implizit, d.h. die Probanden der Kontrollgruppe erhalten kein ausdrücklich deklariertes Selbsterklärungstraining. Gemessen an der Lernleistung im Programmieren erweist sich das explizite Training der Experimentalgruppe weitaus effektiver als die implizite Intervention bei der Kontrollgruppe.

RENKL, STARK, GRUBER und MANDL (1998) führen eine Studie durch, die den empirischen Beweis der Trainierbarkeit von Selbsterklärung liefern soll. Durch ein kurzes Selbsterklärungstraining sollte beim Lernenden vor allem eine Zunahme von Ziel-Operator-Kombinationen und damit ein Lernerfolg erreicht werden. Die Lernenden der Experimentalgruppe werden über die Bedeutung von Selbsterklärungen beim Beispielstudium unterrichtet. Ihnen wird anhand eines Modellbeispiels gezeigt, wie Selbsterklärungen formuliert werden sollen. Abschließend sollen sie sich ein Lösungsbeispiel selbst erklären, dabei können sie die Unterstützung eines Trainers in Anspruch nehmen. Die Kontrollgruppe erhielt lediglich eine Einführung in die Methode des lauten Denkens ohne Hinweise auf deren Bedeutung für die Selbsterklärung. Die Trainingsintervention hatte einen sehr starken Effekt auf die Selbsterklärungsaktivität und den Lernerfolg. Bei der Diskussion der Resultate sollte trotzdem bedacht werden, dass die Methode des lauten Denkens für einige der Lernenden trotz Training ungewöhnlich bleiben wird. Gegebenenfalls könnte bereits die Formulierung der Selbsterklärung in schriftlicher Form eine Aktivitätssteigerung bewirken, dazu gibt es jedoch bisher keinen empirischen Beleg.

Soziale Motivation

Aufgrund des Ergebnisses von RENKL (1997a), dass die meisten Probanden passive oder oberflächliche Lerner sind, werden Maßnahmen gesucht, deren Selbsterklärungsaktivität anzuregen. Durch Anregen von Kommunikation soll ein Austausch an Information und eine Diskussion zwischen den Lernenden über das Lösungsbeispiel, z.B. über die Zwischenziele oder mögliche Gesetzmäßigkeiten erreicht werden. Diese gesteigerte Erklärungsaktivität soll das Verständnis für den Lerninhalt und damit die Lernleistung erhöhen.

Eine Möglichkeit der Einführung von Kommunikation besteht darin, dass ein Lernender die Aufgabe des Lehrers oder Tutors übernimmt, der dem anderen die Lösung erklärt. RENKL (u.a. 1997b) untersucht dies, indem er an Studierende die Rolle des Lehrers überträgt. Er erhofft sich durch diese Rollenzuweisung, dass sich der Student in der Lehrerfunktion das Lösungsbeispiel zunächst ausführlich selbst erklärt, um die Erwartungen seines Gegenübers an seine nachfolgende Lehrtätigkeit besser erfüllen zu können. Entgegen den Vermutungen bewirkt diese Erwartungshaltung an die

Lehrtätigkeit des Studierenden keine Verbesserung der Lernleistung, sondern im Gegenteil, das Lernen wird erschwert, da die Lehrsituation den Probanden offenbar überfordert und stresst.

Weiterhin wird von RENKL (1996, 1997b) untersucht, welchen Effekt das Generieren von Erklärungen für so genannte Co-Lerner auf den Lernerfolg des Erklärs hat. Nach einer individuellen Lernphase wird in Zweiergruppen gearbeitet, wobei ein Proband aus der Experimentalgruppe das Lösungsbeispiel einem Partner aus der Kontrollgruppe erklären soll. Diese Methode führt zu einer Steigerung der Selbsterklärungsaktivität, jedoch nicht zu einer Erhöhung des Lernerfolgs. Interessant dabei ist, dass die Lernleistungen der zuhörenden Partner im Allgemeinen höher ist als die der Erklärer.

Außerdem versucht RENKL (1997c, 1997b) den Einfluss von anspruchsvollen Fragen der Co-Lerner an den Erklärer in Bezug auf die Selbsterklärungsaktivität und den Lernerfolg zu klären. Er stellt fest, dass mit dieser Methode die Erklärungsaktivität und Lernleistung vor allem von gering motivierten Lernenden auf ein durchschnittliches Niveau erhöht werden können.

Der geringe Erfolg der Methode Lernen durch Lehren bei Lösungsbeispielen lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass Lernen mit Lösungsbeispielen überwiegend bei Novizen angewendet wird, die über ein geringes Vorwissen zu dem jeweiligen Lerninhalt verfügen. Dadurch wird es für sie schwierig, relevante Informationen zu identifizieren und schlüssige Erklärungen für andere Lerner zu generieren und zu kommunizieren. Dies baut eine Stresssituation auf und führt zu einer kognitiven Überlastung der meisten Erklärer oder Lehrer. Außerdem ist davon auszugehen, dass die von Novizen selbstgenerierten Erklärungen qualitativ eher gering zu werten sind, was dem Lernerfolg sowohl des Co-Lerners als auch des Erklärs abträglich ist. Zudem sind die meisten Studierenden nicht vertraut mit der aktiven Rolle des Lehrers oder Tutors, da die meisten bisher vermutlich nur passiver Teil einer Lehrer-Schüler-Interaktion waren. Im Falle des Wissenserwerbs mit Lösungsbeispielen bringt die auf vielen Gebieten der pädagogischen Lehr- und Lernforschung als positiv bewertete Gruppenarbeit nicht den erwarteten Erfolg.

Dennoch scheint der positive Aspekt der Kommunikation bei der Formulierung von Selbsterklärungen nicht völlig vernachlässigbar. Einen interessanten Ansatz zur Förderung von Kommunikation könnte hierbei eine computerunterstützte Lernumgebung bieten. Der Computer übernimmt sozusagen die Rolle des Kommunikationspartners und „Zuhörers“, jedoch geschieht dies mit einer deutlich geringeren Erwartungshaltung und damit mit niedriger Stressbelastung für den Erklärer. In der computerunterstützten Lernumgebung kann der Studierende zudem individuell die Lerngeschwindigkeit bestimmen und sich mit Sachverhalte gegebenenfalls intensiver auseinandersetzen. Damit könnte eine computerunterstützte Lernumgebung den Stressfaktor herabsetzen und in einem begrenzten Maße eine kognitive Entlastung des Lernenden bringen.

3.3 Einfluss von instruktionalen Erklärungen auf das Lernen mit Lösungsbeispielen

Zur Diskussion der Effekte von instruktionalen Erklärungen auf das Lernen mit Lösungsbeispielen ist zu klären, was im Zusammenhang mit Lösungsbeispielen unter

Erklärung zu verstehen ist. RENKL (2002) unterscheidet dabei zwischen „echten Erklärungen“, auch als „zusätzliche Erklärungen“ bezeichnet, die sowohl die anzuwendenden Gesetzmäßigkeiten beinhalten als auch den Bezug zwischen der Gesetzmäßigkeit und dem aktuellen Beispiel herstellen. Die so genannten „minimalistische Erklärungen“ dagegen enthalten lediglich die anzuwendenden Gesetzmäßigkeiten verzichten jedoch auf die inhaltlichen Bezüge zum Lösungsbeispiel. Die Festlegung dieser Erklärungstypen weicht von naturwissenschaftlichen und pädagogischen Erklärungen ab, aus diesem Grund gelten die im Anschluss diskutierten Ergebnisse nicht generell für alle Erklärungen. Die im Rahmen dieser Studie entwickelten instruktionalen Erklärungen basieren im Wesentlichen auf den Definitionen nach RENKL (2002).

Aus der Diskussion über Selbsterklärungen wird deutlich, dass die verschiedenen direkten und indirekten Maßnahmen den Lernerfolg und die Selbsterklärungsaktivität in einem gewissen Maße steigern können, jedoch auf die Qualität der Selbsterklärungen nur begrenzt Einfluss haben. Dies trifft auf den größten Teil der Probanden zu, der sich überwiegend aus passiven und oberflächlichen Selbsterklärern zusammensetzt, die hauptsächlich an falschen Selbsterklärungen und Verstehensproblemen, die sie alleine nicht lösen können, scheitern. Diese Verstehensschwierigkeiten können ohne externe Hilfestellungen nicht überwunden werden, was den Einsatz von instruktionalen Erklärungen als unterstützende Maßnahme nahe legt. RENKL (2001) entwickelte für die effektive Konstruktion von instruktionalen Erklärungen das so genannte SEASITE-Modell (**s**elf-**e**xplanation **a**ctivity **s**upported by **i**nstructional **e**xplanations), das die Vorteile von Selbsterklärung und instruktionaler Erklärung zu kombinieren versucht. Er postuliert darin Prinzipien für lösungsbeispielbasierte Lernumgebungen, die neben generellen Angaben zur deren Gestaltung auch vier konkrete Vorschläge zum Einsatz und zur Gestaltung von instruktionalen Erklärungen enthalten.

- a) *Lernerabruf*: Der Lernende soll seine Erklärungen selbständig abrufen können, damit er nicht mit unnötiger Information überlastet wird. Außerdem gewährleistet ein selbst bestimmter Abruf der Erklärung, dass dieser optional zum richtigen Zeitpunkt dem Lernenden präsentiert wird, und nur dann, wenn er der Auffassung ist, die Information zum Verstehen des Lösungsbeispiels zu brauchen.
- b) *Minimalismus*: Erklärungen, die zu lang, redundant oder zu aufwendig im Abruf sind, werden oftmals von den Lernenden ignoriert. Um dies zu vermeiden, ist es sinnvoll, die Erklärungen möglichst kurz und prägnant zu halten.
- c) *Progressive Hilfe*: Da das Vorwissen der Lernenden sehr unterschiedlich ist, können die minimalistischen Erklärungen für manche zu knapp formuliert sein. Erklärungen sollten dem Vorwissen angepasst werden können. Dies gelingt dadurch, dass zu den minimalistischen Erklärungen weitere ausführlichere Zusatzerklärungen abgerufen werden können. Diese sollten jedoch immer noch knapp gehalten werden und bei Bedarf schrittweise abrufbar sein. Diese schrittweisen Erklärungen führen zunächst nur zu einer vordergründigen Vorwissensanpassung. Effektiver wäre eine Individualisierung der Zusatzerklärungen für den einzelnen Lernenden, was kaum oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand realisiert werden kann.

- d) *Prinzipbasierte Erklärungen*: Die Erklärungen sollen so formuliert werden, dass sie das Erfassen des zugrunde liegenden Prinzips des Lösungsbeispiels ermöglichen. Sie sollen das Verstehen der Lösungsrationalen unterstützen, so dass diese sowohl auf Aufgaben mit ähnlicher (naher Transfer) als auch verschiedener Problemstruktur (weiter Transfer) angewendet werden können.

RENKL (2001) gibt mit seinem SEASITE-Modell die generelle Empfehlung bei der Gestaltung von lösungsbeispielbasierten Lernumgebungen soviel Selbsterklärungsaktivität wie möglich herauszufordern und nur soviel instruktionale Erklärungen anzubieten, wie notwendig sind. Instruktionale Erklärungen sollen demnach nur angeboten werden, wenn die Lernenden Verständnisschwierigkeiten haben oder sie von der Richtigkeit ihrer Selbsterklärung nicht überzeugt sind.

Basierend auf dem SEASITE-Modell führt RENKL (2002) eine Studie durch, bei der die Effekte von instruktionalen Erklärungen auf Lern- und Transferleistung untersucht werden. Es kommt eine computerbasierte Lernumgebung zum Einsatz in der Lösungsbeispiele zur Wahrscheinlichkeitsrechnung präsentiert werden. Die einzelnen Lösungsschritte zu dem jeweiligen Lösungsbeispiel waren auf vier bis fünf separaten Bildschirmseiten nacheinander abrufbar. Nach einer Sequenz, von vier Beispielen mit unterschiedlicher Problemstruktur zu gleichem Lerninhalt, werden die Lernenden aufgefordert ein Übungsbeispiel zu absolvieren. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe hat die Experimentalgruppe die Möglichkeit nach Bedarf und Wunsch, zu den Lösungsschritten prinzipbasierte minimalistische Erklärungen abzurufen. Bei nicht ausreichender Information werden zu der prinzipbasierten Erklärung nachfolgend noch zusätzliche ausführlichere Erklärungen angeboten. Die minimalistischen und die zusätzlichen Erklärungen werden jeweils separat zum aktuellen Lösungsschritt auf einer neuen Bildschirmseite präsentiert. Die Bearbeitungszeit für die Lösungsbeispiele ist für alle Probanden konstant, kann aber individuell für die einzelnen Lösungsbeispiele verwendet werden. Hinsichtlich des Einflusses von instruktionalen Erklärungen zeigt sich, dass die optional angebotenen instruktionalen Erklärungen insgesamt nur dürftig genutzt werden. Hauptsächlich Lernende mit geringem themenspezifischen Vorwissen nutzen das Angebot der Hilfen. Es zeigte sich ein positiver Effekt der instruktionalen Erklärungen auf die weite Transferleistung. RENKL identifizierte zwei Gruppen, welche die instruktionalen Erklärungen kaum nutzten, zum einen Lernende mit hohem Vorwissen, zum anderen Lernende mit durchschnittlichem Vorwissen. Aufgrund des hohen Vorwissens scheint die erste Gruppe instruktionale Erklärungen nicht zu benötigen, während es sich für die andere Gruppe offensichtlich nachteilig auswirkt, dass sie die Hilfen nicht beanspruchen. Bei den häufigen Nutzern der instruktionalen Erklärungen können ebenfalls zwei Gruppen unterschieden werden. Beiden Gruppen gemeinsam ist ihr geringes Vorwissen. Eine Gruppe greift sowohl auf die minimalistischen, als auch auf die zusätzlichen ausführlichen Erklärungen zu, was einen positiven Effekt bewirkt. Die zweite Gruppe nutzt nur die minimalistischen Erklärungen und profitiert nur mäßig. RENKL identifiziert mit dem Einsatz von instruktionalen Erklärungen, die basierend auf dem SEASITE-Modell konzipiert wurden, positive Effekte. Die festgestellten Effekte über alle Gruppen sind jedoch „far from being satisfying“ (RENKL 2002, S.554). Aus den Ergebnissen resultieren erste Verbesserungsvorschläge, hinsichtlich des Designs und des Einsatzes

von instruktionalen Erklärungen. Demnach soll vor allem die Häufigkeit der Nutzung von instruktionalen Erklärungen erhöht und die Qualität der instruktionalen Erklärungen verbessert werden.

Diese allgemeinen Empfehlungen können konkretisiert werden, wenn die Zusammenhänge zwischen kognitiven Lernvoraussetzungen (Vorwissen), Effektivität von instruktionalen Erklärungen und Lernerfolg evident sind. Um mehr über die tatsächliche Effektivität von instruktionalen Erklärungen zu erfahren, reicht vermutlich eine optionale Nutzung der Erklärungen nicht aus. Vielmehr sollte eine obligatorische Nutzung der instruktionalen Erklärungen für alle Probanden angestrebt werden. Erst wenn alle Probanden mit unterschiedlichem Vorwissen oder divergierenden kognitiven Fähigkeiten die instruktionalen Erklärungen nutzen (müssen), kann eine differenzierte Betrachtung hinsichtlich Lernerfolg und Transferleistung vorgenommen werden.

Zur Verminderung der kognitiven Belastung durch die mehrschrittigen Erklärungen erscheint es sinnvoll, die minimalistischen prinzipbasierten Erklärungen und die zusätzlichen Erklärungen zusammenzufassen. Die kombinierten Erklärungen sollten immer noch prinziporientiert sein und knapp gehalten werden, jedoch einen direkten Bezug zum präsentierten Beispiel herstellen, z.B. indem die relevanten Zahlen und Verbindungen des aktuellen Lösungsbeispiels in das Prinzip oder Gesetz eingesetzt werden. Auch Pfeile zwischen der Erklärung und des aktuellen Lösungsschritts könnten den Zusammenhang verdeutlichen (RENKL 2002). Die kombinierte Erklärung sollte in jedem Fall auf der gleichen Bildschirmseite wie die Lösungsschritte integriert werden und gleichzeitig mit dem zugehörigen Lösungsschritt oder besser mit allen bereits aufgerufenen Lösungsschritten des Lösungsbeispiels sichtbar sein. Somit wird die Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen den einzelnen Bildschirmseiten vermieden und die kognitive Belastung des Lernenden verringert. Es wird eine Art integriertes Erklärungsformat in Anlehnung an das integrierte Format beim Lösungsbeispieldesign (SWELLER & WARD 1990) kreiert.

Für die Untersuchung der Effekte von instruktionalen Erklärungen in Kombination mit Selbsterklärungen auf Lern- und Transferleistung beim Lernen mit Lösungsbeispielen wird meist auf stark strukturierte überwiegend mathematisch formale Lerninhalte verschiedener Fachgebiete zurückgegriffen. Eine Ausnahme dazu stellt die Studie von SCHWORM und RENKL (2002) dar. Darin wird u.a. der Lernerfolg mit einer Lernumgebung untersucht, die für das Beispielstudium eine Kombination von Selbsterklärung und instruktionalen Erklärungen vorsieht. Es werden keine klassischen Lösungsbeispiele mit einzelnen Lösungsschritten verwendet, sondern „gelöste Beispielaufgaben“, d. h. das gesamte Lösungsbeispiel erscheint komplett ausformuliert auf dem Bildschirm. Der inhaltliche Fokus liegt bei der Studie nicht auf der Vermittlung von fachlich-physikalischen Lerninhalten sondern hat einen „nicht-mathematisierten“ Schwerpunkt, d.h. die Lernenden werden aufgefordert zwischen „gut“ und „schlecht“ gestalteten Lösungsbeispielen zur erfolgreichen Vermittlung eines physikalischen Sachverhalts zu unterscheiden. Dabei sollen sie in Selbsterklärungsfelder schriftlich begründen, warum das Lösungsbeispiel ihrer Meinung nach geeignet oder ungeeignet ist. Bei Bedarf können sie instruktionale Erklärungen abrufen, welche die korrekte Antwort zur Eignung des Lösungsbeispiels enthalten. Die instruktionalen Erklärungen werden nach Erkenntnissen aus der Multimedia-Forschung z.B. von MAYER (1997) aus

Nachhaltigkeitsgründen auch akustisch dargeboten und können auf Wunsch auch schriftlich abgerufen werden. Ein wichtiges Ergebnis dieser Studie ist, dass instruktionale Erklärungen in Kombination mit Selbsterklärungen für den Lernerfolg beim Lernen aus Lösungsbeispielen, bei denen die Vermittlung eines fachlich mathematischen Lerninhalts nicht im Vordergrund steht, eher abträglich sind. RENKL sieht den Grund in der durch die instruktionalen Erklärungen verringerten Selbsterklärungsaktivität.

Aus den Ergebnissen der dargestellten Studien wird deutlich, dass sich für den Einsatz von instruktionalen Erklärungen keine generelle Empfehlung aussprechen lässt. Vielmehr ergeben sich neue interessante Fragestellungen. Beispielsweise ob der lernabträgliche Effekt der Kombination von Selbsterklärung und instruktionaler Erklärung auch für andere Fachgebiete gilt oder ob eine obligatorische Nutzung der instruktionalen Erklärungen einen positiven Erfolg haben könnte. Außerdem scheint, wie bereits diskutiert, die Kombination von minimalistischen Erklärungen und zusätzlichen Erklärungen, die nicht in das Lösungsbeispiel integriert sind, sondern separat abzurufen sind, den Lernenden zu überlasten (split-attention-effect). Demnach sollte der Fragestellung nachgegangen werden, ob kurz gehaltene prinzipbasierte Erklärungen, die jedoch die Bezüge zum Lösungsbeispiel herstellen, *und* die in das Lösungsbeispiel integriert sind, einen positiven Effekt auf das Lernen mit Lösungsbeispielen haben. Dabei könnten für jeden Lösungsschritt die Selbsterklärungen auch schriftlich eingefordert werden und nachfolgend die obligatorischen integrierten Erklärungen als Rückmeldefunktion zur generierten Selbsterklärung dienen.

3.4 Zusammenfassung

Um eine Beeinträchtigung der Lernleistung durch kognitive Überlastung des Lernenden zu vermeiden, sollten beim Design des Lösungsbeispiels die verschiedenen Informationsquellen, z.B. Text, Diagramm, Tabelle etc., zu einem *integrierten Format* zusammengefasst werden. Durch das *Beschriften* oder das *visuelle Auftrennen einzelner Lösungsschritte* in separate Zeilen werden Zwischenziele expliziert und das zugrunde liegende Lösungsprinzip hervorgehoben. Mit diesen einfachen Gestaltungselementen zur instruktionalen Unterstützung des Lösungsbeispiels gelingt es, den Lernerfolg zu steigern und die Transferleistung zu verbessern.

Die „richtige“ Kombination von Lösungsbeispielen liefert einen entscheidenden Beitrag zum erfolgreichen Einsatz dieser Lernmethode. Die Lern- und Transferleistung wird deutlich verbessert, wenn die *Anzahl der Lösungsbeispiele pro gleicher Problemstruktur* bei mindestens zwei liegt. Keine eindeutige Aussage lässt sich über den Effekt der *Unterschiedlichkeit von Lösungsbeispielen* innerhalb einer Beispielsequenz machen. Es existieren dazu Befunde, die in entgegengesetzte Richtungen weisen und keine Generalisierung zulassen. Für diese Studie werden die Erkenntnisse von QUILICI & MAYER (1996) berücksichtigt, da diese Ergebnisse auf einer systematischen empirischen Untersuchung der Beispielunterschiede beruhen. Positive Lern- und Transfereffekte lassen sich mit strukturbetonen Beispielsequenzen nachweisen, dazu werden mehrere Beispiele des gleichen Problemtyps mit unterschiedlichen Oberflächeninformationen kombiniert. Die gleichen oder sehr ähnliche Oberflächen-

merkmale werden ebenfalls für die anderen zu vermittelnden Problemstrukturen verwendet.

Eine *alternierende Anordnung* von *Lösungsbeispiel* und *Übungsbeispiel* verbessert im Gegensatz zu deren blockweisen Abfolge die Transferleistung. Außerdem erhält der Lernende mit dem Bearbeiten des Übungsbeispiels sofort Rückmeldung, ob er die vorangestellten Lösungsbeispiele ausreichend intensiv elaboriert hat und ähnliche Problemstellungen lösen kann.

Selbsterklärungen gelten als direkte Maßnahme zur Förderung des Lernens mit Lösungsbeispielen. Eine hohe Selbsterklärungsaktivität und hohe Selbsterklärungsqualität können den Lernerfolg positiv beeinflussen. Aus diesem Grund soll die Selbsterklärungsaktivität der Lernenden während des Beispielstudiums möglichst hoch gehalten werden. Eine gesteigerte Selbsterklärungsaktivität schlägt sich in einem höheren Lernerfolg nieder. Es werden im Wesentlichen vier Selbsterklärungstypen unterschieden. Prinzipbasierte Erklärer und antizipatorische Schlußfolgerer zeichnen sich durch hohe Selbsterklärungsaktivität aus und gehören zu den erfolgreich Lernenden. Passiv und oberflächlich Lernende generierten kaum Selbsterklärungen und zeigen schlechte Lernleistung. Alle diskutierten Studien bewertend, stellen die passiven und oberflächlichen Lerner den größten Anteil. Ziel bei allen Selbsterklärungstypen ist es, die Selbsterklärungsaktivität der Lernenden zu steigern. Ein explizites Training der Selbsterklärung bei der sowohl auf deren Bedeutung hingewiesen als auch deren Anwendung verdeutlicht wird, kann sich lernförderlich auswirken. Der Versuch, die soziale Motivation in Form von Gruppenarbeit zur Förderung der Kommunikation und damit der Selbsterklärungsaktivität einzusetzen, erweist sich als wenig erfolgreich. Durch den Ansatz Lernen durch Lehren kann die Kommunikation der Lernenden untereinander und damit auch die Selbsterklärungsaktivität angeregt werden. Sowohl die Rollenzuweisung Lehrer-Lernender als auch die Einteilung Erklärer-Co-Lerner erhöhen die Selbsterklärungsaktivität aber nicht den Lernerfolg. Anspruchsvolle Fragen des Co-Lerners an den Erklärer erhöhen die Selbsterklärungsaktivität und den Lernerfolg nur geringfügig. Der geringe Erfolg der Gruppenarbeit bei den verschiedenen Arten des gegenseitigen Erklärens wird vor allem auf das fehlende Vorwissen zum Lerninhalt und die daraus resultierende geringe Qualität der Selbsterklärung, sowie auf die mangelnde Lehrerfahrung bei der Rollenverteilung der Probanden zurückgeführt.

Instruktionale Erklärungen sind externe Hilfestellungen, die beim Lösungsbeispielstudium Verstehensprobleme überwinden und falsche Selbsterklärungen korrigieren helfen können. Sie sollen in ihrer Ausführung möglichst kurz, prinzipbasiert und nicht redundant formuliert werden, damit die Lernenden sie nutzen können ohne kognitiv überlastet zu werden. Die Ergebnisse über die Effektivität von instruktionalen Erklärungen aus der Lehr- und Lernforschung lassen sich wie folgt zusammenfassen: „Instruktionale Erklärungen können, müssen aber das Lernen nicht unterstützen“. (RENKL & SCHWORM 2002, S. 262).

Instruktionale Erklärungen haben neben positiven Aspekten auch Nachteile im Vergleich zu Selbsterklärungen (siehe Tabelle 3-1). Instruktionale Erklärungen können nicht oder nur mit großem Aufwand dem individuellen Vorwissen des Lernenden angepasst werden. Selbsterklärungen hingegen sind selbst generiert und damit zwangsläufig dem

jeweilige Vorwissen adaptiert. Durch kontinuierliche Anwendung oder Wiederholung stellt sich ein Lerneffekt ein. Demnach profitieren Lernende nur dann von instruktionalen Erklärungen, wenn sie kontinuierlich in das Beispielstudiums eingebunden werden. Da die instruktionalen Erklärungen bisher auf Bedarf angeboten werden, ist die Kontinuität nicht gegeben und stark vom Lernerverhalten abhängig. Die Selbsterklärungen werden dagegen automatisch fortlaufend von den Lernenden während des Lösungsbeispielstudiums generiert. Bei den instruktionalen Erklärungen fehlt zudem der positiv wirkende „Generierungseffekt“, da diese von Experten und nicht von den Lernenden formuliert werden. Zahlreiche Studien zum menschlichen Gedächtnis zeigen, dass selbst generierte Informationen besser im Gedächtnis bleiben, als präsentierte Informationen (u.a. RENKL 2002). Aus diesem Grund erscheinen Selbsterklärungen lernwirksamer als Informationen aus instruktionalen Erklärungen.

	Selbsterklärung	Instruktionale Erklärung
Anpassung an Vorwissen	ja	schwierig
Kontinuität der Anwendung	ja	bedingt
Generierungseffekt	ja	nein
Lösung von Verständnisproblemen	schwierig	meistens
Verständniskontrolle	schwierig	meistens

Tabelle 3-1: Gegenüberstellung von Selbsterklärung und instruktionaler Erklärung beim Lernen mit Lösungsbeispielen nach Renkl (2002)

Aus der Gegenüberstellung von Selbsterklärung und instruktionaler Erklärung hinsichtlich lernwirksamer Aspekte in Tabelle 3-1 wird evident, was beide Maßnahmen im Stande sind zu leisten. Es wird deutlich, dass demnach erfolgreiches Lernen mit Lösungsbeispielen am effektivsten in einer Lernumgebung sein sollte, in der eine Kombination von Selbsterklärung und instruktionaler Erklärung realisiert wird, auch wenn der empirische Beweis der Lehr- und Lernforschung dazu noch nicht existiert.

4 Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen

Der Begriff „Computerunterstütztes Lernen“ ist (CUL) in der Literatur nicht eindeutig definiert. Er kann sowohl auf das Lernen mit spezieller Lernsoftware begrenzt sein als auch das Lernen mit unterschiedlichen computerunterstützten Angeboten beschreiben. Im Zusammenhang mit dieser Untersuchung wird computerunterstütztes Lernen als Lernen mit speziell für das Lernen programmierter und entwickelter Software definiert. Computer und Software sind in diesem Zusammenhang Medium, das als technisches Hilfsmittel definiert ist, mit dem bestimmte Lerninhalte präsentiert, Zeichen übertragen, verarbeitet, gespeichert und wiedergegeben werden können.

Die Effizienz des Lernens mit Lösungsbeispielen ist davon abhängig, wie gut sich der Lernende das Lösungsbeispiel selbst erklärt. In vorangegangenen Kapiteln wurden direkte und indirekte Maßnahmen diskutiert, die auf die Selbsterklärungsaktivität Einfluss nehmen können. RENKL, STARK, GRUBER und MANDL (1998) zeigen, dass durch explizites Training von Selbsterklärung nur kurzzeitig ein Effekt induziert wird, der eine geringe Steigerung der Lernleistung bewirkt. Der Ansatz Lernen durch Lehren brachte ebenfalls nicht den erwarteten Erfolg. Deutlich effektivere Möglichkeiten bieten indirekte Einflussfaktoren, in Form von verschiedenen instruktionalen Maßnahmen. Da *gedankliches Erschließen* und *prinzipbasierte Erklärungen* die Selbsterklärungsaktivität am besten fördern, werden instruktionale Hilfen entwickelt und untersucht (siehe Kapitel 3.2), die diese unterstützen sollen. Zur Umsetzung der instruktionalen Maßnahmen wird von einigen Forschergruppen auf den Einsatz von Computern zurückgegriffen (für einen Überblick: RENKL & ATKINSON 2002)

Der Einsatz einer computerunterstützten Lernumgebung bietet technische Möglichkeiten, z.B. instruktionale Erklärungen zu den Lösungsbeispielen nur auf explizite Anfrage des Benutzers zur Verfügung zu stellen oder eine schrittweise separate Präsentation der Lösungsschritte auf einzelnen Bildschirmseiten zu ermöglichen. Der Computer bzw. die computerunterstützte Lernumgebung übernimmt die Aufgaben des Tutors oder Präsenters. Solche Untersuchungsdesigns ließen sich sonst nur mit einem direkten eins-zu-eins Lernenden-Tutor-Lernarrangement realisieren, was für empirische Studien nicht praktikabel wäre.

Einen bedeutenden Vorteil bieten computerunterstützten Lernumgebungen hinsichtlich der Individualität des Zeitmanagement während des Lösungsbeispielstudiums. Die bisher konzipierten computerunterstützten Lernumgebungen präsentieren entweder das gesamte Lösungsbeispiel oder nur einen einzelnen Lösungsschritt auf einer Bildschirmseite. Die Lösungsschritte werden meist der Reihe nach aufgerufen und erscheinen auf jeweils neuen separaten Bildschirmseiten. Je nach Forschungsvorhaben soll der Lernende seine Antworten direkt in die computerunterstützte Lernumgebung eingeben, wie z.B. Komplettieren von Lücken im Lösungsschritt oder Eintragen von Zwischenergebnissen (STARK 1999), um antizipierendes Erschließen zu fördern. Ein anderer Ansatz ist der Einbau von instruktionalen Erklärungen in die computerunterstützte Lernumgebung, die auf Anfrage auf einer neuen Bildschirmseite erscheinen und dem Lernenden ergänzende Informationen zur Verfügung stellen (RENKL 2002). Mit

derartigen Möglichkeiten gelingt es, eine gewisse Interaktivität zwischen Lernendem und Lernumgebung zu schaffen. Dennoch wird das Potenzial des computerunterstützten Lernens mit Lösungsbeispielen bisher bei weitem nicht ausgeschöpft. Der Einsatz des Computers beschränkt sich beim Lernen mit Lösungsbeispielen bislang auf die Implementation von verschiedenen instruktionalen Maßnahmen, z.B. Lückentexte komplettieren oder instruktionale Erklärungen abrufen, und deren Überprüfung auf Effektivität in Bezug auf die Lern- und Transferleistung.

Die meisten der bisher existierenden computerunterstützten Lernumgebungen zum Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen sind einfache tutorielle Systeme in Form von Übungsprogrammen (siehe Kapitel 4.2). Diese Übungsprogramme werden fast ausschließlich zu Forschungszwecken und nicht als Lernprogramme im engeren Sinne eingesetzt.

Effektiver als einfache tutorielle Systeme wären sicherlich Lernumgebungen basierend auf intelligenten tutoriellen Systemen (siehe ebd.). Diese Systeme könnten beispielsweise entsprechend dem Vorwissen, den Einstieg des Lernenden in eine Lernumgebung festlegen, um ihm im Folgenden mit den präsentierten Lösungsbeispielen nicht zu über- oder unterfordern. Interessant wäre sicherlich auch eine Lernumgebung, die dem individuellen Wissenserwerb angepasst neue Lösungsbeispiele generieren könnten. Der technische und finanzielle Aufwand einer individualisierten computerunterstützten Lernumgebung wird als sehr hoch eingeschätzt und steht vermutlich in keinem Verhältnis zum tatsächlichen Lernerfolg.

4.1 Lerntheoretische Aspekte

Jedem Konzept von computerunterstützten Lernsystemen liegt eine Lerntheorie oder ein Hybrid mehrerer Lerntheorien zugrunde. Diese Hybride lassen sich meist auf die Grundorientierungen eines behavioristischen, kognitionstheoretischen oder konstruktivistischen Ansatz reduzieren (u.a. SCHULMEISTER 2002; KERRES 2001; KAMMERL 2000). Den verschiedenen Ansätzen liegen unterschiedliche Annahmen menschlichen Lernens zugrunde. Die nachfolgenden Kurzbeschreibungen der drei Grundorientierungen sollen einen Einblick auf deren Einfluss auf computerunterstütztes Lernen liefern.

Behavioristischer Ansatz

Die behavioristische Lerntheorie durchläuft in ihrer historischen Entwicklung unterschiedliche Ausprägungen, die alle auf beobachtbarem und messbarem Verhalten beruhen. PAWLOW (1972) entwickelte die Theorie des Klassischen Konditionierens aus den Ergebnissen von Tierexperimenten mit Hunden. Diese behavioristische Grundposition wird von dem Gedanken bestimmt, dass sich Verhaltensreaktionen des Individuums nur durch äußere Hinweisreize und deren Verstärkung steuern lassen. PAWLOW zeigt, dass für den Lernerfolg eine wiederholte gleichzeitige Darbietung eines unbedingten Reizes und eines bedingten Reizes zum Auftreten des Verhaltens entscheidend war (Gesetz der Verstärkung). Lernen erfolgt durch einen äußeren Reiz und dessen anschließende Verstärkung.

SKINNER entwickelte die bedeutende Reiz-Reflex-Theorie des operanten Konditionierens, welche dem computerunterstützten Lernen eine entscheidende Richtung wies. Die Theorie des operanten Konditionierens sagt aus, dass Lernen nicht eine Reaktion auf äußere unabhängige Umweltreize darstellt sondern, dass der Lernende als Konsequenz durch sein Verhalten selbst Reaktionen bei anderen auslöst. Nur wenn eine positive Beurteilung des Lernerverhaltens durch die Umwelt erfolgt, wird dieses Verhalten in Zukunft häufiger auftreten. Diese positive Verhaltensbegründung, die z.B. durch zeitnahe Lob oder Feedback ausgelöst werden kann, führt zur Verstärkung des Verhaltens, im speziellen Fall Erhöhung des Lernerfolgs. Folgt auf ein Verhalten eine negative Konsequenz für den Lerner oder wird das Verhalten von der Umwelt ignoriert, wird es zu einer Reduzierung des zuvor gelernten Verhaltens kommen. Ohne Rückmeldung durch die Umwelt, wird das Verhalten immer seltener auftreten und schließlich gelöscht werden, da das erlernte Verhalten keinerlei Konsequenz für den Lernenden hat. SKINNER (1966) propagiert, dass seine behavioristische Lerntheorie basierend auf Verstärkung eines Verhaltens durch die Rückmeldung mit Computern und Lernprogrammen konsequenter und effektiver angewendet werden kann. Der Mechanismus der Verstärkung, welchen SKINNER als Mechanismus des Lernens beschreibt, kann mit Maschinen wesentlich besser umgesetzt werden als mit personifiziertem Unterricht (KERRES 2001). SKINNER entwickelte auf dieser Basis zusammen mit dem Psychologen PRESSEY eine Lernmaschine für die Methode des Programmierten Unterrichts. Dabei werden dem Lernenden die Lerninhalte in kleinen aufeinander folgenden Schritten dargeboten, Kontrollfragen zu den gelieferten Informationen gestellt, die sofort Rückantwort für den Lernenden liefern.

Die behavioristischen Ansätze bildeten die erste lerntheoretische Basis für computerunterstützte Lernumgebungen und lieferten die Grundlage für die Lernprogramme in den 70er und 80er Jahren (EULER 1992; KLEINSCHROTH 1996). Die behavioristische Grundorientierung mit den verschiedenen Ausprägungen beeinflusst auch heutzutage die Vorstellung von computerunterstütztem Lernen entscheidend. Sie findet ihre Anwendung überwiegend in der programmierten Unterweisung, z.B. in Form von Übungsprogrammen. Das Grundprinzip bei computerunterstützten Übungsprogrammen ist die Präsentation von Informationen, deren Abfrage durch Kontrollfragen und eine zeitnah folgende Rückmeldung. Es sollen vorgegebene Lernziele dadurch erreicht werden, dass in computerunterstützter Form Informationen und Kontrollaufgaben präsentiert werden, die als Reiz ein gewünschtes Lernerverhalten aktivieren sollen. Durch positive Rückmeldung soll dieses Lernverhalten verstärkt werden. Die Rückmeldung für den Lerner ist bei computerunterstützten Lehr-Lernmedien gut implementierbar, da eine Auswertung der Kontrollaufgaben maschinell sehr effizient erfolgt und eine Begründung des Verhaltens sich unmittelbar anschließen kann. Dieses Prinzip kann auch bei komplexeren Lernzielen angewendet werden, wenn der Lerninhalt in kleinere Lernschritte zerlegt wird (vgl. Kapitel 2.3). Das relativ einfache Modell des tutoriellen Systems basierend auf den behavioristischen Grundlagen ist jedoch auch der Kritik unterworfen. Aufgrund der sich ständig wiederholenden Abfolge von Informationseinheiten und Kontrollfragen können beim Lernenden konzentrationstechnische und motivationale Ermüdungserscheinungen auftreten, die

einen systematischer Lernaufbau mit dieser Methode erschweren und sie damit langfristig weniger erfolgreich machen. Aus diesem Grund werden tutorielle Systeme überwiegend zum Aufbau von Faktenwissen, z.B. beim Erlernen von Vokabeln, eingesetzt. Trotz der bekannten Nachteile orientieren sich bis heute viele computerunterstützte Konzepte an den behavioristischen Lerntheorien.

Kognitionstheoretischer Ansatz

PIAGET (1947) und BRUNER (1971) begründeten mit ihren Theorien den Kognitivismus. Sie beschreiben den Lernenden als Individuum, das nicht durch äußere Reize steuerbar ist, sondern diese äußeren Reize aktiv und selbstständig wahrnimmt und verarbeitet. Lernen basiert nach Aussagen der Kognitivisten auf der Veränderung kognitiver Strukturen und Prozesse menschlichen Denkens durch die subjektive Wahrnehmung des einzelnen. Lernen wird als besondere Ausprägung von Informationsaufnahme und -speicherung begriffen, die einerseits abhängig ist von der Art der Informationsdarbietung und -aufbereitung und andererseits von der kognitiven Aktivität des Lernenden selbst. Im Gegensatz zur behavioristischen Lerntheorie, welche die Verhaltensänderung betont, wird dieser Aspekt im kognitivistischen Sinne nur als Folgeerscheinung interner Verarbeitungsprozesse betrachtet. Die Fragestellungen, die aus den kognitiven Ansätzen Anfang der 90er Jahre entstanden sind, befassen sich mit den Informationsvermittlungs- und Aneignungsprozessen in Lehr- und Lernsituationen und konzentrieren sich auf die Sicherstellung der Speicherung sowie des Abrufs von Informationen im Gedächtnis. Dabei steht die Definition und Analyse der Lerninhalte sowie das Lernmaterial deutlich im Vordergrund (KERRES 2001).

Für die Entwicklung computerunterstützter Lernsoftware basierend auf den kognitiven Lerntheorien ergeben sich daraus verschiedene Zielsetzungen und Unterscheidungskriterien:

1. Anregung der internen Prozesse zum Aufbau von Wissensstrukturen: Dies kann z.B. durch eine gute Strukturierung und Sequenzierung des Lerninhalts erreicht werden.
2. Anregung der internen Prozesse zur Entwicklung von Problemlösefähigkeit. Dies soll durch gezielte Auswahl von Problemstellungen und entsprechende prozessfördernde Lernhilfen in Kombination mit informativen Rückmeldungen für den Lerner erleichtert werden.
3. Berücksichtigung der Art der Speicherung des Lerninhalts im Gedächtnis: Dazu werden die kognitionstheoretischen Ansätze zu Bedeutungsstrukturen, Doppelkodierung und zu mentalen Modellen betrachtet (für eine Übersicht: STRITTMATTER & SEEL 1984).

Kognitionstheoretische Lerntheorien zum computerunterstützten Lernen halten stark an der Annahme von Interaktionen zwischen computerunterstützten Präsentationen und internen kognitiven Prozessen fest. Sie vertreten die Position, dass Lernen durch Instruktion und Lernhilfen angeregt, unterstützt und bedingt gelenkt werden kann. Darin begründet sich deren Einfluss auf das instruktionale Design von Lernmaterial bzw. -umgebung. Kognitivismus kann als Bindeglied zwischen Behaviorismus und

Konstruktivismus gesehen werden. Kognitionstheoretische Lerntheorien erfahren seit Ende der 80er Jahre eine konsequente Anwendung beim instruktionalen Design von Lehr- und Lernmitteln. Der kognitionstheoretische Ansatz ist vor allem der Kritik unterworfen, weil er das menschliche Handeln auf kognitive Informationsverarbeitung reduziert und das Individuum als Zentrum von Handeln und Wissen überbewertet. Menschliche Emotionen und situiertes Handeln in der Lebenswelt werden dabei nicht beachtet.

Kognitionspsychologische Erkenntnisse finden Anwendung bei computerunterstützten Lernprogrammen in Form von Simulationsprogrammen oder intelligenten tutoriellen Systemen. Das Lernprogramm soll in Form eines programmierten Diagnosetools die Rolle des intelligenten Tutors übernehmen, der durch Analyse und Korrektur der Lernerantworten, den weiteren Programmverlauf für den Lernenden steuert und sich seiner aktuellen Veränderung der kognitiven Strukturen anzupassen versucht. Diese Wissensanpassung ist bisher nur in kleinsten Ausschnitten gelungen, da aus den Verhaltensweisen der Lernenden bei der Bearbeitung von Lerninhalten nur sehr bedingt Rückschlüsse auf deren aktuelle Wissensstrukturen möglich sind (KERRES 2001).

Konstruktivistischer Ansatz

Der Konstruktivismus beinhaltet im Vergleich mit dem Kognitivismus wahrnehmungs- und lernpsychologisch hinsichtlich der subjektiven Wahrnehmung und Verarbeitung von Eindrücken aus der Umwelt des Individuums keine spezifischen Ideen. Der Lernende entwickelt aufgrund von individuellen Erfahrungen seine eigene Realität (MATURANA & VARELA 1987). Aufgrund der Tatsache, dass sogar empirisches Wissen als *subjektives* Konstrukt angesehen wird, mindert die Möglichkeit Lernprozesse durch Lernumgebungen zu steuern. Dem selbstbestimmten reflektiven Handeln und damit dem selbstorganisierten Lernen kommt eine herausragende Bedeutung zu. Im Mittelpunkt steht hierbei der Lernende und nicht mehr der Lehrer. Der praktische lebensweltliche Bezug von Lehrinhalten wird betont. Lernumgebungen sollen so gestaltet werden, dass sie handlungsorientiertes und selbständiges Lernen unterstützen. Die Lernumgebungen werden im Konstruktivismus als Informationsvermittler und Werkzeuge für einen selbstgestalteten Lernprozess betrachtet (u.a. EULER 1994).

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

1. *Cognitive apprenticeship*: Lernen wird als Lerner-Berater-Verhältnis konzipiert. Das Computerprogramm übernimmt die Rolle des Beraters oder Coach, der sich der fortschreitenden Erfahrung des Lernenden anpasst und sich entsprechend dem Lernfortschritt immer weiter in seiner unterstützenden Funktion zurücknimmt. (u.a. COLLINS & BROWN 1989) Dieses Konzept findet z.B. bei intelligenten tutoriellen Systemen Anwendung.

2. *Knowledge communities*: Das Lernen in Informations- und Kommunikationsnetzwerken fördert den Austausch mit anderen Lernenden und betont das Handeln in und mit der Lebenswelt. Durch computerunterstützte Informations- und Kommunikationsnetze werden Lernsituationen kreiert, die Kommunikation fördern und Lernen in Form von kooperativen und interaktiven Informationsaustausch ermöglichen.
3. *Cognitive tools*: Bei kognitiven Werkzeugen handelt es sich überwiegend um Computerprogramme, die konzipiert werden, um die kognitive Wahrnehmung des Lernenden zu verstärken, zu erweitern und zu verbessern (KOZMA 1987). Sie dienen als Werkzeuge für den Lernenden ihre eigenen Vorstellungen und Konzepte selbständig zu planen, umzusetzen und zu reflektieren. Simulationsprogramme und spezielle Programmiersprachen sind dieser Gruppe der *cognitive tools* zuzuordnen.

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

Die von MANDL u.a. beschriebenen Ansätze zum situierten Lernen können als Mischform kognitionstheoretischer und konstruktivistischer Ansätze aufgefasst werden, bei der der Lebens- und Lernsituation eine besondere Bedeutung beigemessen wird. Situierte Ansätze (vgl. etwa GERSTENMAIER & MANDL, 1995) fokussieren vor allem auf:

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

(KERRES 2001, S.79). Einige diese Forderungen wurden als erste didaktische Richtlinien für die Gestaltung von multimedialer Lernsoftware übernommen.

Die vorhergehenden Ausführungen zeigen, dass die verschiedenen lerntheoretischen Positionen in einigen Punkten stark differieren und damit auch die Konzepte von computerunterstützter Lernumgebung verändern (siehe Tabelle 4-1).

Außerdem wird deutlich, dass den meisten Lernprogrammen nicht nur ein lerntheoretischer Ansatz zugrunde liegt sondern vielmehr eine Vermischung und Überlagerung der Ansätze stattfindet. Eine eindeutige Zuordnung zu *einer* Lerntheorie ist bei den meisten Lernprogrammen nicht möglich. Es ist weiterhin sehr wahrscheinlich, dass zahlreiche Lernprogramme ohne Berücksichtigung von lerntheoretischen Aspekten konzipiert und realisiert werden, da insbesondere bei computerunterstützten Lernprogrammen die technische Machbarkeit und Kosten-Nutzen-Rechnungen in der Regel die Richtung festlegen.

	<i>Behaviorismus</i>	<i>Kognitivismus</i>	<i>Konstruktivismus</i>
Das Gehirn ist ein	passiver Behälter	informationsverarbeitendes Gerät	informelles geschlossenes Gerät
Wissen wird	abgelagert	verarbeitet	konstruiert
Wissen ist	eine korrekte Input-Outputrelation	ein adäquater interner Verarbeitungsprozess	mit einer Situation operieren zu können
Lernziel	richtige Antwort	richtige Methode zur Antwort finden	Komplexe Situation bewältigen
Paradigma	Stimulus-Response	Problemlösung	Konstruktion
Strategie	Lehren	beobachten und helfen	kooperieren
Lehrer ist	Autorität	Tutor	Coach

Tabelle 4-1: Paradigmen des computerunterstützten Lernens nach Baumgartner und Payr (1999, S.100)

4.2 Methodische Grundtypen computerunterstützter Lehr- und Lernsysteme

Computerunterstützte Lernprogramme lassen sich nicht nur durch ihren lerntheoretischen Hintergrund klassifizieren, sondern auch bestimmten methodischen Grundtypen zuordnen (KAMMERL 2000). Wie aus dem vorangegangenen Kapitel hervorgeht, wird bei der Konzeption von Computerlernprogrammen der lerntheoretische Aspekt kaum oder nur am Rande berücksichtigt. Deutlich im Vordergrund steht dagegen die Methode mit der der Lerninhalt computerunterstützt sinnvoll vermittelt werden kann. Analog der Einordnung nach lerntheoretischen Ansätzen gibt es auch bei der Zuordnung zu methodischen Grundtypen häufig keine Eindeutigkeit, da oftmals Mischformen realisiert werden.

Im folgenden Abschnitt werden die fünf wesentlichen methodischen Grundtypen kurz erläutert:

- konventionelle tutorielle Systeme / Übungsprogramme
- adaptive / intelligente tutorielle Systeme
- Simulationen und Mikrowelten
- Hypermediale Systeme
- Werkzeuge und Programmierumgebungen.

Konventionelle tutorielle Systeme / Übungsprogramme

Bei Übungsprogrammen handelt es sich um eine einfache Ausführung von konventionellen tutoriellen Systemen. Das Übungsprogramm übernimmt die Aufgabe des Lehrenden. Übungsprogramme sind weitgehend linear organisiert und sehr stark systemgesteuert. Der Lernende folgt der durch den Entwickler des Lernprogramms festgelegten Instruktionensequenz und hat meist keine Möglichkeit die Abfolge zu

verändern. Diese Programme, die auch häufig nach dem englischen Ausdruck als „Drill & Practice“ bezeichnet werden, dienen überwiegend dem Aufbau von Faktenwissen und der Einübung und Vertiefung des bereits vorhandenen Wissens z.B. dem Lernen von Vokabeln oder dem Üben von mathematischen Gesetzmäßigkeiten. Ein typischer Dialog besteht aus einer Einführung, ggf. einer Darstellung von Informationen, ein oder mehrerer Fragen, die mit einer Antwort, Antwortanalyse und Rückmeldung gekoppelt sind (siehe Abbildung 1). Ältere einfache tutorielle Systeme basieren weitgehend auf der behavioristischen Lerntheorie und nutzen die Feedbackfunktion zur Verstärkung eines bestimmten Verhaltens (vgl. Kapitel 4.1). Damit sind diese tutoriellen Systeme mit dem modernen Gedanken von Lernen als aktiver Wissenskonstruktion nur bedingt vereinbar. Ein systematischer Lernaufbau scheint mit „Drill & Practice“-Programmen nicht möglich und macht diese damit langfristig gesehen wenig erfolgreich. Moderne Übungsprogramme verstehen das Feedback nicht als Verstärkung sondern als Informationsquelle für den Lernenden zur Kontrolle des individuellen Lernfortschritts und sehen verschiedene Möglichkeiten der Fehlerkorrektur bei falschen Antworten vor (für einen Überblick: KULHAVY 1977). Diese modifizierten tutoriellen Systeme beziehen den Lernenden stärker in den Programmablauf ein und fordern eine aktive Beteiligung ein. Aufgrund des relativ geringen Entwicklungs- und Programmieraufwands und der moderaten technischen Anforderungen sind Übungsprogramme die in der Praxis die am häufigsten eingesetzten Lehr- und Lernsysteme.

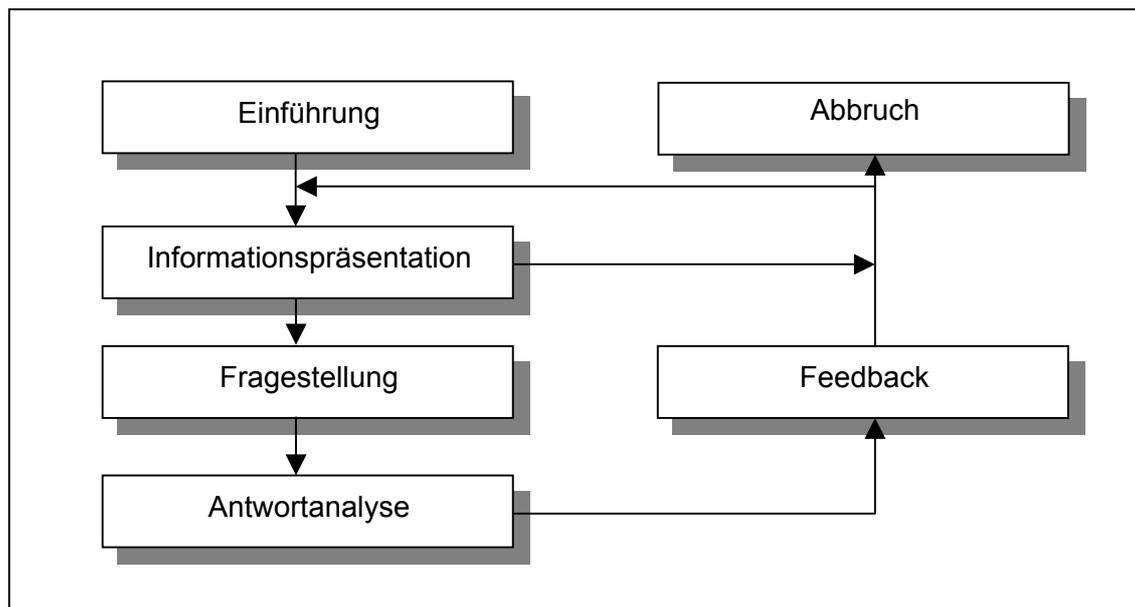


Abb. 1: Ablaufschema eines tutoriellen Systems nach REIMANN-ROTHMEIER, MANDL, PRENZEL und BODENDORF in KAMMERL (2000)

Adaptive / Intelligente Tutorielle Systeme

Neben den einfachen tutoriellen Systemen existieren auch intelligente tutorielle Systeme. Bei intelligenten tutoriellen Systemen übernimmt das Lernprogramm die Aufgaben eines Beraters bzw. Coach, der sich dem Vorwissen und der Lerngeschwindigkeit des einzelnen Lernenden anpasst und bei fortschreitendem Lernerfolg in seine unterstützende Funktion entsprechend reduziert. Dadurch erfolgt eine Individualisierung

des Lernens, was einen deutlichen Vorteil hinsichtlich des Lernerfolgs darstellen sollte. Diese Individualisierung soll u. a. durch Adaptierbarkeit und Adaptivität der Lernprogramme erreicht werden. Nach LEUTNER (2002, S.118) stellt sich bei Adaptierbarkeit „die Frage, inwieweit ein System auf der Grundlage einer extern vorgenommenen Diagnose durch extern vorgenommene Eingriffe so eingestellt werden kann, dass es dem Unterstützungsbedarf der Lernenden möglichst gut entspricht“. Im Gegensatz dazu legt die Adaptivität fest, „inwieweit das System selbst in der Lage ist, den Unterstützungsbedarf der Lernenden zu diagnostizieren und das Ergebnis der Diagnose in geeignete angepasste Lehrtätigkeit umzusetzen“ (ebd.).

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

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

Intelligente tutorielle Systeme ermöglichen einen hoch adaptiven und flexiblen Dialog mit dem Lernenden. Die Systeme sollen sich mit Blick auf den einzelnen Lernenden im Unterstützungsgrad den individuellen kognitiven Strukturen (z. B. Umfang des Vorwissens) und den Veränderungen, die im Laufe des Lernprozesses stattfinden, automatisch anpassen. Intelligente und adaptive tutorielle Systeme galten Anfang der 90er Jahre als viel versprechende Alternative für die klassischen tutoriellen Systeme, da eine Individualisierung des Lernens dadurch realisierbar erschien. Vergleiche von konventionellen mit intelligenten tutoriellen Systemen zeigten, dass intelligente tutorielle Systeme nicht zwangsläufig bessere Ergebnisse liefern, jedoch einen deutlich höheren Entwicklungsaufwand beanspruchen (SCHULMEISTER 2002). Da der Erfolg in keiner Relation zum hohen Entwicklungsaufwand stand, verloren die intelligente tutorielle Systeme rasch an Attraktivität und werden nur sehr vereinzelt in der Mathematik und Informatik eingesetzt.

Simulationssysteme und Mikrowelten

Simulationen sind Nachbildungen von realen oder fiktiven Prozessen oder Situationen in einem Modell, um daraus gezielt Erkenntnisse zu gewinnen. Meist erfolgt eine Konzentration auf die Teilobjekte des simulierten Systems, die für die Erkenntnisgewinnung von besonderem Interesse sind. Andere Aspekte des simulierten Systems hingegen, die für die zu beantwortende Fragestellung nur eine untergeordnete Rolle spielen, werden in der Simulation vereinfacht dargestellt oder weggelassen. Durch die Aktion des Lernenden können gezielt ausgewählte Parameter im Modellszenarium verändert und die daraus resultierenden Veränderungen zeitnah in einem aktualisierten Modellszenarium abgebildet werden (siehe Abbildung 2). Die Möglichkeit des aktiven handelnden Lernens („learning by doing“) macht den Lernenden zum Teil des Systems und lässt ihn die Auswirkungen seiner Entscheidungen direkt erkennen (EULER 1992). Simulationen ermöglichen damit Lernenden ihre eigenen Vorstellungen umzusetzen und

reflektieren zeitnah die Konsequenzen ihres Handelns. Simulationen werden meist für Untersuchungen an Systemen verwendet, die real (noch) nicht existieren oder deren Veränderungen nicht beobachtbar sind.

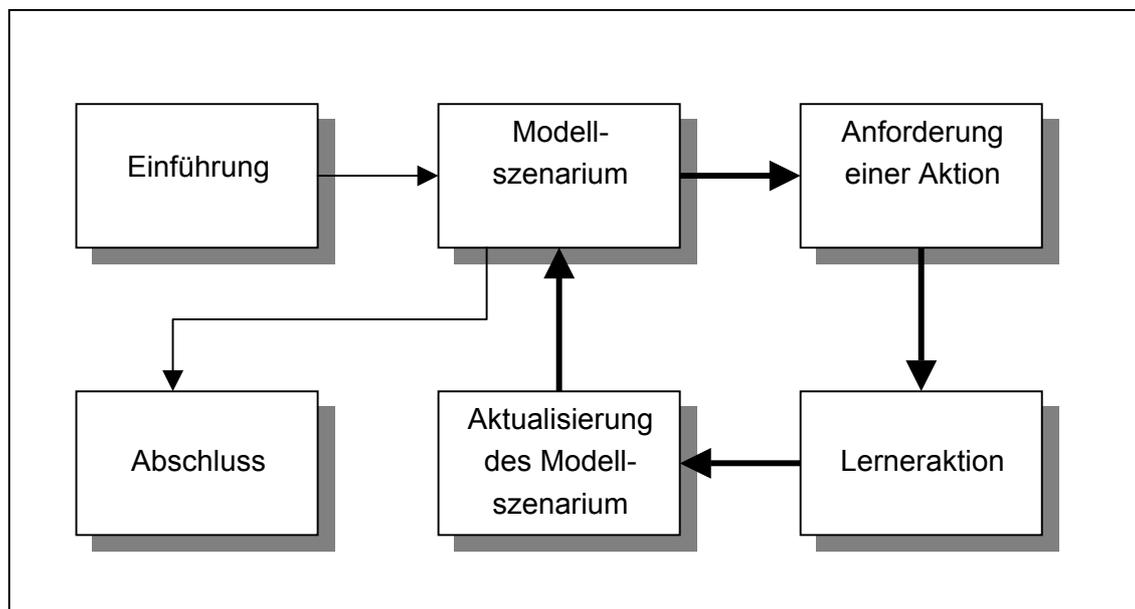


Abb. 2: Ablaufschema einer Computersimulation nach EULER (1992)

Eine Weiterentwicklung der Simulationssysteme stellen die sogenannten Mikrowelten dar (BAUMGARTNER & PAYR 1994). Analog der Simulation bildet die Mikrowelt ein geschlossenes Modell zu einem bestimmten Gegenstandsbereich ab. Im Unterschied zu den Simulationssystemen, bei denen die Arbeit *mit* dem Modell im Vordergrund steht, fokussieren die Mikrowelten auf die eigentliche Modellkonstruktion und -entwicklung.

Computerspiele zählen im weiten Sinne auch zu Simulationssystemen. Je nach zugrunde liegendem didaktischem Prinzip kann bei Computerspielen zwischen den Bereichen Edutainment und Entertainment unterschieden werden. Zur Kategorie Edutainment gehören Lernspiele, bei denen das zu vermittelnde Wissen im Vordergrund steht, das Spiel dient als Medium für die Lehrinhalte und zur Motivation der Lernenden. Durch das Computerspiel sollen Lernprozesse initiiert werden, die mit dem Erreichen von expliziten Lernzielen enden. Programme, die diese Merkmale nicht aufweisen, werden dem Bereich Entertainment zugeordnet und sind nur bedingt dazu geeignet Lernprozesse anzuregen (KAMMERL 2000).

Hypermediale Systeme

Der Begriff Hypermedium steht sehr stark in Verbindung mit den Begriffen Hypertext und Multimedia. In Hypermedialen Systemen wird zu vermittelndes Wissen in kleinen Wissenseinheiten (Knoten) vernetzt abgelegt. Wissenseinheiten, die ausschließlich textuelle Informationen z.B. Text, Bilder oder Grafiken enthalten, werden als hypertextuale Systeme bezeichnet. Durch Erweiterung dieser Systeme mit dynamischen Informationen wie z.B. Animationen oder Videosequenzen entsteht ein hypermediales System. Hypermediale Systeme können alle Darstellungsformen von multimedialen Systemen umfassen (THOME 1991).

Die einzelnen Wissenseinheiten (Knoten) sind über Verweise (Links) miteinander verknüpfbar (siehe Abbildung 3). Durch diese Technik können individuelle, insbesondere nicht lineare Informationsstrukturen erzeugt werden (BOGASCHEWSKY 1992). Die Nutzung der Einheiten wird durch den Lernenden individuell festgelegt und verlangt in hohem Maße dessen eigenverantwortliches Denken und Handeln. Hypermediale Lernsysteme werden als hochgradig lernergesteuerte Tutorials betrachtet, die nicht mehr auf der vom Entwickler vorgegebenen strengen Führung des Lernenden basieren. Dieser methodische Grundtyp bietet den Vorteil, dass der Lernende seine Informationen individuell auswählen kann, den Lernweg seinem Wissen und seinem Zeitmanagement anpassen kann. Nachteilig kann sich das System auf Lerner auswirken, die von der Informationsdichte und -vielfalt überfordert werden und durch die Vernetzung von Knoten mit Links den Überblick verlieren.

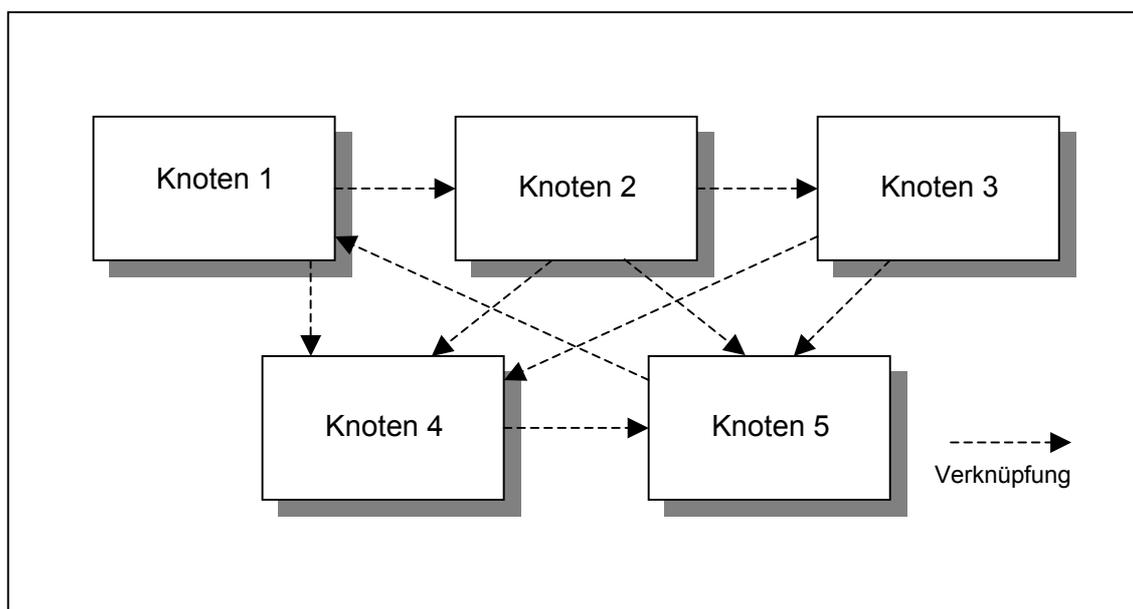


Abb. 3: Schematisches Beispiel eines hypermedialen Systems mit fünf Knoten und acht Verknüpfungen

Werkzeuge und Programmierumgebungen

Diese Programme dienen nicht der Vermittlung von bestimmten Lerninhalten sondern sind im Wesentlichen Entwicklungsumgebung, die dem Lernenden als Hilfsmittel zum eigenständigen Entwickeln und Erstellen von Hypermedia, Simulationen oder tutoriellen Programmen dienen. Neben bestimmten Programmierwerkzeugen gehören zu diesem Grundtyp auch Grafikprogramme oder Textverarbeitungsprogramme. Nachteilig bei diesen Werkzeugen und Entwicklungsumgebung ist, dass ein effektiver Einsatz ein gewisses Vorwissen über deren Handhabung voraussetzt. Bei Benutzern, die in die Programme eingearbeitet sind, ist jedoch stark davon auszugehen, dass während des Entwickeln ihrer Lernprogramme durch intensives Auseinandersetzen mit den Lerninhalten, Lernprozesse angestoßen werden und Problemlöseverständnis aktiviert wird (KAMMERL 2000).

Die unterschiedlichen methodischen Grundtypen können im weiteren Sinne auch den verschiedenen Lerntheorien oder Hybriden dazu zugeordnet werden. Die Auswahl der

Methode wird aber in den seltensten Fällen von den lerntheoretischen Aspekten bestimmt, vielmehr sind die technische Realisierbarkeit, die personelle Aufwand und der finanzielle Einsatz für deren Umsetzung entscheidend.

4.3 Computerunterstützte Hochschullehre

Es steht außer Frage, dass die traditionelle Hochschullehre nicht vollständig durch virtuelle Veranstaltungen ersetzt werden kann und soll. In verschiedenen Hochschulprojekten wurde bereits versucht, ausgewählte Aufgaben der klassischen wissenschaftlichen Hochschulausbildung mit virtuellen Angeboten zu erweitern oder teilweise zu ersetzen. Die Haupteinsatzgebiete von computerunterstützten Angeboten zur klassischen wissenschaftlichen Hochschulausbildung, lassen sich nach WEDEKIND (1997) im Wesentlichen auf zwei Bereiche reduzieren:

- Bereitstellung von Information
- Kommunikation und Interaktion zwischen den Lernenden untereinander sowie mit dem Lehrer

Im Zusammenhang mit der traditionellen Hochschullehre stehen die Bereitstellung und die Vermittlung von Informationen beispielsweise in Form von Vorlesungen, und die Organisation und Betreuung von Arbeitsformen exemplarisch dazu Seminare zur Vertiefung von Wissen im Vordergrund.

Bei Betrachtung des ersten Bereichs, der Bereitstellung und Vermittlung von Information, ist die didaktische Aufbereitung der Lerninhalte von eminenter Wichtigkeit. Zunächst wurde versucht computerunterstützte Angebote durch effektive Sequenzierung und optische Aufbereitung des Lernmaterials zu realisieren. Im Rahmen solcher Angebote wurde der Einfluss von Navigations- und Orientierungshilfen, Instruktionen sowie Interaktivität zwischen Nutzer und Lernumgebung in Forschungsprojekten untersucht und bereits teilweise erfolgreich in der computermedialen Hochschullehre implementiert (HESSE 1997). Die virtuellen Angebote im Bereich der Bereitstellung und Vermittlung von Information umfassen im Wesentlichen computerunterstützte Lehr- und Lernmaterialien in Form von Übungs- und einfachen Simulationsprogrammen, Begleitskripten zu Veranstaltungen sowie Nutzung von Diskussionsforen, in Form von Chatrooms und E-Mail-Listen.

Bei der Mehrzahl der eingesetzten Übungsprogramme handelt es sich um computerunterstützte Trainingsprogramme und Hypermedia-Einheiten zu bestimmten Lerninhalten, die der Vertiefung von Faktenwissen dienen. Die Programme können teilweise online bearbeitet oder aus dem Internet heruntergeladen werden. Meist enthalten sie zusätzliches Lernmaterial zu den klassischen Präsenzveranstaltungen. Die Umsetzungen von ganzen Kursen als komplette virtuelle Veranstaltungen sind derzeit eher selten. Inzwischen gibt es auch Hochschulen, die das Konzept der „virtuellen Universität“ vorantreiben beispielsweise die Fernuniversität Hagen, die für die Vermittlung der Lehrinhalte, die Präsenzveranstaltungen weitgehend durch virtuelle Kurse ersetzen will.

In den letzten fünf bis zehn Jahren werden auch verstärkt Hochschulprojekte ins Leben gerufen, die sich mit der hypertextuellen und -medialen Aufbereitung von Lerninhalten befassen. Dabei wird eine vernetzte Informationsstruktur geschaffen, die, im Gegensatz

zu sequenziell präsentierter Information, ein hohes Maß an kognitiven Anforderungen an die Lerner stellt. Für die meisten Lernenden bedeutet diese Art der Informationspräsentation bereits eine Überlastung ihrer kognitiven Fähigkeiten. Aus diesem Grund muss bei hypertextuellen und -medialen Lerneinheiten der Lerninhalt klar abgegrenzt und weitgehend an dem Vorwissen der Studierenden angepasst sein, was die Entwicklung von effektiven Hypermedien zeitaufwendig und anspruchsvoll gestaltet. Hypertexte und -medien in der Hochschullehre werden derzeit überwiegend zur Wiederholung von Inhalten oder zum Ergänzen von erlernten Lerninhalten in einem bereits bekannten Bereich eingesetzt.

Der weitere Bereich, die Kommunikation und Interaktion, erfordert einen weitaus höheren technischen und didaktischen Aufwand als die computerunterstützte Bereitstellung von Information. Die Vorteile eines virtuellen Seminars sind offensichtlich, der Lernende ist weder an einen festen Turnus mit definierten Zeiten, in denen die Veranstaltung stattfindet, noch an feste Veranstaltungsorte gebunden. Dies ermöglicht theoretisch eine gleichzeitige Teilnahme an mehreren virtuellen Veranstaltungen. Leider gestaltet sich die Kommunikation der Lernenden miteinander und mit den Lehrenden deutlich aufwändiger. Da die Lerninhalte beispielsweise in der Regel in schriftlicher Form zur Verfügung gestellt werden, kann jeder Lernende individuell entscheiden, in welcher Reihenfolge, in welchem Umfang und zu welcher Zeit er diese nutzen möchte. Damit wird eine bestimmte Individualität des Lernens erreicht, die jedoch in der Regel dazu führt, dass die Teilnehmer die Angebote zeitlich unterschiedlich bearbeiten und damit nicht zeitgleich auf einem ähnlichen Wissensstand zu einem bestimmten Lerninhalt sind. Als Folge des unterschiedlichen Wissensstandes und der räumlichen Trennung nimmt die Kommunikation zwischen den Teilnehmern im Allgemeinen ab.

Neben dem organisatorischen Aspekt ist der logistische Aufwand nicht zu vernachlässigen, so erfordert die technische Organisation eines virtuellen Seminars sowohl auf der Hochschul- als auch auf der Lernerseite einen bestimmten technischen Standard beispielsweise geeignete Computer, stabile Netzwerke und benutzerfreundliche Lernprogramme. Aufgrund des erhöhten technischen und didaktischen Aufwandes haben sich virtuelle Seminare nur bedingt durchgesetzt und werden derzeit nur sehr vereinzelt, überwiegend in technischen und ingenieurwissenschaftlichen Fächern angeboten. Computerunterstütztes kooperatives Lernen findet derzeit meist nur als Informationsaustausch via E-Mail statt.

Der Einsatzes von computerunterstützten Lehr- und Lernmaterialien an der Hochschule bleibt begrenzt. Aufgrund von fehlenden empirischen Evaluationen können zur Effizienz von computerunterstützter Hochschullehre selten fundierte Aussagen gemacht werden und damit fehlen überzeugende Argumente für eine Ausweitung computerunterstützter Angebote. Die computerunterstützten Lernumgebungen stellen auch für den Lehrenden eine Herausforderung dar, da er sich selbst als Lernender nicht damit auseinandersetzen musste und somit keine eigenen Erfahrungen einbringen kann. Problematisch erscheint auch die technische Umsetzung, da die Lehrenden Fachexperten sind, jedoch selten über Programmierkenntnisse verfügen, was eine zusätzliche Arbeitsteilung erfordert, die sowohl den zeitlichen als auch finanziellen Aufwand für eine computerunterstützte Lernumgebung erhöht. Diese Arbeitsteilung setzt eine effektive

Kommunikation voraus, d.h. es muss zwischen dem Programmierer, den überwiegend die technischen Belange interessieren und dem Lehrenden, der seine Lerninhalte didaktisch sinnvoll vermitteln will, eine gemeinsame Diskussionsebene gefunden werden, was sich erfahrungsgemäß oftmals als schwierig gestaltet. Selten erwerben Lehrende außerhalb ihres Fachgebietes beispielsweise zusätzliche Programmierkompetenzen um ihre computerunterstützten Lernumgebungen zu realisieren, da dies einen unverhältnismäßig hohen Zeit- und Arbeitsaufwand für den einzelnen darstellt (KERRES 2002).

4.4 Zusammenfassung

Für das Lernen mit Lösungsbeispielen werden von einigen wenigen Forschergruppen computerunterstützte Lernumgebungen eingesetzt. Diese computerunterstützten Lernumgebungen wurden explizit zu Forschungszwecken und dienen als Hilfsmittel zur Untersuchung der Lernmethode. Sie kommen nicht als Lernprogramme zur Vermittlung von Lerninhalten im Lehrbetrieb zum Einsatz. Dennoch können diese computerunterstützten Lernumgebungen, basierend auf dem Lernen mit Lösungsbeispielen als Hybride, aus kognitionstheoretischen und konstruktivistischen Ansätzen betrachtet werden. Sie lassen sich dem methodischen Grundtyp des konventionellen tutoriellen Systems speziell dem Übungsprogramms zuordnen.

Die wenigsten Lernprogramme lassen sich eindeutig auf nur einem lerntheoretischen Ansatz reduzieren. Meist sind Hybride aus behavioristischen, kognitionstheoretischen oder konstruktivistischen Ansätzen zu beobachten. Keiner der lerntheoretischen Ansätze liefert die „beste“ konzeptionelle Grundlage für computerunterstütztes Lernen, vielmehr wird deren konkrete Umsetzung von der Zielsetzung des Lernprogramms bestimmt.

Die Einteilung von computerunterstützten Lernprogrammen kann auch nach methodischen Grundtypen, die eng mit den zugrunde liegenden Lerntheorien verbunden sind, erfolgen. Die Auswahl der Methode wird in den seltensten Fällen nach deren lerntheoretischer Basis getroffen, sondern wird meist durch die technische Machbarkeit, dem personellen und finanziellen Aufwand bestimmt. Die methodischen Grundtypen kommen selten in Reinform vor, oftmals entstehen bei der Realisierung der computerunterstützten Lernumgebung Mischformen. Zu den wichtigsten methodischen Grundtypen gehören Übungsprogramme, als konventionelle tutorielle Systeme, intelligente und adaptive tutorielle Systeme, Simulationssysteme und Mikrowelten, Hypermediale Systeme sowie Programmierumgebungen und -werkzeuge.

Übungsprogramme sind aufgrund des relativ geringen Entwicklungsaufwandes unter allen methodischen Grundtypen die Lehr- und Lernsysteme, die am häufigsten in der Praxis eingesetzt werden.

Der Einsatz von computerunterstützten Angeboten im Hochschulbetrieb ist begrenzt. Sie werden hauptsächlich zur Bereitstellung von Informationen und Vermittlung von fachspezifischen Kenntnissen und Fertigkeiten eingesetzt. Außerdem dienen sie der Organisation und Betreuung von Arbeitsformen. Die virtuellen Angebote umfassen im Wesentlichen einfache Übungsprogramme und Simulationen, Begleitskripte zu Veranstaltungen und Diskussionsforen in Form von Chatrooms oder E-Mail-Listen. Das immense Potenzial von computerunterstützten Lernarrangements wird keineswegs

ausgeschöpft. Die technischen Möglichkeiten, insbesondere im multimedialen und programmier-technischen Bereich, entwickeln sich rasant schnell doch deren Umsetzung hinkt Jahre hinterher. Der Aufwand computerunterstützte Lernumgebungen zu entwickeln ist ohne Zweifel hoch, dennoch darf nicht vergessen werden, dass diese Lernprogramme unbegrenzt vervielfältigt, wiederholt und ortsungebunden eingesetzt werden können. Neue Lerninhalte lassen sich meist ohne großen personellen und zeitlichen Aufwand in die vorliegende Lernumgebung einbringen.

Die im Rahmen dieser Arbeit konzipierte computerunterstützte Lernumgebung zum Themengebiet Löslichkeit wird nach erfolgreicher empirischer Evaluation in der Veranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie – Übung“ für Lehramtstudierende der Chemie eingesetzt. Das Lernmodul soll von den Lernenden selbständig bearbeitet werden und entsprechend dem Zeitplan der Präsenzveranstaltung angeboten werden. Die diskutierten Kommunikationsschwierigkeiten zwischen Lernenden und Lehrenden bei computerunterstützten Lernarrangements sind nicht zu erwarten, da die Präsenzveranstaltung zu anderen Themengebieten der Allgemeinen und Anorganischen Chemie weiter stattfindet und Möglichkeiten zu Klärung von inhaltlichen und anwendungstechnischen Fragen bezüglich des Lernprogramms bietet. Außerdem kann durch E-Mail-Kontakt relativ schnell auch außerhalb dieser Zeit Unterstützung angeboten werden. Eine Arbeitsteilung zwischen Programmierung und didaktischer Aufbereitung des Lernmoduls war im Rahmen dieser Arbeit nicht notwendig.

5 Forschungsvorhaben und Forschungsfragen

In den vorangegangenen Kapiteln wird das Lernen mit Lösungsbeispielen ausführlich dargestellt. Für die Effizienz dieser Lernmethode ist essentiell, dass sich die Lernenden intensiv mit dem Lösungsbeispiel und der zugrunde liegenden Lösungsrationale auseinandersetzen. Eine Steigerung der Intensität des Lösungsbeispielstudiums wird durch den Einsatz von verschiedenen den Lernprozess unterstützenden Maßnahmen angestrebt. Dabei ist es von eminenter Wichtigkeit, dass die Lernenden kognitiv weder über- noch unterfordert werden, da beides den Wissenserwerb hemmt. Der positive Einfluss der Selbsterklärung auf das Lernen mit Lösungsbeispielen ist in der Lehr- und Lernforschung unumstritten. Die zur Erhebung der Selbsterklärungen eingesetzte Methode des lauten Denkens liefert erfahrungsgemäß vielfach leider nicht die erwarteten Informationen, da die verbalen Protokolle meist dürftig ausfallen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird in der Lernumgebung neben jedem Lösungsschritt ein Textfeld programmiert, in welches die Lernenden ihre Selbsterklärungen schreiben sollen, in der Hoffnung damit die Anzahl und Qualität der Selbsterklärungen zu steigern. Ein Eintrag in das Textfeld muss erfolgen, da sonst das Lösungsbeispielstudium programmtechnisch nicht fortgesetzt werden kann. Auf die Qualität der Selbsterklärung kann dadurch selbstverständlich kein Einfluss genommen werden.

Neben den Selbsterklärungen können auch zusätzliche expertengenerierte instruktionale Erklärungen das Lernen mit Lösungsbeispielen beeinflussen. Im Rahmen dieser Studie soll unter anderem der Einfluss von integrierten Erklärungen in Kombination mit Selbsterklärungen auf den Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen geklärt werden, da die Befunde hinsichtlich des Einsatzes und Nutzen von instruktionalen Erklärungen in der Lehr- und Lernforschung nicht eindeutig in eine Richtung weisen. Bei den meisten Studien sind die instruktionalen Erklärungen optional nach Wunsch und Bedarf des Lerners abrufbar; damit wird eine heterogene Nutzung der Erklärungen geschaffen, da Lernende stark unterschiedliche Gründe haben können, die verfügbaren Erklärungen zu nutzen oder diese zu ignorieren. Deshalb wurde im Rahmen dieser Untersuchung die Nutzung der dargebotenen instruktionalen Erklärungen für die Interventionsgruppe verpflichtend gemacht, um mögliche Unterschiede identifizieren und zuordnen zu können. Die instruktionalen Erklärungen sind kurz gefasst, prinzipbasiert und stellen bei komplexen und verständnisrelevanten Lösungsschritten einen direkten Bezug zum aktuellen Lösungsschritt her. Die instruktionale Erklärung erscheint automatisch nach Beendigung der Selbsterklärungsformulierung auf derselben Bildschirmseite wie die bisher aufgerufenen Lösungsschritte und die vorher generierte Selbsterklärung. Durch dieses integrierte Erklärungsformat soll der Split-Attention-Effekt verhindert und die irrelevante kognitive Belastung reduziert werden. Zudem wird dadurch ein Abgleich zwischen generierter Selbsterklärung und expertengenerierter Erklärung als Rückmeldefunktion über den Lernfortschritt für die Lernenden geschaffen.

Die Lösungsbeispiele werden in einer computerunterstützten Lernumgebung präsentiert, das den tutoriellen Lernsystemen, speziell den Übungsprogrammen mit Rückmeldungsfunktion, zuzuordnen ist. Als Rückmeldefunktionen werden im Rahmen dieser Untersuchung zum einen die instruktionalen Erklärungen und zum anderen die

Übungsbeispiele, die in die Lernumgebung integriert sind, verstanden. Die Übungsbeispiele werden nach einer Sequenz von Lösungsbeispielen gestellt und sollen den Lernenden als Rückmeldung zum Lernfortschritt dienen.

Um den Lernenden den richtigen Lösungsweg der Problemstellung zu verdeutlichen werden die Lösungsbeispiele sehr strukturiert dargeboten. Im Gegensatz zu anderen Studien, auf denen einzelne Lösungsschritte jeweils auf einer neuen separaten Bildschirmseite präsentiert werden, werden im Rahmen dieser Arbeit die logischen Lösungsschritte nacheinander, einzeln abrufbar und untereinander auf *einer* Bildschirmseite präsentiert. Jeder vorher aufgerufene Lösungsschritt des Lösungsbeispiels bleibt für den Lernenden optisch verfügbar und ermöglicht es diesem, sich Zusammenhänge zwischen den Lösungsschritten eines Lösungsbeispiels zu verdeutlichen. Bei der Abfolge der verschiedenen Lösungsbeispiele innerhalb des Lernmoduls ist eine strukturbetonte Beispielsequenz realisiert worden, die sich laut empirischen Befunden die Schemakonstruktion bevorzugt induziert und sich vor allem bei schwachen Lernern positiv auf den Lernerfolg auswirken soll. Bei strukturbetonter Beispielsequenz erfolgt die Präsentation von multiplen Lösungsbeispielen gleicher Problemstruktur mit unterschiedlichen Oberflächenmerkmalen je Lösungsbeispiel. Die gleichen oder sehr ähnlichen Oberflächenmerkmale werden im Anschluss ebenfalls bei den anderen präsentierten Problemstrukturen verwendet.

Die Lernumgebung kann nur vorwärts gerichtet bearbeitet werden und ein nachträgliches Zurückgehen innerhalb der Lernumgebung ist programmtechnisch nicht vorgesehen. Da die Lernenden davon zu Beginn der Bearbeitung in Kenntnis gesetzt werden, wird davon ausgegangen, dass dies das Elaborationsverhalten intensivieren könnte. Ein wichtiger Vorteil der Implementation der Lösungsbeispiele in eine computerunterstützte Lernumgebung liegt in der Datenakquise. Die computerunterstützte Lernumgebung ist so programmiert worden, dass so genannte Logfiles automatisch und im Hintergrund der eigentlichen Anwendung aufgezeichnet werden. Die Logfiles dokumentieren die Navigation des Lernenden durch die Lernumgebung, z.B. Bearbeitungszeit des Lösungsbeispiels, Inhalt und Dauer der Selbsterklärungen, Lesezeit der instruktionalen Erklärungen und erlauben Rückschlüsse auf dessen Beispielstudium. Außerdem vereinfacht sich technisch die Datenaufzeichnung und -auswertung, weil der Inhalt der Selbsterklärungen automatisch in den Logfiles gespeichert wird. Mit dieser computerunterstützten Lernumgebung eröffnen sich zusätzliche Datenquellen, die ohne den Einsatz des Computers nicht oder nur mit erhöhtem Aufwand zugänglich wären.

Die Überlegenheit des Lernens mit Lösungsbeispielen bei Novizen gegenüber anderen Lernmethoden ist durch zahlreiche Studien in verschiedenen überwiegend mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachgebieten, z.B. Physik, Statistik oder Programmierung belegt. Bis lang existiert noch keine Studie im Fachgebiet Chemie, die das Lernen mit Lösungsbeispielen untersucht.

Im Rahmen dieser Dissertation soll das computerunterstützte Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie im Themenbereich Löslichkeit bei Erstsemesterstudierenden des Lehramtes Chemie untersucht werden. Insbesondere der Einfluss von integrierten instruktionalen Erklärungen in Kombination mit

Selbsterklärungen auf den Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen soll geklärt werden. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Inwieweit eignet sich computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen für ausgewählte Themenbereiche der Chemie?
2. Inwiefern fördern integrierte prinzipbasierte Erklärungen in Kombination mit Selbsterklärungen den Lernzuwachs und die Transferleistung?
3. Inwieweit werden die Selbsterklärungen von den integrierten prinzipbasierten Erklärungen beeinflusst?
4. Inwiefern beeinflusst die Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen das computerunterstützte Lernen mit Lösungsbeispielen?
5. Lassen sich beim Lernen mit Lösungsbeispielen spezielle Lernerprofile identifizieren?

6 Lernumgebung und Lösungsbeispiele

Zur Präsentation des Lerninhalts zum Themenbereich Löslichkeit wird ein Lernmodul basierend auf den Grundlagen des Lernens mit Lösungsbeispielen eingesetzt. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Lernmodul entwickelt, programmiert und evaluiert. Das Programm ist windows-basiert und ist mit dem Programmierool Delphi Version 7 der Firma Borland programmiert worden (Ausschnitt des Programmcodes: siehe Anhang A1 und A2). Bei der Gestaltung der Benutzeroberfläche ist die standardisierte Ergonomie (Benutzerfreundlichkeit) realisiert. Als wichtiges Tool zur Datenakquise ist eine automatische Aufzeichnung des zeitlichen individuellen Verlaufs der Bearbeitung programmiert und in das Lernmodul implementiert worden. Dadurch kann während der Elaborationsphase von jedem Probanden ein Logfile aufgezeichnet werden, dessen Funktion optisch für ihn nicht erkennbar, im Hintergrund des Lernmoduls abläuft. Diese Logfiles erschließen Datenquellen, die mit anderen herkömmlichen Instrumenten, z.B. Videographie, nicht oder nur in sehr eingeschränktem Ausmaß zugänglich sind.

6.1 Programmdesign und Lerninhalt

Das Lernmodul Löslichkeit umfasst insgesamt neun Lösungsbeispiele und drei Übungsbeispiele. Jedes Lösungsbeispiel besteht aus einem Aufgabentext und mehreren einzelnen Lösungsschritten, die nach logischen Zwischenzielen fragmentiert, per Mausclick sequenziell auf dem Bildschirm erscheinen (vgl. Kapitel 3.1.1). Alle bereits aufgerufenen Lösungsschritte bleiben auf der gleichen Bildschirmseite sichtbar. Der programmtechnische Aufbau jedes Lösungsbeispiels erfolgt analog. Neben jedem aktuellen Lösungsschritt erscheint unabhängig vom Untersuchungsdesign automatisch ein leeres Textfeld zur Formulierung der Selbsterklärung des Probanden. Erst nach dem Eintrag von mindestens vier Zeichen in das optisch abgesetzte Textfeld und der nachfolgenden Betätigung des „ok“-Buttons im Textfeld erfolgt automatisch die Freischaltung des nächsten Lösungsschritts, was für den Probanden durch die Aktivierung des „weiter“-Buttons visualisiert wird (siehe Abbildung 4). Mit diesen Funktionen wird sichergestellt, dass zu einem das Bearbeitungsintervall der Selbsterklärung korrekt erfasst wird und zum anderen der Proband einen Eintrag in das Textfeld vornehmen muss und es nicht unbearbeitet umgehen kann. Auf die Qualität der Eintragung kann damit kein Einfluss genommen werden.

The screenshot shows a software window titled 'M21 881111 0' from 'UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN'. The main content is 'Chemisches Gleichgewicht' and 'Löslichkeitsprodukt / Fällungsreaktionen'. Under '1. Lösungsbeispiel', the 'Problemstellung' asks for the concentration of lead ions in a saturated solution of lead(II) chloride, given its solubility product $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol}^3/\text{L}^3$ at 25°C. The 'Lösung' section shows the dissociation equation $\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$, the solubility product expression $L(\text{PbCl}_2) = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^{-})$, the relationship $c(\text{Cl}^{-}) = 2 \cdot c(\text{Pb}^{2+})$, and the final calculation $L(\text{PbCl}_2) = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c(2 \cdot c(\text{Pb}^{2+}))^2 = 4 \cdot c^3(\text{Pb}^{2+})$. A 'Selbsterklärung' dialog box is active, stating: 'Die Chlorid-Ionenkonzentration wird im Löslichkeitsprodukt durch die entsprechende Blei-Ionenkonzentration ersetzt'. Navigation buttons 'weiter' and 'ok' are visible.

Abb. 4: Screenshot eines Lösungsbeispiels mit aktiviertem Selbsterklärungsfeld

Im Lernprogramm werden drei verschiedene Problemtypen zum Lerninhalt Löslichkeit mit je drei Lösungsbeispielen und einem nachfolgenden Übungsbeispiel zum gleichen Problemtyp präsentiert. Bei der Auswahl der Lösungsbeispiele hinsichtlich Problemstruktur und Komplexität sind die Schwerpunkte der Kapitel zur Löslichkeit aus dem Lehrbuch „Chemie – Das Basiswissen der Chemie“ (MORTIMER, 2001) und dem englischsprachigen Lehrbuch „Chemistry“ (MCMURRAY & FAY, 2001) berücksichtigt worden (siehe Tabelle 6-1). Das Lehrbuch von MORTIMER wird auch in der Veranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie Übung“ in der das Modul zum Einsatz kommen soll, verwendet.

- Problemtyp 1: Aufgaben zum Löslichkeitsprodukt
- Problemtyp 2: Aufgaben zur Ionenkonzentration
- Problemtyp 3: Aufgaben zu Fällungsreaktionen

Problemtyp 1:
Bei 25 °C lösen sich 0,00188 g Silberchlorid AgCl in 1 L Wasser. Wie groß ist das Löslichkeitsprodukt L von AgCl?
Problemtyp 2:
Für PbCl ₂ ist das Löslichkeitsprodukt $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol}^3/\text{L}^3$ bei 25 °C. Wie groß ist die Blei-Ionenkonzentration in der gesättigten Lösung?
Problemtyp 3:
Berechnen Sie das Ionenprodukt von Magnesiumfluorid MgF ₂ und entscheiden Sie, ob es zu einer Fällung von MgF ₂ kommt, wenn 30 mL Magnesiumnitrat Mg(NO ₃) ₂ mit $c(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 0,040 \text{ mol/L}$ und 70 mL Natriumfluorid NaF mit $c(\text{NaF}) = 0,020 \text{ mol/L}$ vermischt werden?

Tabelle 6-1: Exemplarische Aufgabenstellungen zu den drei verschiedenen Problemtypen

Bei der Anordnung der Lösungsbeispiele ist eine strukturbetonte Lösungsbeispielsequenz realisiert worden. Es werden drei Lösungsbeispiele zur *gleichen Problemstruktur 1 mit unterschiedlichen Oberflächenmerkmalen* nacheinander elaboriert und kommentiert werden. Im Folgenden werden dieselben oder sehr ähnliche Oberflächenmerkmale für die zwei weiteren zu vermittelnden Problemtypen 2 und 3 eingesetzt (siehe Tabelle 6-2). Den Probanden² soll dadurch demonstriert werden, dass Oberflächenmerkmale nicht an eine bestimmte Problemstruktur gebunden sind und sich deshalb nicht als Indikatoren für einen bestimmten Lösungsweg eignen (vgl. Kapitel 3.1.2).

1. LB	Problemstruktur 1 (Löslichkeitsprodukt)	Oberflächenstruktur 1 ($AgCl$)
2. LB	Problemstruktur 1 (Löslichkeitsprodukt)	Oberflächenstruktur 2 ($PbCl_2$)
3. LB	Problemstruktur 1 (Löslichkeitsprodukt)	Oberflächenstruktur 3 ($BaSO_4$)
ÜB 1	Problemstruktur 1 (Löslichkeitsprodukt)	Oberflächenstruktur 4 ($AgBr$)
1. LB	Problemstruktur 2 (Ionenprodukt)	Oberflächenstruktur 1 ($PbCl_2$)
2. LB	Problemstruktur 2 (Ionenprodukt)	Oberflächenstruktur 2 ($BaSO_4$)
3. LB	Problemstruktur 2 (Ionenprodukt)	Oberflächenstruktur 3 (SrF_2)
ÜB 2	Problemstruktur 2 (Ionenprodukt)	Oberflächenstruktur 5 (Ag_2CrO_4)
1. LB	Problemstruktur 3 (Fällungsreaktionen)	Oberflächenstruktur 1 (MgF_2)
2. LB	Problemstruktur 3 (Fällungsreaktionen)	Oberflächenstruktur 2 ($PbCl_2$)
3. LB	Problemstruktur 3 (Fällungsreaktionen)	Oberflächenstruktur 3 ($Ba(OH)_2$)
ÜB 3	Problemstruktur 3 (Fällungsreaktionen)	Oberflächenstruktur 6 ($AgCl$)

Tabelle 6-2: Aufbau und Inhalt der strukturbetonten Beispielsequenz des Lernmoduls

Nach jeder Lösungsbeispielsequenz zu einer Problemstruktur muss der Proband ein entsprechendes Übungsbeispiel lösen, das als Multiple-Choice-Aufgabe aufgebaut ist (vgl. Kapitel 3.1.2).

² Im Folgenden werden Probandinnen und Probanden unter dem Begriff Probanden zusammengefasst.

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Chemisches Gleichgewicht
Löslichkeitsprodukt / Fällungsreaktionen

4. Lösungsbeispiel

Problemstellung.
Welche Chlorid-Ionenkonzentration muß erreicht werden, damit aus einer gesättigten Silberchromat-Lösung (Ag_2CrO_4) Silberchlorid (AgCl) ausfällt?
 $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,9 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^3/\text{L}^3$; $L(\text{AgCl}) = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

- $c(\text{Cl}^-) = 6,2 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$
- $c(\text{Cl}^-) = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$
- $c(\text{Cl}^-) = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$
- $c(\text{Cl}^-) = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$

Information
Die Antwort ist richtig.
OK

nächste Aufgabe

Abb. 5: Screenshot einer Übungsaufgabe mit automatischer Rückmeldung

Nach Markierung der vermeintlichen Lösung erhält der Proband unmittelbar Rückmeldung über die Richtigkeit seines Ergebnisses und hat, falls er beim ersten Lösungsversuch nicht erfolgreich war, noch zwei weitere Eingabemöglichkeiten (siehe Abbildung 5). Durch Markierung des richtigen Ergebnisses wird der Button „Nächste Aufgabe“ aktiviert. Danach folgen nach analogem Schema die Lösungsbeispiele mit entsprechendem Übungsbeispiel mit den Problemstrukturen 2 und 3 (siehe Tabelle 6-2). Die Nebenrechnungen zur Übungsaufgabe werden auf Papier durchgeführt, das in dieser Untersuchung nach der Elaborationsphase wieder eingesammelt wird. Die Übungsaufgaben weisen im Vergleich zu der vorhergehenden Lösungsbeispielesequenz dieselbe Problemstruktur jedoch veränderte Oberflächenmerkmale auf. Für jede Übungsaufgabe werden vier Antwortmöglichkeiten vorgegeben.

Die Komplexität der Lösungsbeispiele nimmt innerhalb der Lösungsbeispielesequenz einer Problemstruktur von Aufgabe eins bis drei und innerhalb des Lernmoduls von Problemstruktur eins bis drei zu.

Das Lernmodul kann nur vorwärts gerichtet bearbeitet werden. Ein Zurückgehen innerhalb der verschiedenen Lösungsschritte und Lösungsbeispiele ist nicht möglich. Mit dieser bewusst eingeschränkten Navigation innerhalb Lernmoduls soll ein intensiveres Elaborationsverhalten erreicht und das ineffektive Kopieren von Einträgen vermieden werden.

6.2 Integrierte instruktionale Erklärungen

Das Lernmodul ist in zwei verschiedenen Versionen eingesetzt worden. Sie unterscheiden sich durch den Einsatz von integrierten prinzipbasierten instruktionalen Erklärungen: die Version eins des Lernmoduls für die Interventionsgruppe enthält integrierte instruktionale Erklärungen (siehe Abbildung 6), die Version zwei für die

Kontrollgruppe enthält keine integrierten instruktionalen Erklärungen. Hinsichtlich Aufbau, Abfolge und Inhalt existieren zwischen den Versionen keine Unterschiede. Nachdem die Probanden der Interventionsgruppe ihre Selbsterklärung in das vorgesehene Textfeld eingegeben haben und diese mit dem „ok“ – Button bestätigen, wird automatisch eine Erklärung zu dem aktuell aufgerufenen Lösungsschritt, am Bildschirm sichtbar. Diese integrierte instruktionale Erklärung erscheint im Unterschied zu der Lernumgebung von RENKL (1997a) immer an derselben Stelle des Bildschirms und ist gleichzeitig mit allen bisher aufgerufenen Lösungsschritten sichtbar. Das Erklärungsfeld ist durch eine andere Hintergrundfarbe optisch abgesetzt. Die integrierten Erklärungen sind prinzipbasiert und kurz gefasst. Sie enthalten zur Verdeutlichung des Lerninhalts neben dem allgemeinen theoretischen Prinzip vor allem bei den komplexen Lösungsschritten der Lösungsbeispiele, direkte Bezüge zum aktuell aufgerufenen Lösungsschritt. Die Bezüge zum aktuellen Lösungsbeispiel werden durch Einsetzen der chemischen Verbindungen oder Zahlenwerte aus der Aufgabenstellung in das präsentierte Prinzip oder die Formelgleichung hergestellt.

The screenshot shows a software interface for a learning environment. At the top left, there is a logo for 'UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN'. The main content area is titled 'Problemstellung:' and contains the text: 'Für Bleichlorid, $PbCl_2$, ist das Löslichkeitsprodukt $K_{sp} = 1,7 \cdot 10^{-5}$. Wie groß ist die Konzentration der Blei-Ionen in der gesättigten Lösung?'. Below this, there is a 'Lösung:' section with the following chemical and mathematical expressions:

$$PbCl_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2Cl^{-}(aq)$$

$$L(PbCl_2) = c(Pb^{2+}) \cdot c^2(Cl^{-})$$

$$c(Cl^{-}) = 2 \cdot c(Pb^{2+})$$

$$L(PbCl_2) = c(Pb^{2+}) \cdot c(2 \cdot c(Pb^{2+}))^2 = 4 \cdot c^3(Pb^{2+})$$
 To the right of these equations are four 'weiter' buttons. A yellow 'Erklärung' window is open over the top part of the solution, containing the text: 'Im Löslichkeitsprodukt wird die Chlorid-Ionenkonzentration durch die Blei-Ionenkonzentration ersetzt und mathematisch vereinfacht.' and a 'schließen' button. A white 'Selbsterklärung' window is open at the bottom right, containing the text: 'Die Chlorid-Ionenkonzentration wird im Löslichkeitsprodukt durch die entsprechende Blei-Ionenkonzentration ersetzt' and an 'ok' button. The top left corner of the window shows 'M21 AA1111 1'.

Abb. 6: Screenshot eines Lösungsbeispiels der Version eins mit integrierter instruktionaler Erklärung

Das Lösungsbeispielstudium kann erst fortgesetzt werden, wenn der „schließen“- Button im Erklärungsfeld betätigt worden ist. Damit wird der „weiter“-Button neben dem zuletzt bearbeiteten Lösungsschritt aktiviert. Durch Anklicken dieses Buttons kann der nächste Schritt aufgerufen werden. Die kleinschrittige Programmierung des Lernmoduls basierend auf den verschiedenen Buttons markiert zahlreiche Haltepunkte während des Lösungsbeispielstudiums. Aufgrund dieser Haltepunkte können quantitative Aussagen über die Verweildauer der Probanden bei den entsprechenden Lernbedingungen gemacht werden.

Ein Struktogramm (siehe Abbildung 7) soll den Unterschied im Ablauf zwischen den einzelnen Lösungsschritten der beiden Versionen verdeutlichen.

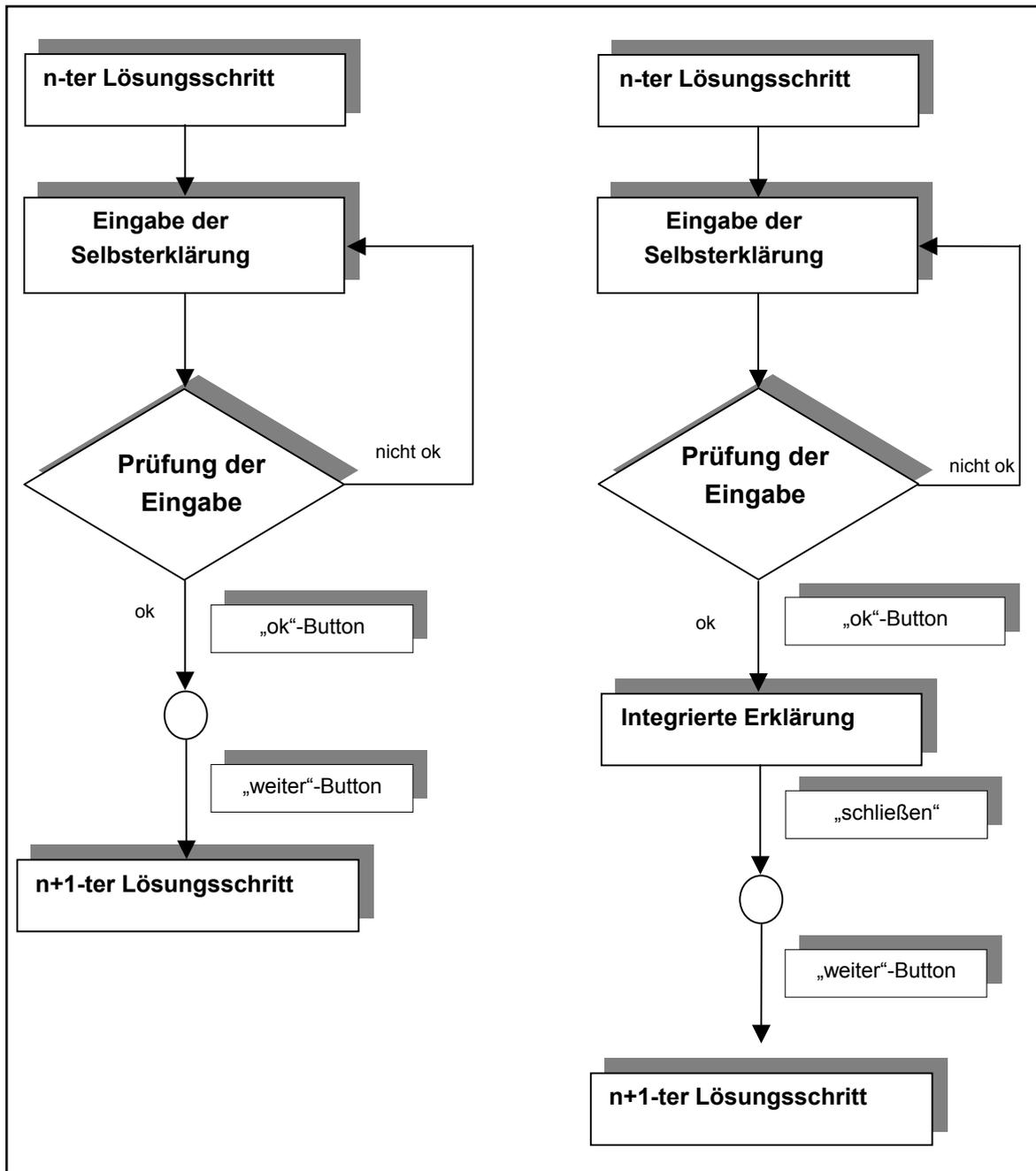


Abb. 7: Struktogramm eines exemplarischen Lösungsschritts der Version eins mit integrierter instruktionaler Erklärung (rechts) und Version zwei (links) ohne Erklärung

Die Bearbeitung eines kompletten Lösungsbeispiels wird nach dem letzten Lösungsschritt durch Betätigen des Buttons „Nächste Aufgabe“ abgeschlossen und der Aufgabentext des nächsten Lösungsbeispiels erscheint auf einer neuen Bildschirmseite (siehe Abbildung 8).

M32 AA1111 1

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Chemisches Gleichgewicht
Löslichkeitsprodukt / Fällungsreaktionen

2. Lösungsbeispiel

Problemstellung:
Bleichlorid wird durch Zugabe einer Kochsalzlösung zu einer Bleisalzlösung hergestellt. Entscheiden Sie mit Hilfe des berechneten Ionenproduktes $I(\text{PbCl}_2)$, ob es zur Fällung von Bleichlorid (PbCl_2) kommt wenn 20 mL Bleinitratlösung mit der Stoffmengenkonzentration $c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0,015 \text{ mol/L}$ und 50 mL einer Kochsalzlösung $c(\text{NaCl}) = 0,020 \text{ mol/L}$ vermischt werden?
 $L(\text{PbCl}_2) = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

Lösung

$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{PbCl}_2(\text{s})$ weiter

Verdünnungsfaktor(f) = $\frac{V(\text{Lösung})}{V(\text{Gesamtlösung})}$ weiter

$V(\text{Gesamtlösung}) = V(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) + V(\text{NaCl})$

$c(\text{Pb}^{2+}) = c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \cdot \text{Verd.faktor}(f) = c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \cdot \frac{V(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{V(\text{Gesamtlösung})}$ weiter

$c(\text{Pb}^{2+}) = 0,015 \text{ mol/L} \cdot \frac{0,020 \text{ L}}{(0,02 \text{ L} + 0,05 \text{ L})} = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

$c(\text{Cl}^{-}) = c(\text{NaCl}) \cdot \text{Verdünnungsfaktor}(f) = c(\text{NaCl}) \cdot \frac{V(\text{NaCl})}{V(\text{Gesamtlösung})}$ weiter

$c(\text{Cl}^{-}) = 0,020 \text{ mol/L} \cdot \frac{0,05 \text{ L}}{(0,03 \text{ L} + 0,05 \text{ L})} = 0,014 \text{ mol/L}$

$I(\text{PbCl}_2) = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^{-}) = (4,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}) \cdot (0,014 \text{ mol/L})^2$ weiter

$I(\text{PbCl}_2) = 8,8 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^3/\text{L}^3$; $L(\text{PbCl}_2) = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol}^3/\text{L}^3$

$\Rightarrow I(\text{PbCl}_2) < L(\text{PbCl}_2)$

\Rightarrow keine Fällung von PbCl_2 aus der Gesamtlösung Nächste Aufgabe

Selbsterklärung
Keine Fällung, da Ionenprodukt kleiner als Löslichkeitsprodukt ok

Abb. 8: Screenshot eines vollständigen Lösungsbeispiels

Das Lernmodul umfasst unabhängig von der Version, zwölf Bildschirmseiten (analog Abbildung 8). Da in Version eins die Erklärungen in die aktuelle Bildschirmseite integriert werden, sind für die Erklärungsfelder keine zusätzlichen Bildschirmseiten erforderlich.

7 Untersuchungsdesign und Methode

7.1 Probanden

An der Untersuchung nahmen 28 Studierende des Lehramtes Chemie Gymnasium der Universität Duisburg-Essen teil. Alle Probanden waren zeitgleich Teilnehmer³ an der semesterbegleitenden Pflichtveranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie Übung“ in der das Lernmodul zum Einsatz kommen soll. Den Probanden wird zugesichert, dass ihre Daten und Ergebnisse vertraulich behandelt werden. Jeder Proband kreiert nach einem festgelegten Schema eine Codenummer, die nur ihm bekannt ist. Diese persönliche Codenummer dient als Identifikationsnummer für alle erhobenen Daten des jeweiligen Probanden. An der Untersuchung nehmen mehr männliche als weibliche Probanden teil, von 28 Studierenden sind 9 Frauen (32.1%) und 19 Männer (67.9%). Das Alter der Teilnehmer liegt zwischen 19 und 26 Jahren; das Durchschnittsalter bei 21,5 Jahre. Die Vorbildung der Probanden in Chemie wird nach Grundkurs Chemie (10 bzw. 35.7%), Leistungskurs Chemie (12 bzw. 42.9%), Chemieunterricht bis zur 10. Klasse (5 bzw. 17.9%) und Chemischer Berufsausbildung (1 bzw. 3.6%) differenziert.

Die Probanden verbringen pro Tag im Durchschnitt 1.7 Stunden vor dem Computer, dabei variiert die Zeit von 0.5 bis 4 Stunden. Sie nutzen den Computer am häufigsten für den Internetzugang (Internetsurfen, e-Mailing) (96.4%) und zur Textverarbeitung (92.9%). Weniger Probanden geben an, den Computer für Computerspiele (71.4%) und zur Nutzung von multimedialen Lexika (57.1%) zu verwenden. Seltener wird der Computer zur Bild- und Grafikbearbeitung (32.1%), für Lernsoftware (32.1%) und zur Programmierung (17.9%) eingesetzt. Die Nutzung von Lernsoftware wird prozentual von annähernd gleich vielen männlichen (31.6%) und weiblichen (33.3%) Probanden angegeben.

25.0% der Probanden geben an, Lernsoftware gerne zu nutzen, 67.9% verwenden Lernsoftware nur, wenn sie müssen und 7.1% lehnen Lernsoftware ab. Bei der Vorbereitung auf eine Klausur würden sich 7.1% mit einem multimedialen Lehrbuch und 82.1% mit einem klassischen Lehrbuch vorbereiten. Für 10.7% der Probanden kämen beide Möglichkeiten der Vorbereitung in Frage.

7.2 Untersuchungsdesign

Die Untersuchung basiert auf einem einfaktoriellen zweifach gestuften Design. Es wird das Lernmaterial (Lernmodul) hinsichtlich der *Bereitstellung von integrierten prinzipbasierten instruktionalen Erklärungen* variiert. 14 Probanden bearbeiten die Lösungsbeispiele mit den integrierten Erklärungen und 14 Probanden elaborierten dieselben Lösungsbeispiele ohne integrierte Erklärungen. Um annähernd gleiche Lerner Voraussetzungen in beiden Gruppen zu schaffen, erfolgt die Einteilung der Gruppen nicht zufällig, sondern durch Parallelisierung. Basierend auf möglichst gleichen Mittelwerten

³ Im Folgenden werden Teilnehmerinnen und Teilnehmer unter dem Begriff Teilnehmer zusammengefasst.

und Standardabweichungen bei den Ergebnissen des kognitiven Fähigkeitstests, eines themenübergreifenden chemischen Leistungstests und eines themenspezifischen Vorwissenstests werden die Gruppen differenziert. Nach Applikation aller festgelegten Kriterien werden der Interventionsgruppe mit Erklärung⁴ 10 männliche und 4 weibliche Studierende zugeordnet, während die Kontrollgruppe ohne Erklärungen 9 männliche und 5 weibliche Teilnehmer umfasst.

7.3 Aufgabenstellung

Die Probanden sollen anhand des Lernmoduls mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen elementare Kenntnisse zum Thema Löslichkeit erwerben. Vor der Bearbeitung des Lernmoduls erhalten die Probanden einen Lehrtext als Einführung in den Themenbereich (vgl. Kapitel 7.4) Die anschließende Bearbeitung des Lernmoduls durch den Probanden findet eigenständig in Individualsitzungen am Computer statt. Die Probanden werden instruiert, die Aufgabenstellung der Lösungsbeispiele sorgfältig zu lesen und anschließend die Lösungsschritte nacheinander aufzurufen. Sie erhalten dazu die Instruktion, in das automatisch erscheinende freie Textfeld eine selbstgenerierte Erklärung zum aktuell aufgerufenen Lösungsschritt zu formulieren. Probanden, welche die Version eins des Lernmoduls bearbeiten, wird nach Abschluss der Selbsterklärungseingabe obligatorisch eine instruktionale Erklärung präsentiert. Beide Lerngruppen werden informiert, dass das Lernmodul nur vorwärts gerichtet funktioniert und ein Zurückgehen innerhalb des Lernmoduls bzw. des Lösungsbeispiels nicht möglich ist.

Die Bedienung des Computerprogramms wird anhand eines einfachen Lösungsbeispiels demonstriert. Die Probanden erhalten die Information, dass bei den Selbsterklärungen übliche Abkürzungen von chemischen Größen und Formelzeichen verwendet werden können und bei den chemischen Summenformeln auf das Hoch- und Tiefstellen der Indexe ausnahmsweise verzichtet werden darf. Damit soll verhindert werden, dass der qualitative und quantitative Umfang der Selbsterklärung an der Tippfertigkeit der Probanden scheitert. Die Bearbeitungszeit des Lernmoduls (time on task) ist auf 135 Minuten festgelegt. Dieser Wert ergibt sich aus dem Testlauf des Lernmoduls mit drei Studierenden, die über ähnliche Ausgangsvoraussetzungen wie die Probanden verfügten. Die Zeit für die einzelnen Lösungsbeispiele bzw. Lösungsbeispielschritte ist nicht fixiert, da ein von außen auferlegtes Zeitmanagement die Lernleistung der Probanden und die Akzeptanz des Lernmoduls beeinflussen könnte.

7.4 Lehrtext

Anhand eines Lehrtextes erhalten alle Probanden eine Einführung in die grundlegenden Prinzipien und Konzepte zur Löslichkeit. Der Lehrtext ist dem in der Veranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie Übung“ verwendeten Lehrbuch „Chemie – Das Basiswissen der Chemie“ (MORTIMER 2001) entnommen und wurde leicht modifiziert. Aus dem Lehrtext sind die ausgearbeiteten Beispielaufgaben entfernt und nur Formeln und theoretische Konzepte mit dem erläuternden Text enthalten. Der Lehrtext umfasst

⁴ Im Folgenden werden vereinfachend die Bezeichnungen Interventionsgruppe mit Erklärung und Kontrollgruppe ohne Erklärung verwendet.

zweieinhalb DIN A 4 Seiten mit ca. 750 Wörtern (Lehrtext: siehe Anhang B). Er ist wie folgt strukturiert:

- Zusammenfassung
- Löslichkeitsprodukt
- Fällungsreaktionen und Ionenprodukt
- Schlüsselbegriffe

Die *Zusammenfassung* beschreibt in stark gekürzter Form die Bedeutung und die theoretischen Grundlagen des Lösungsgleichgewicht und des Löslichkeitsprodukts. Sie erläutert die Bedeutung des Ionenprodukts und gleichioniger Zusätze bei Fällungsreaktionen. Im Absatz zum *Löslichkeitsprodukt* wird ausführlicher auf die Bedeutung, Formulierung und Temperaturabhängigkeit des Löslichkeitsprodukts eingegangen. Im Abschnitt Fällungsreaktionen wird die Bedeutung und Formulierung des Ionenprodukts und dessen Einfluss auf Fällungsreaktionen erklärt. Nachfolgend wird der Einfluss von gleichionigen Zusätzen auf das Lösungsgleichgewicht diskutiert. Abschließend werden in Definitionsform die vier Schlüsselbegriffe Löslichkeitsprodukt, Ionenprodukt, Salzeffekt und gleichionige Zusätze erläutert.

Der Lehrtext wird unmittelbar vor der Bearbeitung des Lernmoduls an alle Probanden ausgeteilt. Die Probanden erhalten die Anweisung, den Lehrtext 15 Minuten lang in der für sie gewohnten Weise zu bearbeiten beispielsweise wichtige Informationen zu markieren oder zu unterstreichen. Der Lehrtext wird nach Ablauf der vorgegebenen Zeit wieder eingesammelt und steht während des Lösungsbeispielstudiums am Computer nicht zur Verfügung.

7.5 Versuchsablauf

Die Untersuchung wird in drei Sitzungen durchgeführt (siehe Tabelle 7-1). In der ersten Sitzung absolvieren alle Probanden einen standardisierten kognitiven Fähigkeitstext. In der zweiten Sitzung findet ein Vortest statt und es wird ein Prä-Fragebogen ausgegeben in dem die biografischen Daten der Probanden sowie Angaben zu der Nutzung, Einstellung und Akzeptanz von Computern und Lernsoftware erhoben wird. In der dritten Sitzung kommt der Lehrtext als Einführung in den Themenbereich Löslichkeit zum Einsatz und das Lernmodul wird elaboriert. Die Versuchsleiterin erläutert den Probanden anhand eines einfachen Lösungsbeispiels nach Version zwei (Lernmodul ohne integrierte instruktionale Erklärungen) die Handhabung des Lernmoduls direkt am Computer. Außerdem erhalten sie eine kurze Instruktion zum Eintrag in das Textfeld der Selbsterklärung. Für die Formulierung der Selbsterklärung sind standardisierte Abkürzungen von chemischen Größen und Begriffen, sowie eine vereinfachte Darstellung von chemischen Summenformeln zugelassen. Fragen zur technischen Handhabung des Lernmoduls und des Textfelds zur Selbsterklärung werden unmittelbar nach der Einführungsphase von den Versuchsleitern beantwortet.

Im Anschluss beginnt die eigentliche Lernphase mit dem Lernmodul. Die Probanden haben, unabhängig von der Version, 135 Minuten Zeit, die Lösungsbeispiele zu bearbeiten und die entsprechenden Selbsterklärungen zu formulieren. Die Probanden, die Version eins (Lernmodul mit integrierten instruktionalen Erklärungen) bearbeiten,

erhalten nach dem Einfügen und Bestätigen der Selbsterklärung eine obligatorische integrierte Erklärungen zum aktuell aufgerufenen Lösungsbeispielschritt. Nach der Bearbeitung des Lernmoduls ist für die Probanden eine Regenerationsphase von 15 Minuten vorgesehen.

Im Anschluss sollen die Probanden einen Nachtest bearbeiten. Abschließend wird ein Post-Fragebogen gestellt, mit dem die Probanden erneut zur Akzeptanz von Lernsoftware und computerunterstütztem Lernen befragt werden. Ergänzend werden sie aufgefordert, maximal je vier positive und negative Aspekte zu nennen, die ihnen bei der Bearbeitung des Lernmoduls aufgefallen sind.

1. Sitzung (t_{ges}= 90 min)
<ul style="list-style-type: none"> • Kognitiver Fähigkeitstest (Kurzform)
2. Sitzung (t_{ges}= 70 min)
<p>a) Vortest (t=60 min)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Themenübergreifender Leistungstest • Themenspezifischer Test <p>b) Fragebogen (t=10 min)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computernutzung (Art und Dauer) • Einstellung zum computerunterstütztem Lernen • Vergleich computerunterstütztes Lernen / herkömmliche Lehr- und Lernformen • Biografische Daten
3. Sitzung (t_{ges}= 240 min)
<p>a) Instruktion (t=5 min)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lernmodul • Selbsterklärung <p>b) Lehrtext (t=15 min)</p> <p>c) Lernmodul mit Lösungsbeispielen (t=135 min)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Version 1: Lernmodul mit integrierten Erklärungen (n=14) • Version 2: Lernmodul ohne integrierte Erklärungen (n=14) <p style="text-align: center;">Pause (t=15 min)</p> <p>d) Nachtest (t=60 min)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Themenspezifische Aufgaben zum nahen Transfer • Themenspezifische Aufgaben zum weiten Transfer <p>e) Fragebogen (t=10 min)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einstellung zum computerunterstütztem Lernen • Vergleich computerunterstütztes Lernen / herkömmliche Lehr- und Lernformen • Negative und positive Aspekte des Lernmoduls

Tabelle 7-1: Übersicht zum zeitlichen Ablauf der Untersuchung

7.6 Instrumente

Die verwendeten Instrumente zur Datenerhebung werden weitgehend entsprechend ihrem zeitlichen Einsatz während der Untersuchung dargestellt. Als erstes erfolgt die Beschreibung der Verfahren zur Differenzierung und Parallelisierung der Gruppen. Im Anschluss werden die Tests zur Erfassung des Lernzuwachses, der Transferleistung und der Einstellung zu computerunterstütztem Lernen und Lernsoftware vorgestellt. Eine ausführliche Darstellung der Erhebung der Prozessdaten schließt das Kapitel.

Die im Rahmen der Auswertung angewendeten statistischen Methoden stammen aus den Bereichen deskriptive Statistik und Interferenzstatistik (BORTZ & DÖRING 2003; BORTZ 1999).

Die Methoden der deskriptiven Statistik, die zur Beschreibung und Darstellung von Merkmalsverteilungen in der Gesamtstichprobe und in den Teilstichproben appliziert werden, sind:

- Grafische und tabellarische Analysen von Häufigkeitsverteilungen
- Median
- Arithmetischer Mittelwert
- Standardabweichung
- z-Standardisierung (vgl. BORTZ 1999, S. 45)
- Effektstärke d (vgl. BORTZ & DÖRING 2003, S. 604)
- Produkt-Moment-Korrelation r nach Pearson (vgl. BORTZ 1999, S. 196)
- Rangkorrelation nach Spearman (Spearman ρ) (vgl. BORTZ 1999, S. 223)
- Hierarchische Clusteranalyse (vgl. BORTZ 1999, Kap. 16)
- Reliabilität nach Cronbach (Cronbach α) (vgl. BORTZ & DÖRING 2003, S.198)

Die eingesetzten Entscheidungsverfahren der Interferenzstatistik, die Rückschlüsse auf die Generalisierbarkeit der Ergebnisse aus Stichprobendaten auf die Gesamtpopulation liefern sollen sind:

- t-Test für unabhängige Stichproben (vgl. BORTZ 1999, S.137)
- t-Test für abhängige Stichproben (vgl. BORTZ 1999, S. 140)
- Kovarianzanalyse (vgl. BORTZ 1999, Kap. 10)

Als Programmsystem zur statistischen Datenanalyse wird das weit verbreitete SPSS der Version 12.0 verwendet.

7.6.1 KFT-Test

Zu Beginn der ersten Sitzung wird ein standardisierter kognitiver Fähigkeitstest nach Beltz (HELLER 2000) durchgeführt. Aufgrund der Vorbildung der Probanden kommt die Version Kurzform A für die Klasse 12+ zum Einsatz. Das Aufgabenheft umfasst sechs Aufgabenteile. Je zwei Subtests bestehen aus verbalen Aufgaben (V-Test 1 und 3), quantitativen Aufgaben (Q-Test 1 und 2) und nonverbalen Aufgaben (N-Test 1 und 2).

Der verbale Teil umfasst 45 Aufgaben, der quantitative Teil 45 Aufgaben und der nonverbale Teil 50 Aufgaben im Multiple-Choice-Format. Die Ergebnisse werden auf einem vorgegebenen standardisierten Antwortbogen markiert. Es wird die Gesamt-

leistung sowie die Ergebnisse in den drei Teilgebieten erhoben. Die Gesamtleistung des kognitiven Fähigkeitstests jedes Probanden wird mit Hilfe von Normtabellen (HELLER 2000, S.216) in schultypbezogene Standardwerte (T-ST-Werte) transformiert. Dazu werden die Normtabellen der KFT-Kurzform-Gesamtleistung (Gymnasialnormen, Jahrgangsstufe 12, Form A) verwendet. Die standardisierten Werte werden zur Differenzierung der Probanden herangezogen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der T-ST- Werte sollen nach der Einteilung der Probanden in beiden Gruppen annähernd den gleichen Wert aufweisen.

7.6.2 Fragebögen

Der Prä-Fragebogen wird in der ersten Sitzung zeitlich vor dem Vortest gestellt. Mit sechs Fragen soll die Nutzung von Computern, die Einstellung zu computerunterstütztem Lernen und zu Lernsoftware erfasst werden. In Frage eins und zwei waren die Probanden aufgefordert, Auskunft über ihre Computernutzung (Dauer, Anwendungsbereiche) zu geben (KUMMER 2000). Die Fragen drei und vier evaluieren die Akzeptanz und die Einstellung zu computerunterstütztem Lernen. Beide Fragen stammen aus einem Fragebogen, der bereits mehrmals zur Evaluation von multimedialen Lehrveranstaltungen in der Bioinformatik bei insgesamt 500 Probanden der Universität Tübingen eingesetzt wurde (BARQUERO, CREß & HESSE 2000). Aus diesem Grund wird die Reliabilität dieser Testfragen nicht erneut bestimmt, da von einer akzeptablen Reliabilität auszugehen ist. In Frage drei werden 24 Adjektivpaare (Items) präsentiert, mit denen die Probanden auf einer sechsstufigen Skala ihre Einstellung zum Lernen am Computer beschreiben und einschätzen sollen.

3. Wie stellen Sie sich das Lernen mit dem Computer vor?									
a	erfreulich	1	2	3	4	5	6	unerfreulich	
b	anregend	1	2	3	4	5	6	ermüdend	

Tabelle 7-2: Exemplarische Adjektivpaare zur Erfassung der Akzeptanz und ihrer Dimensionen

Mit den verschiedenen Items werden die drei unterschiedlichen Dimensionen der Akzeptanz abgedeckt:

- emotionale Dimension (z.B. erfreulich - unerfreulich)
- motivationale Dimension (z.B. anregend - ermüdend)
- kognitive Dimension (z.B. anspruchsvoll - anspruchslos)

In Frage vier werden die Probanden aufgefordert ihre Vorstellungen zum Lernen mit neuen Medien im Vergleich zu herkömmlichen Lehr- und Lernformen in eine sechsstufige Skala einzuordnen. Dazu werden fünf Aussagenpaare angeboten, zu denen die Probanden Stellung nehmen sollen.

4. Wie stellen Sie sich das Lernen mit neuen Medien im Vergleich zu herkömmlichen Lehr-/Lernformen (z.B. Lehrbücher) vor? Präsenzveranstaltungen,								
a	regt zum vertieften Lernen an	1	2	3	4	5	6	führt zum oberflächlichen Lernen

Tabelle 7-3: Exemplarisches Aussagepaar zum Lernen mit neuen Medien im Vergleich zu herkömmlichen Lehr- und Lernformen

Die letzten beiden Fragen erheben die individuellen Präferenzen der Probanden in Bezug auf die Benutzung von Lernsoftware.

6. Einstellung zu Lernsoftware:	
a)	Ich benutze gerne Lernsoftware
b)	Ich benutze Lernsoftware ungern und nur wenn ich muss
c)	Ich lehne Lernsoftware ab

Tabelle 7-4: Frage zur persönlichen Präferenz bezüglich der Nutzung von Lernsoftware

Sie sollen außerdem Auskunft darüber geben, ob sie zur Vorbereitung auf eine Klausur ein Lehrbuch oder ein multimediales Lehrbuch bevorzugen. Am Ende des Fragebogens werden die biografischen Daten der Probanden, die Alter, Geschlecht und chemische Vorbildung umfassen, erhoben (Prä-Fragebogen: siehe Anhang C).

Der Post-Fragebogen wird unmittelbar nach der Lernphase mit dem computerunterstützten Lernmodul zum Einsatz ausgegeben. Um eine mögliche Veränderung in der Akzeptanz und Einstellung der Probanden feststellen zu können, werden die Fragen drei und vier des Prä-Fragebogen erneut im Post-Fragebogen gestellt. Der Post-Fragebogen enthält zusätzlich zwei offene Fragen, in denen die Probanden aufgefordert werden, je maximal vier Punkte zu nennen, die ihnen an dem Lernmodul zur Löslichkeit positiv oder negativ aufgefallen sind (Post-Fragebogen: siehe Anhang D).

7.6.3 Vortest

Der Vortest umfasst einen themenübergreifenden Leistungstest und einen themenspezifischen Vorwissenstest. Es sind zwei Testversionen A und B entwickelt worden, die sich in der Abfolge der Aufgaben, nicht hinsichtlich des Inhalts unterscheiden. Sie sind alternierend verteilt worden und sollen ein Kopieren der Antworten verhindern. Die vier Antwortmöglichkeiten je Testaufgabe werden im Multiple-Choice-Format präsentiert. Bei der Vorgabe der Antwortmöglichkeiten werden neben der richtigen Lösung auch Ergebnisse angeboten, welche die Probanden aufgrund von klassischen Fehlvorstellungen zur Thematik oder Rechenfehlern ebenfalls erhalten könnten. Zum einen wird dadurch der Gleichwertigkeit der Auswahlantworten Rechnung getragen (LIENERT & RAATZ 1998) und zum anderen soll auf diese Art eine Antwort nach dem Ausschlussverfahren erschwert werden. Die Position der richtigen Auswahlantwort ist zufällig mit Hilfe eines vierseitigen Würfels zugeordnet worden. Die richtige Lösung ist auf einem vorgegebenen Antwortbogen zu markieren. Die

Nebenrechnungen dürfen im Aufgabenheft neben den Antwortmöglichkeiten durchgeführt werden.

Da es sich bei den Probanden um Erstsemesterstudierende handelt, ist erfahrungsgemäß davon auszugehen, dass das Vorwissen zum Themenbereich Löslichkeit bei den meisten gering ist. Es ist daher absehbar, dass ein themenspezifischer Prä-Test Bodeneffekte aufweisen würde und eine reelle Differenzierung der Probanden dadurch unmöglich wird. Um diese Verfälschung der Gruppeneinteilung zu verhindern ist der klassische Vortest um einen themenübergreifenden chemischen Leistungstest erweitert worden. Die Summe der beiden Testteile des Vortests ergibt ein theoretisches Punktmaximum von 15 Punkten (siehe Anhang D). Als Reliabilitätsangabe des Vor- und Nachtests dient die Schätzung der inneren Konsistenz nach Cronbach (Cronbach alpha). Die Reliabilität des Vortests beträgt $\alpha = .61$.

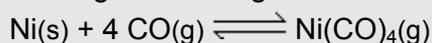
7.6.3.1 Themenübergreifender Leistungstest

Mit dem themenübergreifenden Leistungstest sollen die Kenntnisse zu ausgewählten Schwerpunktthemen der Allgemeinen und Anorganischen Chemie evaluiert werden. Die Aufgabenauswahl erfolgt basierend auf zwei bereits in der Veranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie Übung“ behandelten Schwerpunkten:

- Stöchiometrie
- Chemisches Gleichgewicht

Das Ergebnis des Leistungstests dient als Kriterium für die Differenzierung der Gruppen. Der themenübergreifende Leistungstest umfasst sieben Aufgaben. Es sollen zwei Aufgaben zum Massenwirkungsgesetz, drei Aufgaben zu Stoffumsätzen und zwei Aufgaben zu Stoffmenge und Massenanteil gelöst werden. Bei allen Aufgaben wird ein Punkt für die richtige Lösung vergeben. Das theoretische Maximum der Punktzahl im Leistungstest liegt damit bei sieben.

Geben Sie die richtige Formulierung des Massenwirkungsgesetzes für folgende heterogene Gleichgewichtsreaktion an:



a)
$$K_c = \frac{c(\text{Ni(CO)}_4)}{c(\text{Ni}) \cdot c^4(\text{CO})}$$

b)
$$K_c = \frac{c^4(\text{CO}) \cdot c(\text{Ni})}{c(\text{Ni(CO)}_4)}$$

c)
$$K_c = \frac{c(\text{Ni(CO)}_4)}{c^4(\text{CO})}$$

d)
$$K_c = \frac{c^4(\text{CO})}{c(\text{Ni(CO)}_4)}$$

Wie viel Gramm Iodwasserstoff (HI) entstehen aus 5,00 g PI_3 bei der vollständigen Umsetzung gemäß der Reaktionsgleichung
 $\text{PI}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{HI} + \text{H}_3\text{PO}_3$?

- a) 1,53 g
- b) 0,51 g
- c) 4,66 g
- d) 14,8 g

Tabelle 7-5: Aufgabenbeispiele aus dem themenübergreifenden Leistungstest

7.6.3.2 Themenspezifischer Vorwissenstest

Der themenspezifische Vorwissenstest dient zur Evaluierung des Vorwissens zum Themenbereich Löslichkeit und fixiert den Basiswert für die Bestimmung des Lernzuwachses. Den acht Aufgaben des Vorwissenstests liegen drei Schwerpunkte des Themenbereichs zugrunde:

- Löslichkeitsprodukt
- Ionenprodukt
- Fällungsreaktionen

Zwei Aufgaben prüfen die Formulierung des Löslichkeitsprodukts für schwerlösliche Salze und setzen nur sehr basale Kenntnisse zur Löslichkeit voraus. Je zwei Aufgaben verlangen die Berechnung des Löslichkeitsproduktes und der Ionenkonzentrationen basierend auf dem Löslichkeitsprodukt. Zwei weitere Aufgaben fordern die Berechnung des Ionenprodukts und eine Entscheidung über das Vorliegen einer Fällungsreaktion. Der komplette Aufgabensatz des themenspezifischen Vorwissenstest wird im Nachtest zur Ermittlung des Lernzuwachses erneut eingesetzt. Analog dem Leistungstest wird je Aufgabe ein Punkt für die richtige Lösung vergeben. Die theoretische Maximalpunktzahl liegt damit bei 8 Punkten.

A. Formulieren Sie das Löslichkeitsprodukt L für das Salz AgCl.

B. Bei 25°C lösen sich $7,8 \cdot 10^{-5}$ mol Silberchromat in 1 L Wasser. Wie groß ist das Löslichkeitsprodukt von Ag_2CrO_4 ?

C. Welche Sulfationen-Konzentration (SO_4^{2-}) ist notwendig, damit aus einer gesättigten BaF_2 -Lösung BaSO_4 auszufallen beginnt?
 $L(\text{BaF}_2)=2,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3$; $L(\text{BaSO}_4)=1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

D. Entscheiden Sie mit Hilfe des berechneten Ionenproduktes I , ob es zur Fällung von Bleichlorid $PbCl_2$ kommt, wenn 20 mL einer Bleinitratlösung mit der Stoffmengen-konzentration $c(Pb(NO_3)_2)=0,015 \text{ mol/L}$ und 50 mL einer Kochsalzlösung $c(NaCl) = 0,020 \text{ mol/L}$ vermischt werden? Beachten Sie die Volumenzunahme der Gesamtlösung durch das Vermischen.

$L(PbCl_2)=1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/L^3$

Tabelle 7-6: Aufgabenbeispiele aus dem themenspezifischen Vorwissenstest (ohne die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten)

7.6.4 Prozessdaten

Die Prozessdaten werden durch die Programmierung eines Aufzeichnungstools in Form von Logfiles registriert. Es sind im Rahmen der Untersuchung insgesamt 28 Logfiles aufgezeichnet und ausgewertet worden. Ein Logfile enthält die automatisch aufgezeichneten probandenspezifischen Eingabedaten, die während der Elaborationsphase des Lernmoduls generiert werden. Die Auswertung des Datenmaterials aus den Logfiles erfolgt quantitativ und qualitativ (siehe Tabelle 7-7). Die Logfiles der Probanden bilden die entscheidende Grundlage zum Studium des Elaborationsverhalten der Probanden während der Lernphase. Sie werden herangezogen, um den zeitlichen Ablauf und die inhaltlichen Eingaben des einzelnen Probanden während der Elaborationsphase zu dokumentieren. Die Buttons im Lernmodul sind so programmiert, dass sie als statische Haltepunkte fungieren, die bei jeder Betätigung eine automatische Registrierung der Zeit auslösen. Aufgrund dieser Aufzeichnungen lässt sich das (zeitliche) Elaborationsverhalten der Probanden gut nachvollziehen und ermöglicht gegebenenfalls Rückschlüsse auf deren Lernverhalten. Der selbstgenerierte Eintrag in das Selbsterklärungsfeld wird ebenfalls zeitlich und inhaltlich registriert. Dies bietet den Vorteil im Gegensatz zu der in bisherigen Studien eingesetzten Methode des lauten Denkens, dass die Selbsterklärungen bereits in Schriftform vorliegen und zu jedem Lösungsschritt programmtechnisch eine Selbsterklärung generiert werden muss.

Lernbedingung	Datenmaterial
Aufgabenstellung	Lesezeit
Lösungsbeispiel	Bearbeitungszeit
einzelner Lösungsschritt	Bearbeitungszeit
Selbsterklärung	Bearbeitungszeit
Selbsterklärung	Inhalt
integrierte Erklärung	Lesezeit
Übungsbeispiel	Bearbeitungszeit
Übungsbeispiel	Anzahl der Fehlversuche

Tabelle 7-7: Übersicht über die Möglichkeiten der Auswertung des Datenmaterials aus den Logfiles

Die Logfiles zu den *Übungsaufgaben* liefern neben quantitativ auswertbarem Datenmaterial auch erste Hinweise auf den Lernfortschritt und die Problemlösefähigkeit der Probanden, da sie die Anzahl der Fehlversuche bis zur korrekten Lösung der

Übungsaufgabe aufzeichnen. Zudem wird die Problemlösezeit bis zur Markierung der richtigen Lösung registriert.

Die Logfiles zu den *Selbsterklärungen* enthalten quantitativ und qualitativ auswertbares Datenmaterial. Die Auswertung der Logfiles der Lösungsbeispiele erfolgt differenziert nach Interventionsgruppe mit integrierten instruktionalen Erklärungen und Kontrollgruppe ohne integrierte instruktionalen Erklärungen hinsichtlich:

- Selbsterklärungszeit
- Selbsterklärungsrichtigkeit
- Selbsterklärungstyp

Aus den Logfiles kann die *Selbsterklärungszeit* ermittelt werden. Sie liefert Hinweise dafür, wie lange sich der Proband mit den Selbsterklärungen zu den einzelnen Lösungsbeispielen befasst. Die *Selbsterklärungszeit* liefert, unabhängig von der fachlichen Korrektheit der Selbsterklärung, eine Angabe zur Selbsterklärungsintensität.

Die *Selbsterklärungsrichtigkeit* wird durch ein Expertenrating überprüft. Der Experte verfügt über ein fundiertes chemisches Fachwissen und ist über den Umfang und den aktuellen Stand hinsichtlich der Lerninhalte in Allgemeiner und Anorganischer Chemie der Probanden informiert. Da die Lösungsbeispiele kleinschrittig dargeboten werden, ist die Anzahl der eingeforderten Selbsterklärungen relativ hoch. Der verbale Umfang der einzelnen Selbsterklärung ist dadurch jedoch überschaubar. Jede fachlich richtige Gesamtaussage einer Selbsterklärung wird mit einem Punkt bewertet.

Zur Bestimmung des *Selbsterklärungstyps* werden die fachlich richtigen Selbsterklärungen zu verständnisrelevanten problemstrukturspezifischen Lösungsschritten herangezogen. Es wird nach deskriptiven und explanativen Selbsterklärungen differenziert. Deskriptive Selbsterklärungen haben ausschließlich beschreibenden Charakter. Explanative Erklärungen enthalten neben einem deskriptiven Anteil auch eine erklärende Komponente, die beispielsweise kausale Zusammenhänge verdeutlicht oder Relationen darstellt.

7.6.5 Nachtest

Die Bestimmung des Lernzuwachses und der Transferleistung erfolgt durch einen Nachtest der 13 Aufgaben umfasst. Analog zum Vortest werden zwei Versionen A und B eingesetzt, die sich nur durch die Abfolge nicht durch den Inhalt der Aufgaben unterscheiden. Die vier Antwortmöglichkeiten je Aufgabe werden im Multiple-Choice-Format präsentiert. Für die richtige Antwort wird je ein Punkt vergeben. Die Antwortmöglichkeiten sind nach den gleichen Kriterien und Methoden wie im Vortest entwickelt und positioniert worden (vgl. Kapitel 7.6.3). Der Nachtest enthält die identischen Aufgaben des themenspezifischen Vorwissenstest und ist um fünf zusätzliche Transferaufgaben erweitert worden. Zur Ermittlung des Lernzuwachses werden die identischen acht Aufgaben wie im themenspezifischen Vortest gestellt. Die Differenz zwischen den erreichten Punktzahlen im themenspezifischen Vortest und den identischen Aufgaben im Nachtest ergibt den numerischen Wert für den absoluten Lernzuwachs.

Die gestellten Transferaufgaben variieren in ihrer Distanz zu den im Lernmodul präsentierten Lösungsbeispielen. Von den Transferaufgaben prüfen fünf den nahen Transfer, drei die mittlere und zwei die weite Transferleistung der Probanden. Die Transferaufgaben werden ebenfalls im Multiple-Choice-Format mit vier Antwortmöglichkeiten gestellt. Für das Design der Antwortmöglichkeiten gelten die gleichen Kriterien und Methoden wie für alle in der Untersuchung verwendeten Multiple-Choice-Tests.

Die Aufgaben zu den unterschiedlichen Transferdistanzen werden durch Variation von Problemstruktur und/oder Oberflächenmerkmalen hinsichtlich der im Lernmodul präsentierten Lösungsbeispiele operationalisiert. Die Zuordnung der nahen und weiten Transferaufgaben zu den verschiedenen Transferdistanzen basiert im wesentlichen auf den Kriterien von STARK (1999).

Bei den Aufgaben zum *nahen Transfer* wird die jeweilige Problemstruktur der entsprechenden Lösungsbeispiele und die Zahlen und Verbindungen weitgehend beibehalten. Es wird lediglich der Aufgabentext im Vergleich zum Lösungsbeispiel geringfügig modifiziert.

Aufgaben zum *mittleren Transfer* wird die jeweilige Problemstruktur der entsprechenden Lösungsbeispiele zugrunde gelegt und die Oberflächenmerkmale in Form von chemischen Verbindungen und Zahlenwerten im Vergleich zu den präsentierten Lösungsbeispielen verändert.

Aufgaben zum *weiten Transfer* weisen im Vergleich zu den Lösungsbeispielen eine veränderte Problemstruktur *und* andere Oberflächenmerkmale auf. Die veränderte Problemstruktur basiert im Wesentlichen auf einer Erweiterung der Problemstellung, die aufgrund der durch die Lösungsbeispiele erlernten Prinzipien und Konzepten, lösbar sein sollte.

Naher Transfer: gleiche Problemstruktur und gleiche Oberflächenmerkmale wie Lösungsbeispiele, jedoch leicht modifizierte Aufgabenstellung
Bei 25°C lösen sich in 1 L Wasser nur 0,00245 g Bariumsulfat (BaSO ₄). Berechnen Sie das Löslichkeitsprodukt von Bariumsulfat bei dieser Temperatur.
Mittlerer Transfer: gleiche Problemstruktur wie Lösungsbeispiele, veränderte Oberflächenmerkmale
Welche Sulfid-Ionenkonzentration muss erreicht werden, damit aus einer gesättigten Nickelcarbonat-Lösung (NiCO ₃), Nickelsulfid (NiS), auch Nickelblende genannt, ausfällt? L(NiCO ₃) = 1,4 · 10 ⁻⁷ mol ² /L ² ; L(NiS) = 3 · 10 ⁻²¹ mol ² /L ²
Weiter Transfer: veränderte/erweiterte Problemstruktur, veränderte Oberflächenmerkmale
Zur quantitativen Fällung von verschiedenen Metallen beim Durchführen eines Trennungsganges ist das Einstellen des pH-Wertes vor dem Einleiten des Schwefelwasserstoff H ₂ S sehr wichtig. In eine Lösung mit pH = 0,5 wird H ₂ S bis zur Sättigung eingeleitet. In der Lösung befinden sich Blei-Ionen c(Pb ²⁺) = 0,050 mol/L und Eisen(II)-Ionen c(Fe ²⁺) = 0,050 mol/L. Entscheiden Sie anhand der Ionenprodukte I, ob bei diesem pH-Wert Bleisulfid (PbS) und Eisensulfid (FeS) ausfallen? L(PbS) = 7 · 10 ⁻²⁹ mol ² /L ² ; L(FeS) = 4 · 10 ⁻¹⁹ mol ² /L ² Gleichung für die Sulfid-Ionenkonzentration in Abhängigkeit der H ⁺ -Ionenkonzentration: $c(\text{S}^{2-}) = \frac{1,1 \cdot 10^{-22} \text{ mol}^3 / \text{L}^3}{c^2(\text{H}^+)}$

Tabelle 7-8: Aufgabenbeispiele zum nahen, mittleren und weiten Transfer

Jede richtige Lösung im Nachtest wird mit einem Punkt bewertet. Das theoretische Punktemaximum im Nachtest liegt damit bei dreizehn Punkten. Die Reliabilität (Cronbach alpha) des Nachtests beträgt $\alpha = .69$.

8 Empirische Ergebnisse und Diskussion

Vor der Darstellung und Diskussion der empirischen Ergebnisse der Studie werden die Kriterien erörtert, nach denen die Parallelisierung und Differenzierung der Untersuchungsgruppen in die Interventionsgruppe mit integrierten instruktionalen Erklärungen⁵ und in die Kontrollgruppe ohne integrierte instruktionalen Erklärungen⁶ erfolgen. Um die interne Validität der Studie zu gewährleisten, wird im Anschluss die Überprüfung der experimentellen Voraussetzungen für die Untersuchung (Kapitel 8.1) durchgeführt. Im anschließenden Kapitel erfolgt die Darstellung der Ergebnisse zur Effektivität des computerunterstützten Lernens mit Lösungsbeispielen für den Themenbereich Löslichkeit (Kapitel 8.2). Nachfolgend werden die Resultate zum Einfluss der integrierten instruktionalen Erklärungen in Kombination mit Selbsterklärungen auf den Lernzuwachs und die Transferleistung dargestellt (Kapitel 8.3). Die Befunde zur Selbsterklärung in Verbindung mit den integrierten instruktionalen Erklärungen werden differenziert nach Selbsterklärungsintensität, Selbsterklärungsrichtigkeit und Selbsterklärungstyp, präsentiert und diskutiert (Kapitel 8.4). Die Ergebnisse zum Einfluss der integrierten Erklärungen auf die Problemlösefähigkeit und die Problemlösezeit beim Lösen von Übungsaufgaben werden in Kapitel 8.5 dargestellt. Im vorletzten Kapitel erfolgt die Präsentation der Ergebnisse zum Einfluss der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen auf das Lernen mit Lösungsbeispielen (Kapitel 8.6). Basierend auf den Befunden von Kapitel 8.3 bis 8.6 werden spezielle Lernerprofile identifiziert und interpretiert (Kapitel 8.7).

8.1 Überprüfung der experimentellen Voraussetzungen

Parallelisierung der Untersuchungsgruppen

Die 28 Probanden, die im Rahmen der Veranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie Übung“ an der Studie teilnehmen, werden in zwei Gruppen eingeteilt. Um den Einfluss der Intervention feststellen zu können, müssen die kognitiven und fachlich chemischen Grundkenntnisse von Interventions- und Kontrollgruppe weitgehend äquivalent sein. Aufgrund der Probandenstärke wird bei der Differenzierung der Gruppen der Parallelisierung gegenüber der Zuordnung durch Randomisierung der Vorzug gegeben. Die Einteilung der Probanden nach kognitiven Aspekten erfolgt basierend auf den Gesamtergebnissen des kognitiven Fähigkeitstests⁷. Zur Ermittlung des chemischen Fachwissens werden die Resultate des themenübergreifenden Leistungstest herangezogen. Zusätzlich werden die Ergebnisse des themenspezifischen Vorwissenstests berücksichtigt. Erfahrungsgemäß eignen sich Resultate von themenspezifischen Vorwissenstests allein nicht als Differenzierungskriterium, da der Novizencharakter aller Probanden ein geringes themenspezifisches Vorwissen bedingt.

⁵ Zur Vereinfachung wird „mit integrierten instruktionalen Erklärungen“ im folgenden gleichgesetzt mit „mit Erklärungen“ bzw. „m.E.“

⁶ Zur Vereinfachung wird „ohne integrierte instruktionalen Erklärungen“ im folgenden gleichgesetzt mit „ohne Erklärungen“ bzw. „o.E.“

⁷ Kognitiver Fähigkeitstest wird im folgenden als KFT abgekürzt

Dies begünstigt so genannte Bodeneffekte, d.h. die Resultate bewegen sich einheitlich im unteren Drittel des Skalenbereichs, damit ist eine zuverlässige Differenzierung der Probanden nicht möglich. Um die Kumulation von leistungsstarken oder -schwachen Probanden innerhalb einer Gruppe zu verhindern, wird zur Parallelisierung neben der Gleichheit der Mittelwerte von KFT und Leistungstest auch eine möglichst gleiche Streuung in beiden Gruppen angestrebt (siehe Tabelle 8-1). Die Gesamtleistung im KFT wird auf schultypbezogene Standardwerte (T-ST-Werte) transformiert. Die T-ST-Werte liegen zwischen 29 und 61 auf der bis 80 reichenden T-Skala. In Tabelle 8-1 werden die Mittelwerte und Standardabweichungen von Gesamtgruppe, Interventionsgruppe und Kontrollgruppe dokumentiert. Die Mittelwerte und Standardabweichungen beider Gruppen unterscheiden sich nur unwesentlich. Die Durchschnittswerte des T-ST-Werts (T-ST = 44 bzw. 43) entsprechen nach der Transformationstabelle von Testnormen und Standardschulnoten nach dem KFT-Test nach BELTZ (2002) auf der sechsstufigen Standard-Notenskala der Note ausreichend. Eine weitere Interpretation der KFT-Daten erfolgt nicht.

Als weiteres Differenzierungskriterium werden die Resultate aus dem Vortest herangezogen. Der Vortest umfasst den themenübergreifenden Leistungstest und den themenspezifischen Vorwissenstest. Die Differenzierung der Probanden erfolgt analog zu den T-ST-Werten nach annähernd gleichen Mittelwerten und Standardabweichungen der Testleistungen in beider Gruppen.

	Gesamtgruppe		Interventions- gruppe (mit Erklärungen)		Kontrollgruppe (ohne Erklärungen)	
	M	SD	M	SD	M	SD
KFT	43	9.7	44	10	43	9.4
Leistungstest	4.61	1.17	4.57	1.22	4.64	1.15
Vorwissenstest	2.18	1.66	2.29	1.54	2.07	1.81

Tabelle 8-1: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Ergebnisse des KFTs, des Leistungstests und des Vorwissenstests von Gesamt-, Interventions- und Kontrollgruppe

Der Mittelwert aus den Resultaten des themenübergreifenden Leistungstest liegt bei beiden Gruppen im oberen Drittel der Skala relativ zum theoretischen Maximum (7.00) (siehe Tabelle 8-1). Die Probanden in beiden Gruppen verfügen über ein solides chemisches Wissen zu den bereits vermittelten Schwerpunktthemen „Stöchiometrie“ und „Chemisches Gleichgewicht“. Die Streuung der Mittelwerte ist in beiden Gruppen annähernd gleich, eine Kumulation überwiegend leistungsstarker bzw. -schwacher Probanden innerhalb einer Gruppe hinsichtlich kognitiver und chemisch-fachlicher Fähigkeiten kann ausgeschlossen werden. Beim themenspezifischen Vorwissenstest zeigen sich erwartungsgemäß Bodeneffekte, die Werte liegen im unteren Drittel der Skala relativ zum theoretischen Maximum (8.00) und erlauben keine zuverlässige Differenzierung der Probanden. Die Ergebnisse des Vorwissenstests werden aus diesem Grund nicht als alleiniges Kriterium zur Parallelisierung der Gruppen herangezogen.

Nach der Einteilung der Gruppen kann aufgrund der Mittelwerte und Standardabweichungen des themenspezifischen Vorwissenstests in beiden Gruppen davon ausgegangen werden, dass das Vorwissen im Mittel in Interventions- und Kontrollgruppe gleich ist.

Aufgrund der Einteilungskriterien kann davon ausgegangen werden, dass bei beiden Gruppen im Mittel Lernvoraussetzung hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten, Vorwissen und fachlich chemischen Fähigkeiten gleich sind.

Überprüfung der Untersuchungsvoraussetzung

Um die interne Validität der Studie zu sichern, die sich auf das Lernen mit Lösungsbeispielen stützt, muss sichergestellt werden, dass die Probanden der Interventions- und Kontrollgruppe die gleiche Anzahl von Lösungsbeispielen und Übungsbeispielen in der vorgegebener Elaborationszeit studieren können (siehe Tabelle 8-2).

	Interventionsgruppe (mit Erklärung)		Kontrollgruppe (ohne Erklärung)		p (zweiseitig)
	M	SD	M	SD	
elaborierte Lösungsbeispiele	8.8	.579	8.6	.938	n.s.
elaborierte Übungsbeispiele	2.8	.426	2.7	.469	n.s.

Tabelle 8-2: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Anzahl von elaborierten Lösungsbeispielen und Übungsbeispielen der Interventions- und Kontrollgruppe

Alle Probanden schöpfen gruppenunabhängig die vorgegebene Elaborationszeit des Lernmoduls von 135 Minuten vollständig aus, damit ist die „time on task“ in beiden Gruppen äquivalent. Die Interventionsgruppe bearbeitet von den neun im Lernmodul präsentierten Lösungsbeispielen in der vorgegebenen Zeit im Durchschnitt 8.8, die Kontrollgruppe 8.6 Beispiele. Die Anzahl der bearbeiteten Lösungsbeispiele ist im Mittel in beiden Gruppen nahezu gleich ($t(26) = .473$; n.s.). Jeder Lösungsbeispielsequenz ist ein Übungsbeispiel als Rückmeldung über den Lernfortschritt nachgeschaltet. Von den drei Übungsaufgaben bearbeiten die Interventionsgruppe im Mittel 2.8 und die Kontrollgruppe 2.7 Aufgaben ($t(26) = .676$; n.s.). Alle Probanden lösen gruppenunabhängig Übungsbeispiel eins und zwei. Das dritte Übungsbeispiel wird vermutlich aus Zeitgründen nicht mehr von allen Probanden⁸ bearbeitet.

Aufgrund der ähnlichen Werte in beiden Gruppen ist davon auszugehen, dass in Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich der bearbeiteten Lösungs- und Übungsbeispiele die gleiche Lernerfahrung gesammelt werden konnte und die Untersuchungsvoraussetzungen diesbezüglich erfüllt sind.

⁸ Elf Probanden der Interventionsgruppe und zehn Probanden der Kontrollgruppe lösten Übungsbeispiel drei.

8.2 Überprüfung der Effektivität des Lernmoduls zum Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie

Im folgenden Abschnitt soll die Forschungsfrage eins geklärt werden, inwieweit sich computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen für die Vermittlung von ausgewählten Lerninhalten der Chemie eignet. Dazu wird die Effektivität des computerunterstützten Lernmoduls zum Themenbereich Löslichkeit durch einen Prä-Post-Vergleich überprüft. Da das Lernmodul nach der Evaluierung im Rahmen der Veranstaltung „Allgemeinen und Anorganischen Chemie Übung“ eingesetzt werden soll, muss gewährleistet sein, dass die Studierenden das geforderte Lernziel zur Thematik Löslichkeit durch das Bearbeiten des Lernmoduls erreichen können. Das Lernziel entspricht den Anforderungen der Erstsemesterstudierenden des Lehramts Chemie Gymnasium.

Beide Untersuchungsgruppen erfahren entlang der Zeitachse, unabhängig von der Intervention⁹, durch das Bearbeiten des computerunterstützten Lernmoduls einen überzufälligen Lernzuwachs. Als zeitliche Fixpunkte für die Messwertwiederholungen dienen der themenspezifische Vorwissenstest als Prä-Test vor der Elaboration des Lernmoduls und der gleiche Test als Post-Test im Anschluss daran. Der Lernzuwachs wird aus der Differenz der beiden Messpunkte ermittelt. Der Lernzuwachs dient als Indikator, ob und inwieweit das fachliche Lernziel zur Thematik von den Erstsemesterstudierenden durch das Elaborieren des computerunterstützten Lernmoduls erreicht wird.

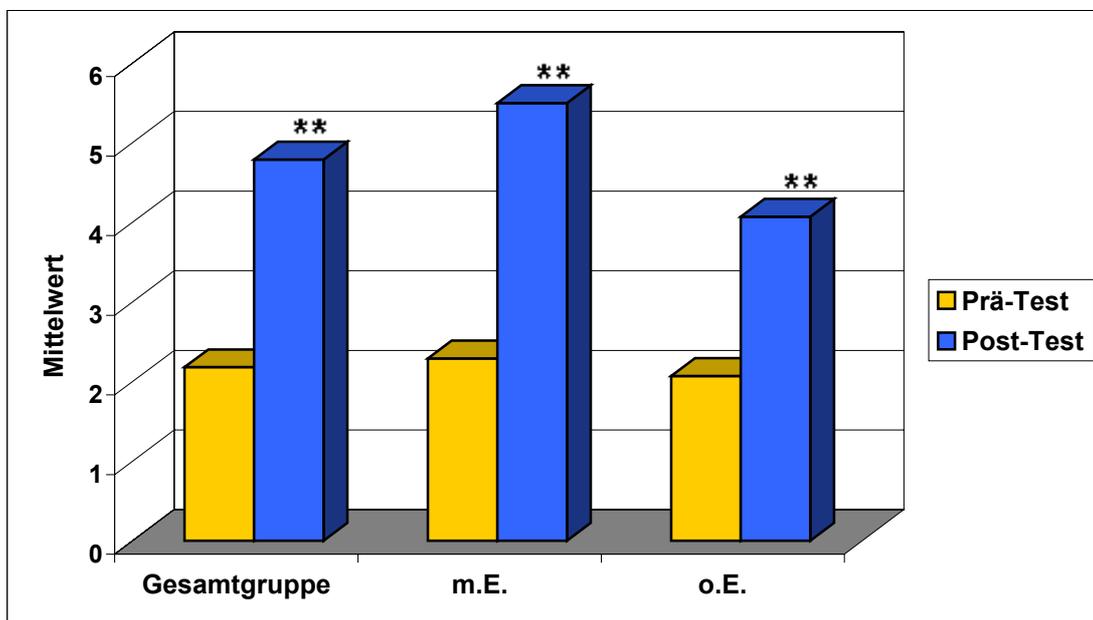


Abb. 9: Vergleich der Mittelwerte von Prä- und Post-Test bei der Gesamtgruppe, Interventionsgruppe (m.E.) und Kontrollgruppe (o.E.); (** $p < .01$)

Der Lernzuwachs ist in der Gesamtgruppe *und* differenziert nach Untersuchungsgruppen im Prä-Post-Vergleich hoch signifikant [Gesamtgruppe: $t(27)=-9.20$; $p < .01$ (zweiseitig)].

⁹ Es existieren zwei Versionen des Lernmoduls, von denen nur eine die Intervention in Form von integrierten instruktionalen Erklärungen beinhaltet.

m.E.: $t(13)=-10.72$; $p < .01$ (zweiseitig). o.E.: $t(13)=-4.627$; $p < .01$ (zweiseitig)]. Alle Probanden haben im Mittel durch die Elaboration des Lernmoduls basierend auf Lernen mit Lösungsbeispielen signifikant mehr gelernt.

Diese Resultate verifizieren die Ergebnisse aus anderen Fachgebieten beispielsweise Physik und Programmierung, nach denen das Lernen mit Lösungsbeispielen als Lernmethode besonders bei Novizen mit geringem Vorwissen gute Lernerfolge liefert. Die Unterstützung der Lernmethode durch den Computer scheint diesem positiven Effekt nicht abträglich zu sein. Das computergestützte Übungsprogramm ist aufgrund der überdurchschnittlichen Testresultate geeignet, den fachlichen Lerninhalt zum Thema Löslichkeit entsprechend den Anforderungen an Erstsemesterstudierende erfolgreich zu vermitteln. Eine wichtige Lernbedingung für den Lernzuwachs beim Lernen mit Lösungsbeispielen scheinen die obligatorischen Selbsterklärungsaufforderungen zu sein, da sich die Probanden, unabhängig von der Lernmodulversion, intensiv und aktiv mit dem Lerninhalt auseinandersetzen müssen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich das Lernen mit Lösungsbeispielen auch für andere mathematisierte Themenbereiche der Chemie beispielsweise der Elektrochemie eignen könnte. Für den Themenbereich Löslichkeit konnte die Effektivität empirisch nachgewiesen werden.

8.3 Einfluss von integrierten instruktionalen Erklärungen auf den Lernzuwachs und die Transferleistung

Im nachfolgenden Kapitel wird der Forschungsfrage zwei nachgegangen, inwieweit der Lernzuwachs (Kapitel 8.3.1) und die Transferleistung (Kapitel 8.3.2) beim Lernen mit Lösungsbeispielen von den integrierten instruktionalen Erklärungen beeinflusst werden.

8.3.1 Einfluss auf den Lernzuwachs

Es wird angenommen, dass die integrierten instruktionalen Erklärungen beim Lernen mit Lösungsbeispielen den Lernzuwachs fördern. Von Lernenden, die das Lernmodul mit den integrierten Erklärungen elaborieren, wird ein höherer Lernzuwachs erwartet, da sie zum einen durch die integrierten Erklärungen zusätzliche Informationen zum jeweiligen Lösungsschritt erhalten und zum anderen diese auch als Rückmeldung zur Überprüfung der vorher generierten Selbsterklärung nutzen können. Diese Möglichkeiten stehen der Kontrollgruppe ohne Erklärungen nicht zur Verfügung.

Der Lernzuwachs der Interventionsgruppe liegt, wie erwartet, im Mittel deutlich höher als der entsprechende Wert der Kontrollgruppe (siehe Tabelle 8-3). Die Resultate der Interventionsgruppe sind überdurchschnittlich bezogen auf den theoretisch maximalen Lernzuwachs (56.2% der Theorie¹⁰), der die Ergebnisse im themenspezifischen Vortest zur Ermittlung des Vorwissens berücksichtigt. Der Lernzuwachs der Kontrollgruppe bleibt bei dieser Betrachtung knapp über dem unteren Drittel der Prozentskala (33.7% der Theorie).

¹⁰ Es ergibt sich, bedingt durch die Ergebnisse im themenspezifischen Vorwissenstest ein mittlerer, theoretisch maximaler Lernzuwachs. Um den Lernzuwachs in den Gruppen zu verdeutlichen, werden die Resultate der Gruppen auf diesen theoretischen Wert bezogen und als Prozent der Theorie (% d.T.) dargestellt.

	Interventionsgruppe (mit Erklärung)		Kontrollgruppe (ohne Erklärung)	
	M	SD	M	SD
Prä-Test	2.29	1.54	2.07	1.82
Post-Test	5.50	1.51	4.07	1.64
LZW	3.21	1.12	2.00	1.62
LZW [%d.T.]	56.2	-	33.7	-

Tabelle 8-3: Darstellung der Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der Ergebnisse von Prä- und Post-Test, Lernzuwachs (LZW) und Lernzuwachs in Prozent der Theorie

Der Unterschied der Mittelwerte zwischen der Interventionsgruppe mit Erklärung und der Kontrollgruppe ohne Erklärung ist überzufällig ($t(26) = 2.196$; $p < .05$ (zweiseitig)). Die große Effektstärke ($d = .83$) macht die Bedeutung der integrierten instruktionalen Erklärungen auf den Lernzuwachs beim Lernen mit Lösungsbeispielen deutlich.

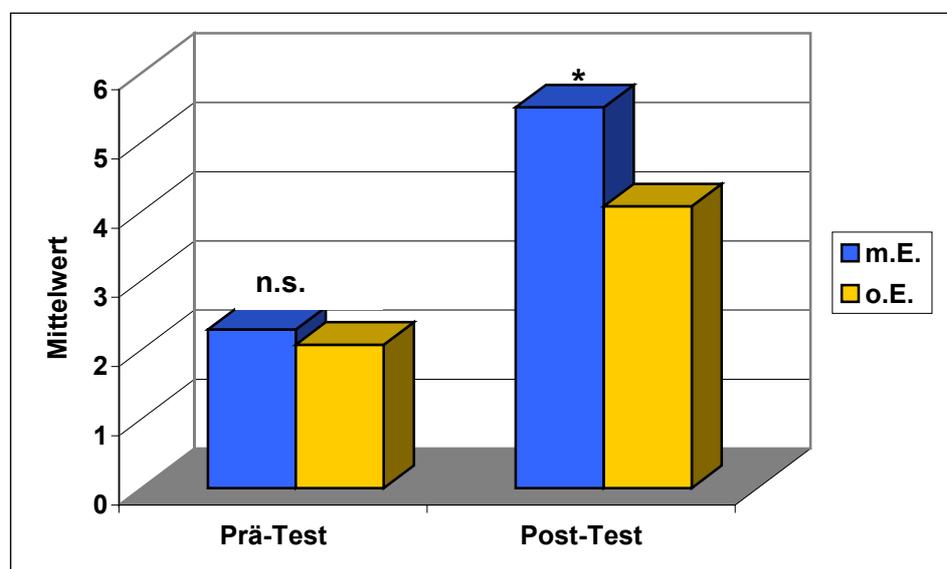


Abb. 10: Vergleich der Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich Unterschiede der Ergebnisse in Prä- und Post-Test; (* $p < .05$)

Bei kovarianzanalytischer Betrachtung mit dem Vorwissen als Kontrollvariable bleibt dieser Effekt zwischen den Gruppen signifikant, was aufgrund der Parallelisierung der Gruppen zu erwarten ist. Demnach lernen Probanden, welche die integrierten instruktionalen Erklärungen *obligatorisch* zu jedem Lösungsschritt und nach der generierten Selbsterklärung erhalten, unabhängig vom Vorwissen signifikant mehr, als Probanden, die keine zusätzlichen Erklärungen zu den Lösungsschritten erhalten.

Aufgrund der veränderten Darbietung der instruktionalen Erklärungen im Vergleich zu früheren Studien lassen sich diese Befunde nicht direkt mit den bisherigen Erkenntnissen zur Effektivität von instruktionalen Erklärungen vergleichen. Im Gegensatz zu den meisten Studien beispielsweise von RENKL (2002), in der die instruktionalen Erklärungen optional per Lernerabruf verfügbar werden, *müssen* in dieser Lernumgebung die instruktionalen prinzipbasierten Erklärungen von allen Probanden der Interventionsgruppe genutzt werden, um programmtechnisch mit dem

Lösungsbeispielstudium fortfahren zu können. Mit dieser Lernprogrammfunktion lässt sich künstlich eine frequente und kontinuierliche Nutzung der instruktionalen Erklärungen aller Probanden der Interventionsgruppe erzeugen. Diese Funktion gewinnt an Bedeutung bei der Betrachtung der Ergebnisse aus Studien mit optionalen instruktionalen Erklärungen, wonach vor allem die frequenten Nutzer der instruktionalen Erklärungen eine Steigerung von Lern- und Transferleistung zeigen.

Einen weiteren Unterschied stellt der Einsatz des integrierten Erklärungsformat in Anlehnung an das integrierte Beispielformat von WARD & SWELLER (1990) dar. Die instruktionale Erklärung wird in die aktuelle Bildschirmseite integriert und ist gleichzeitig mit den bereits vorher aufgerufenen Lösungsschritten, dem aktuellen Lösungsschritt und der dazu generierten Selbsterklärung sichtbar. Ein direkter Abgleich von aktuellem Lösungsschritt, formulierter Selbsterklärung und expertengenerierter instruktionaler Erklärung ist sofort möglich. Direkte Bezüge zum aktuellen Lösungsbeispiel erleichtern ebenfalls den Abgleich von instruktionaler Erklärung und Lösungsschritt und lassen Zusammenhänge evident werden. Dies steht im Gegensatz zu dem überwiegenden Teil der bisherigen Studien, in denen die instruktionalen Erklärungen auf einer separaten Bildschirmseite ohne aktuellen Lösungsbeispielschritt oder ohne direkten Bezug zum Lösungsbeispiel angezeigt werden (u.a. RENKL 2002). Diese Aufteilung der Informationen bedeutet für die Probanden basierend auf dem Split-Attention-Effekt eine zusätzlich lernirrelevante kognitive Belastung, die den Lernerfolg mindern kann.

Zur Einordnung der Befunde dieser Studie werden kurz die wesentlichen Erkenntnisse der Lehr- und Lernforschung zur Effektivität von instruktionalen Erklärungen beim Lernen mit Lösungsbeispielen reflektiert (ausführlich siehe Kapitel 3.3). Die Aussagen zur Effektivität von instruktionalen Erklärungen beim Lernen mit Lösungsbeispielen sind divergent. Exemplarisch zeigt sich dies an zwei Studien, die auch für diese Untersuchung von Relevanz sind. SCHWORM & RENKL (2002) stellen beispielsweise fest, dass instruktionale Erklärungen in Kombination mit Selbsterklärungsaufforderungen bei nicht mathematisiertem Lerninhalt dem Lernerfolg eher abträglich sind. In einer anderen Studie zeigt RENKL (2002) wiederum, dass instruktionale Erklärungen beim Fehlen von Selbsterklärungsaufforderungen bei mathematisierten Lerninhalten (Statistik) den Lernerfolg und die Transferleistung fördern können.

Basierend auf den Ergebnissen zur Lernleistung dieser Studie wird davon ausgegangen, dass bei mathematisiertem chemischen Lerninhalt (Löslichkeit) der Einsatz von *integrierten instruktionalen* Erklärungen in Kombination mit *schriftlich* formulierten Selbsterklärungen den Lernzuwachs fördert. Im Rahmen dieser Untersuchung wird dabei der *effektiven Gestaltung und Positionierung* der instruktionalen Erklärungen in der computerunterstützten Lernumgebung und der *obligatorischen Nutzung* große Bedeutung beigemessen.

8.3.2 Einfluss auf die Transferleistung

Als Indikator für die Transferleistung werden die Aufgaben zu den unterschiedlichen Transferdistanzen aus dem Nachtest herangezogen. Die Transferleistung ergibt sich aus der Summe der richtig gelösten Aufgaben.

Bei den Aufgaben zum *nahen Transfer* wird die gleiche Problemstruktur und Oberflächenstruktur beibehalten, der Aufgabentext jedoch hinsichtlich des Informationsgehalts im Vergleich zu den Lösungsbeispielen geringfügig modifiziert. Bei diesen Aufgaben schneiden die Probanden beider Gruppen im Mittel überdurchschnittlich gut ab (theoretisches Maximum: 5.00; Gesamtmittel: 2.61). Im Vergleich zwischen den Gruppen sind die Probanden der Interventionsgruppe mit Erklärungen bei diesen Aufgaben zum nahen Transfer signifikant erfolgreicher als die der Kontrollgruppe ($t(26)=-.337$; $p < .05$ (zweiseitig)).

Bei den Aufgaben zum *mittleren Transfer* wird im Vergleich zu den Lösungsbeispielen die gleiche Problemstruktur berücksichtigt und die Oberflächenstruktur variiert. Diese Aufgaben bereiten den Probanden zunächst unabhängig von der Intervention größere Schwierigkeiten (theoretisches Maximum: 4.00; Gesamtmittel: 1.61). Zwischen den Mittelwerten bei den Aufgaben des mittleren Transfers der Interventionsgruppe mit Erklärung und der Kontrollgruppe ohne Erklärung existiert praktisch kein Unterschied (siehe. Tabelle 8-4).

Bei den Aufgaben zum *weiten Transfer* werden hinsichtlich der präsentierten Lösungsbeispiele eine veränderte bzw. erweiterte Problemstruktur und eine veränderte Oberflächenstruktur realisiert. Die Aufgaben zum weiten Transfer sind für die Probanden, ähnlich wie Problemstellungen zum mittleren Transfer, deutlich schwieriger (theoretisches Maximum: 2.00; Gesamtmittel: .54) und die Leistungen liegen im unteren Drittel der Skala. Die Mittelwerte des weiten Transfers sind in beiden Gruppen annähernd gleich.

	Interventionsgruppe (mit Erklärung)		Kontrollgruppe (ohne Erklärung)		p (zweiseitig)
	M	SD	M	SD	
Naher Transfer	3.21	1.52	2.00	1.41	< .05
Mittlerer Transfer	1.57	1.22	1.64	1.08	n.s.
Weiter Transfer	.50	.760	.57	.756	n.s.
Transferleistung gesamt	5.29	2.56	4.21	2.55	n.s.

Tabelle 8-4: Angaben der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zum nahen, mittleren und weiten Transfer sowie der gesamten Transferleistung

Der größte Unterschied zwischen den Gruppen liegt im *nahen Transfer*. Die Interventionsgruppe scheint, das dem jeweiligen Lösungsbeispiel zugrunde liegende lösungsrelevante Prinzip, mit Hilfe der integrierten Erklärungen besser aus den präsentierten Lösungsbeispielen zu extrahieren und bei neuen sehr ähnlichen Problemstellungen effizienter anwenden zu können als dies der Kontrollgruppe gelingt.

Die Ergebnisse zum *mittleren* und *weiten Transfer* erlauben den Schluss, dass entfernte Transferdistanzen unabhängig von der Intervention trotz der zur Verfügung gestellten integrierten instruktionalen Erklärungen nicht überwunden werden können. Es ist davon auszugehen, dass sich Transfereffekte insbesondere über entfernte Transferdistanzen bei einer bestimmten Komplexität des Lerninhalts und dem geringen Vorwissen der Lernenden erst nach einer extensiven Lernphase einstellen. Eine ausgedehnte

Lernphase lässt sich im Rahmen von Laborexperimenten jedoch nur selten realisieren (STARK 1999).

Die Gesamttransferleistung¹¹ der Probanden, die aus der Summe der richtigen Ergebnisse zum *nahen*, *mittleren* und *weiten* Transfer resultiert, wird insgesamt als unterdurchschnittlich bewertet und liegt in der unteren Hälfte der Skala (theoretisches Maximum: 11.0; Gesamtmittel: 4.75).

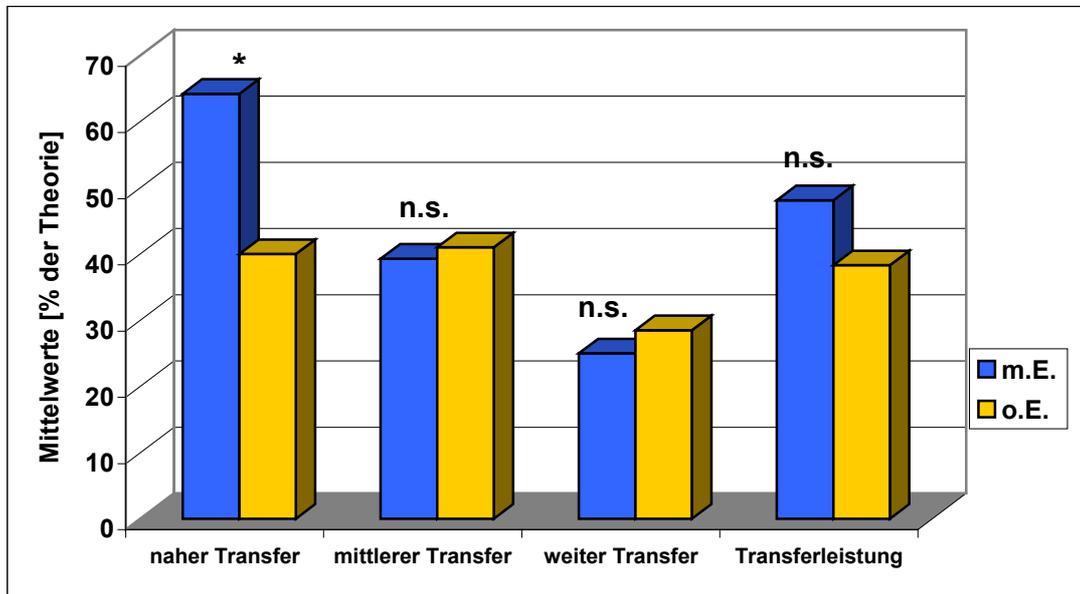


Abb. 11: Vergleich der Mittelwerte in Prozent der Theorie von nahem, mittleren und weitem Transfer sowie der Transferleistung (gesamt) zwischen Interventionsgruppe (m.E.) und Kontrollgruppe (o.E.)

Die Transferleistung der Interventionsgruppe mit Erklärung ist erwartungsgemäß höher als bei der Kontrollgruppe ohne Erklärung (Abbildung 11). Dieser Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant. Dennoch scheinen die Probanden in Bezug auf ihre Transferleistung von den Erklärungen, die sie nutzen „müssen“, zu profitieren. Auffallend bei der Betrachtung der Transferleistung sind die annähernd gleich hohen Werte der Standardabweichung in beiden Gruppen, die auf eine starke Streuung der Transferleistung innerhalb der einzelnen Gruppe hinweisen (siehe Tabelle 8-4). Dies offenbart, dass einige wenige Probanden innerhalb der Gruppen deutlich höhere Transferleistung bringen, was auf deren größeres Vorwissen zurückzuführen sein könnte. Es zeigt sich, dass die Transferleistung positiv mit dem Vorwissen zum Lerninhalt assoziiert ($r = .508$; $p < .01$) ist. Diese Korrelation ist hoch signifikant. Probanden mit höherem Vorwissen erbringen eine höhere Transferleistung. Da die Interventions- und Kontrollgruppe aufgrund der Untersuchungsvoraussetzungen hinsichtlich des Vorwissens parallelisiert (siehe Kapitel 8.1) wurden, sind die Probanden mit hohem Vorwissen auf beide Gruppen gleich verteilt, damit wird vermutet, dass der Unterschied in der Transferleistung auf die Verwendung der integrierten Erklärungen zurückzuführen sein könnte.

Es wird davon ausgegangen, dass die integrierten instruktionalen Erklärungen hilfreich sind, um die Probanden für eine bestimmte Problemstruktur zu sensibilisieren und Schemainduktionsprozesse anzustoßen. Diese Probanden scheinen mit Unterstützung

¹¹ Die Gesamttransferleistung wird im Folgenden als Transferleistung bezeichnet.

der instruktionalen Erklärungen das dem Lösungsbeispiel zugrunde liegende Prinzip besser zu identifizieren und können es auf sehr ähnliche Aufgaben der gleichen Problemstruktur anwenden (*naher Transfer*). Dieses einfache Applizieren reicht bei Aufgaben mit entfernten Transferdistanzen nicht mehr aus. Demzufolge wirken instruktionalen Erklärungen vermutlich nur bis zu einem bestimmten Transferriveau unterstützend und lernförderlich. Um auch Erfolge in entfernten Transferdistanzen erreichen zu können sind eventuell noch zusätzliche instruktionale Maßnahmen und extensive Lernphasen erforderlich. STARK (1999) erreichte beispielsweise durch die Kombination von Selbsterklärung mit unvollständigen Lösungsbeispielen, welche die Probanden durch antizipierendes Schließen komplettieren sollten, eine signifikante Erhöhung der Transferleistung insbesondere der entfernten Transferdistanzen.

Basierend auf den Ergebnissen zur Transferleistung dieser Studie ist anzunehmen, dass bei mathematisiertem chemischen Lerninhalt (Löslichkeit) der Einsatz von *integrierten instruktionalen* Erklärungen in Kombination mit *schriftlich* formulierten Selbsterklärungen die nahe Transferleistung fördern kann. Ein Einfluss von integrierten instruktionalen Erklärungen auf die mittlere und weite Transferleistung kann empirisch nicht nachgewiesen werden.

8.4 Einfluss von integrierten instruktionalen Erklärungen auf die Selbsterklärungen

Für den Lernerfolg beim Lernen aus Lösungsbeispielen ist entscheidend, wie intensiv sich die Lernenden mit den Lösungsbeispielen auseinandersetzen. Die Bedeutung von Selbsterklärungen ist dabei in der Lehr- und Lernforschung unumstritten (siehe Kapitel 3.2). Im Folgenden soll die Forschungsfrage drei geklärt werden, welchen Einfluss haben die integrierten instruktionalen Erklärungen auf die schriftlich formulierten Selbsterklärungen. Es wird angenommen, dass die integrierten prinzipbasierten instruktionalen Erklärungen einen positiven Effekt auf die schriftlich formulierten Selbsterklärungen haben.

Für die quantitative und qualitative Auswertung der Selbsterklärungen werden die aufgezeichneten Logfiles verwendet. Bei der Betrachtung wird differenziert nach:

- Selbsterklärungsintensität (zeitlich)
- Selbsterklärungsrichtigkeit (fachlich)
- Selbsterklärungstyp (Art der Selbsterklärung)

Die *Selbsterklärungsintensität* wird durch die Darstellung des Verlaufs der Selbsterklärungszeiten in Abhängigkeit der Lösungsbeispiele illustriert. Es wird untersucht, inwiefern Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Selbsterklärungszeiten bei den verschiedenen Problemstrukturen eins bis drei vorliegen. Die Selbsterklärungen werden auf ihre fachliche Richtigkeit bewertet. Es wird untersucht, ob sich bei der *Selbsterklärungsrichtigkeit* Unterschiede zwischen den Gruppen zeigen. Die fachlich richtigen Selbsterklärungen werden hinsichtlich des *Selbsterklärungstyps* differenziert. Es wird untersucht,

- a) inwiefern ein Zusammenhang zwischen Selbsterklärungstyp und Lernzuwachs existiert.

- b) wie sich die Gruppen der verschiedenen Selbsterklärungstypen aus Probanden mit und ohne instruktionale Erklärung zusammensetzen.
- c) inwieweit ein Zusammenhang zwischen der Art der Selbsterklärung und den kognitiven Lernvoraussetzungen besteht.

Selbsterklärungsintensität

Es wird angenommen, dass die Selbsterklärungszeit im Verlauf einer Lösungsbeispielsequenz zu einer Problemstruktur vom ersten bis zu dritten Lösungsbeispiel abnimmt. Unabhängig von der Intervention wird durch die wiederholten Selbsterklärungsaufforderungen zu multiplen Lösungsbeispielen der gleichen Problemstruktur eine gewisse Redundanz bei der Generierung der Selbsterklärung erreicht, was sich in einer Abnahme der Selbsterklärungszeiten äußern dürfte.

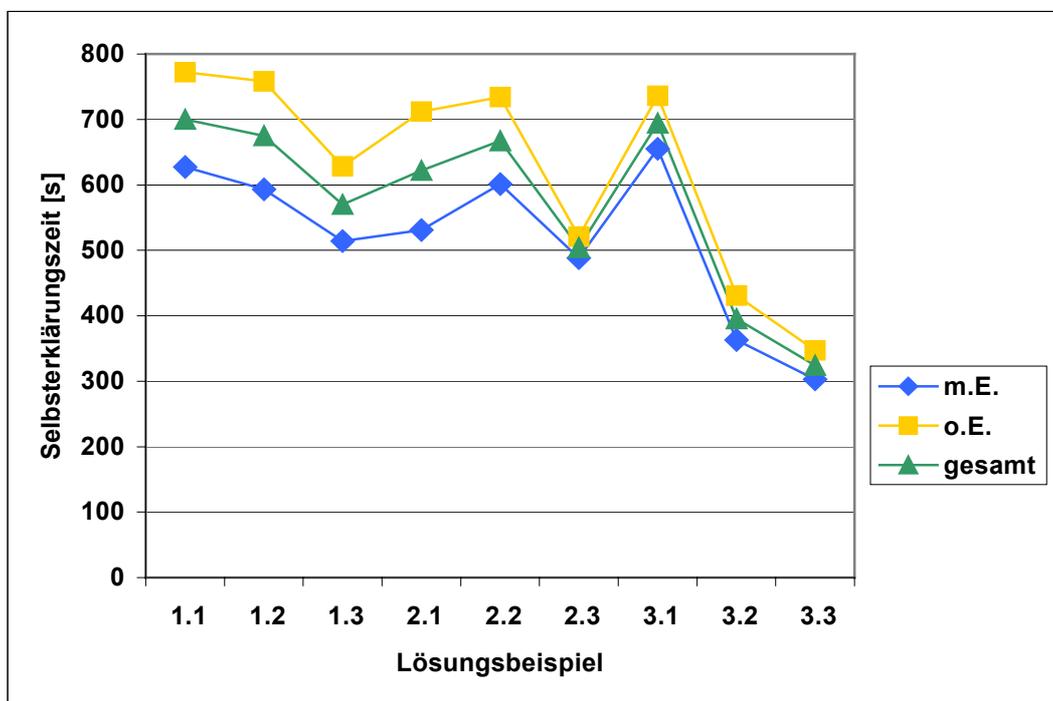


Abb. 12: Darstellung des Verlaufs der mittleren Selbsterklärungszeiten in Abhängigkeit der Lösungsbeispiele

Erwartungsgemäß zeigt sich bei der Gesamtstichprobe unabhängig von der Intervention bei allen drei Lösungsbeispielsequenzen eine Abnahme der Selbsterklärungszeit von Lösungsbeispiel eins bis drei (siehe Abbildung 12).

Die *Interventionsgruppe* mit Erklärung zeigt im zeitlichen Verlauf bei jedem Lösungsbeispiel im Mittel deutlich geringere Selbsterklärungszeiten, als die *Kontrollgruppe* ohne Erklärungen (siehe Tabelle 8-5).

Selbsterklärungszeit [s]	Interventions- gruppe (mit Erklärungen)		Kontrollgruppe (ohne Erklärung)		p (zweiseitig)
	M	SD	SD	M	
Lösungsbeispielsequenz 1	1734	758	657	2158	n.s.
Lösungsbeispielsequenz 2	1620	639	495	1969	n.s.
Lösungsbeispielsequenz 3	1255	311	271	1503	< .10
gesamt ¹²	4324	1343	951	5284	< .10

Tabelle 8-5: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Selbsterklärungszeiten je Lösungsbeispielsequenz und der Gesamtselfsterklärungszeit von Interventions- und Kontrollgruppe

Die Unterschiede der mittleren Selbsterklärungszeiten bei den Lösungsbeispielsequenzen eins und zwei sind nicht signifikant. Die Unterschiede zwischen den Gruppen bei der Lösungsbeispielsequenz drei und der Gesamtselfsterklärungszeit verfehlen die Signifikanzgrenze nur knapp.

Basierend auf den Befunden der Feedbackforschung (vgl. u.a. KULHAVY 1977) lässt sich vermuten, dass die Lernenden der Interventionsgruppe weniger Zeit für die Selbsterklärungen aufwenden, da sie nach jedem Lösungsschritt automatisch eine richtige prinzipbasierte Erklärung erhalten. Sie bekommen mit der integrierten Erklärung zum einen eine „Musterlösung“, die ihnen zeigt, was in etwa die Selbsterklärung beinhalten könnte und haben die Möglichkeit diese direkt mit ihrer generierten Selbsterklärung und dem Lösungsschritt abzugleichen. Aufgrund der fehlenden integrierten Erklärungen scheinen sich die Probanden der Kontrollgruppe zeitlich intensiver mit den Lösungsschritten und der Formulierung der dazugehörigen Selbsterklärung auseinander zu setzen.

Selbsterklärungsrichtigkeit

Die einzelnen Selbsterklärungen zu den Lösungsbeispielen werden auf ihre fachliche Richtigkeit bewertet. Es wird angenommen, dass die Probanden, die nach der Formulierung der selbstgenerierten Erklärung Rückmeldung durch die vorgegebenen integrierte Erklärungen erhalten, mehr fachlich richtige Aussagen zu den Lösungsschritten treffen, als Probanden, denen dieses Feedback fehlt. Neben der Rückmeldefunktion liefern die integrierten instruktionalen Erklärungen auch zusätzliche Informationen zu dem jeweiligen Lösungsschritt und können den Probanden helfen, gegebenenfalls Verständnisprobleme zu überwinden.

¹² Bei der Selbsterklärungszeit „gesamt“ und bei der Lösungsbeispielsequenz drei werden nur die 23 Probanden berücksichtigt, die alle Lösungsbeispiele komplett bearbeitet haben.

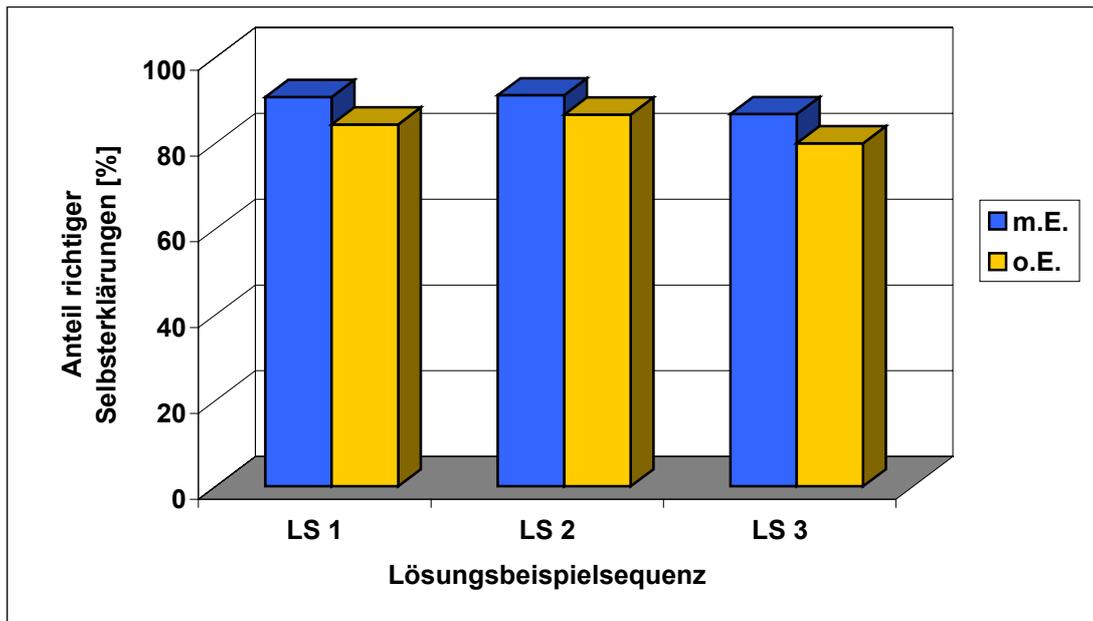


Abb. 13: Anteil der richtigen Selbsterklärungen von Interventions-(m.E.) und Kontrollgruppe (o.E.) in Abhängigkeit der Lösungsbeispielsequenz

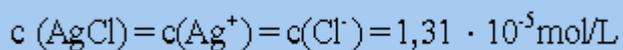
Die Selbsterklärungsrichtigkeit scheint weitgehend unabhängig von den instruktionalen Erklärungen zu sein und liegt im Mittel bei beiden Gruppen betrachtet auf annähernd gleichem Niveau (siehe Abbildung 13). Es kann kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Selbsterklärungsrichtigkeit zwischen der Interventionsgruppe ($M = 22.8$; $SD = 2.045$) und der Kontrollgruppe ($M = 22.50$; $SD = 1.787$) nachgewiesen werden ($t(26) = .697$; n.s.).

Der geringe Unterschied hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit der Selbsterklärungen zwischen der Interventionsgruppe mit Erklärung und der Kontrollgruppe ohne Erklärung, liegt vermutlich an der Tatsache, dass der Großteil der Probanden den präsentierten Lösungsschritt mit eigenen Worten beschrieben hat, z.B. die im Lösungsschritt dargestellten Formeln in eigene Worte gefasst, und dadurch den Sachverhalt inhaltlich korrekt wiedergibt.

Selbsterklärungstyp

Bei der Auswertung der schriftlichen Selbsterklärungen hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit der Aussagen wird deutlich, dass es Unterschiede in der Art der Selbsterklärung gibt. Diese Auffälligkeiten treten vor allem bei Selbsterklärungen zu den ein bis zwei verständnisrelevanten problemstrukturspezifischen Lösungsschritten pro Lösungsbeispiel auf, die das zu erlernende Prinzip präsentieren.

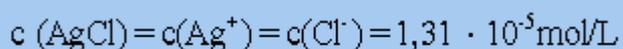
Die fachlich richtigen Selbsterklärungen können zwei unterschiedlichen Selbsterklärungstypen zugeordnet werden. Die *deskriptiven Selbsterklärungen* haben einen ausschließlich beschreibenden Charakter. Die Lernenden beschreiben beispielsweise den präsentierten Formelausdruck eines Lösungsschrittes mit eigenen Worten (siehe Abbildung 14).

Lösungsschritt:**Deskriptive Selbsterklärung:** (Proband 12)

„Die Konzentration von AgCl ist gleich der Konzentration von Ag⁺ und gleich der Konzentration von Cl⁻“

Abb. 14: Beispiel einer deskriptiven Selbsterklärung mit entsprechendem Lösungsschritt

Im Gegensatz dazu stehen die explanativen Selbsterklärungen, diese enthalten neben einem deskriptiven Anteil auch eine erklärende Komponente, die kausale Zusammenhänge beinhaltet oder Beziehungen darstellt (siehe Abbildung 15). Aufgrund dieses Erklärungsbestandteils werden die explanativen Selbsterklärungen als kognitiv anspruchsvoller und relevanter hinsichtlich des Lernerfolgs als die deskriptiven Selbsterklärungen eingestuft.

Lösungsschritt:**Explanative Selbsterklärung:** (Proband 17)

„Aus dem Lösungsgleichgewicht¹³ ergibt sich, dass ein Mol AgCl ein Mol Ag⁺ und ein Cl⁻ bilden. damit sind die Konzentration der Ionen jeweils gleich der Konzentration von AgCl.“

Abb. 15: Beispiel einer explanativen Selbsterklärung mit entsprechendem Lösungsschritt

Aufgrund der Tatsache, dass die Interventionsgruppe durch die instruktionalen Erklärungen zusätzliche lösungsrelevante Informationen zu den präsentierten Lösungsschritten erhält, wird vermutet, dass diese Lernenden häufiger einen kausalen Zusammenhang in ihrer Selbsterklärung formulieren können, als die andere Gruppe.

	Gesamtstichprobe		Interventionsgruppe (mit Erklärungen)		Kontrollgruppe (ohne Erklärungen)	
	M	SD	M	SD	M	SD
Explanative Selbsterklärung	2.11	1.81	2.61	1.69	1.57	1.83

Tabelle 8-6: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Anzahl der explanativen Selbsterklärungen von Interventions- und Kontrollgruppe

Die Interventionsgruppe generiert im Mittel mehr explanative Selbsterklärungen als die Kontrollgruppe (siehe Tabelle 8-6). Der Unterschied ist nicht signifikant ($t(26) = .120$; n.s).

zu a) Aus der Gesamtstichprobe wird ermittelt, ob die kognitiv anspruchsvollen explanativen Selbsterklärungen tatsächlich, wie angenommen, im positiven Zusammenhang mit dem Lernzuwachs und der Transferleistung stehen. Die Anzahl der

¹³ Das Lösungsgleichgewicht wird im ersten Lösungsschritt dieses Lösungsbeispiels dargestellt.

generierten explanativen Selbsterklärungen ist signifikant positiv mit dem Lernzuwachs assoziiert ($r = .334$; $p < .05$; (einseitig)). Die explanativen Selbsterklärungen korrelieren hoch signifikant positiv mit der Transferleistung ($r = .461$; $p < .01$ (einseitig)) Probanden, die häufiger explanative Selbsterklärungen generieren zeigen einen höheren Lernzuwachs und eine bessere Transferleistung.

zu b) Basierend auf dem Mittelwert der explanativen Selbsterklärungen der Gesamtgruppe ($M=2.11$) wird die Gesamtstichprobe in die Gruppe der explanativen und deskriptiven Selbsterklärer eingeteilt und näher untersucht. 13 Probanden werden der Gruppe der explanativen Selbsterklärer ($M \geq 2$) und 15 Probanden der Gruppe der deskriptiven Selbsterklärer ($M < 2$) zugeordnet. Die Gruppe der explanativen Selbsterklärer umfasst anteilig mehr Probanden aus der Interventionsgruppe mit Erklärung (69.2%) als Probanden aus der Kontrollgruppe ohne Erklärung (30.8%).

Bei dem Anteil der explanativen Selbsterklärer, der der Interventionsgruppe mit Erklärung entstammt, korreliert die explanative Selbsterklärungsaktivität negativ zur mittleren Lesezeit der instruktionalen Erklärungen je Lösungsbeispiel. Diese Korrelation verfehlt knapp die Signifikanzgrenze ($r = -.613$; $p < .10$). Aufgrund der Höhe des Korrelationskoeffizienten wird bei der Probandenstärke der Zusammenhang als bedeutsam eingestuft. Explanative Selbsterklärer aus der Interventionsgruppe verweilen damit deutlich kürzer bei den integrierten instruktionalen Erklärungen als die restlichen Probanden der Interventionsgruppe. Das Ergebnis lässt vermuten, dass diese Probanden die instruktionalen Erklärungen entweder schneller gedanklich umsetzen oder aber schneller mit den eigenen analogen Aussagen abgleichen, denn sie müssen im Laufe des Verarbeitungsprozesses immer weniger neue Informationen aufnehmen. Einen ersten Hinweis darauf liefert der Vergleich der Lesezeiten¹⁴ der instruktionalen Erklärungen je Lösungsbeispiel.

¹⁴ Die Lesezeit der integrierten Erklärung wird durch die Logfiles separat erfasst und ist nicht Bestandteil der Selbsterklärungszeit.

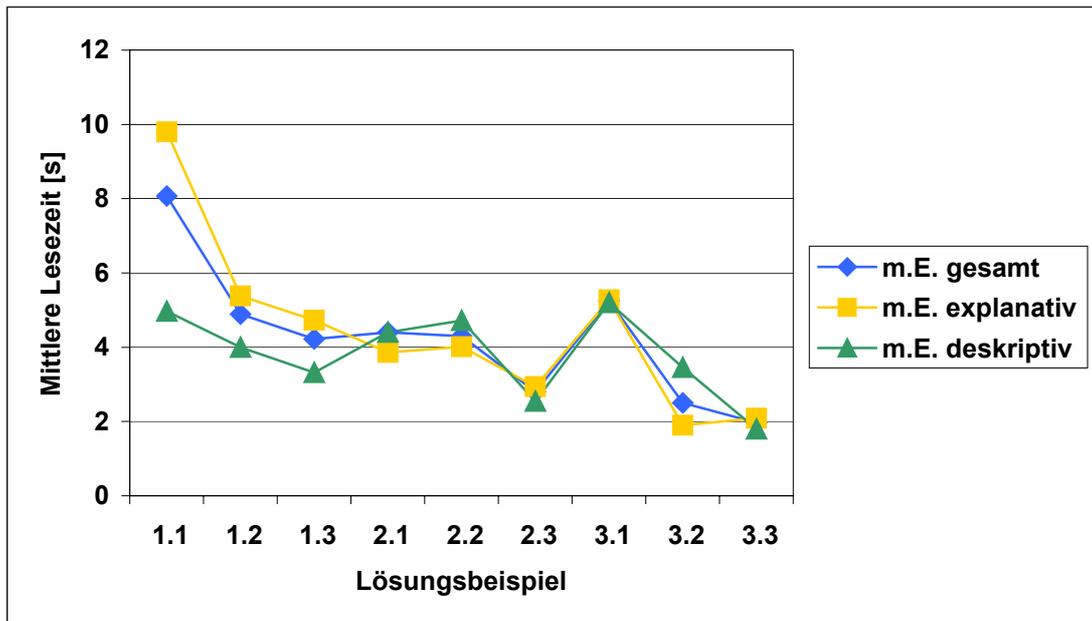


Abb. 16: Darstellung des Verlaufs der mittleren Lesezeiten der instruktionalen Erklärungen der Interventionsgruppe (m.E. gesamt), dem Anteil der explanativen Selbsterklärer (m.E. explanativ) und dem Anteil der deskriptiven Selbsterklärer (m.E. deskriptiv)

Innerhalb einer Lösungsbeispielsequenz nimmt die Lesezeit vom jeweils ersten Lösungsbeispielen bis zum dritten Lösungsbeispielen zur gleichen Problemstruktur ab. Dies ist vermutlich ebenso wie bei der Abnahme der Selbsterklärungszeit auf die Redundanz der integrierten Erklärungen bei multiplen Lösungsbeispielen zu einer Problemstruktur zurückzuführen. Der Abgleich der integrierten Erklärung mit der Selbsterklärung und dem präsentierten Lösungsschritt scheint aufgrund der Wiederholung von gleichen Informationen zu den Lösungsschritten weniger Zeit in Anspruch zu nehmen. Da diese Tendenz bei allen Probanden, die instruktionalen Erklärungen nutzen, beobachtet wird, ist die kürzere Verweilzeit der explanativen Selbsterklärer nicht nur auf einen schnelleren Abgleich, sondern vermutlich auch auf eine schnellere gedankliche Umsetzung zurückzuführen.

zu c) Aufgrund der Befunde zu b), wonach die explanativen Selbsterklärer, die instruktionalen Erklärungen vermutlich schneller umsetzen und aufgrund des höheren kognitiven Anspruchs beim Generieren von explanativen Erklärungen, wird in der Gruppe der explanativen Selbsterklärer eine positive Korrelation zwischen der Anzahl der generierten explanativen Selbsterklärungen und der kognitiven Fähigkeit der Probanden vermutet. Die explanative Selbsterklärungsaktivität ist hoch signifikant mit der kognitiven Fähigkeit der Probanden assoziiert ($r = .706$; $p < .01$). Der hohe Korrelationskoeffizient zeigt die Bedeutsamkeit des Zusammenhangs. Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass Probanden mit ausgeprägten kognitiven Fähigkeiten sehr viel wahrscheinlicher explanative Selbsterklärungen generieren als andere Probanden. Die Untersuchung der Zusammenhänge von explanativen Selbsterklärungen mit dem themenspezifischen Vorwissen ($r = -.099$; n.s.) und mit dem themenübergreifenden chemischen Wissen (Leistungstest) ($r = -.026$; n.s.) liefert bei den explanativen Selbsterklärern keine signifikanten Korrelationen.

Alle dargestellten Zusammenhänge werden auch für die Gruppe der deskriptiven Selbsterklärer (MW < 2; 15 Probanden) bestimmt. Es ergeben sich keine signifikanten Korrelationen (siehe Tabelle 8-7).

Das Generieren von explanativen Selbsterklärungen scheint damit weniger beeinflusst vom Vorwissen und dem themenübergreifenden chemischen Fachwissen, jedoch deutlich assoziiert mit der Intervention in Form von integrierten instruktionalen Erklärungen und den kognitiven Fähigkeiten des Probanden.

	Lernzuwachs		KFT-Wert		Vorwissen		Leistungstest	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Deskriptive Selbsterklärungen	.116	n.s.	.167	n.s.	.392	n.s.	.185	n.s.

Tabelle 8-7: Darstellung der Korrelationen für die deskriptiven Selbsterklärer; (p: zweiseitig)

Mit diesen Ergebnissen können die Erkenntnisse von CHI et al. (1989) und RENKL (1997a) verifiziert werden, die zeigen, dass der Lernerfolg vom Typ der Selbsterklärung abhängig ist. Nach RENKL generieren erfolgreiche Lerner prinzipbasierte Erklärungen, indem sie bei ihren Selbsterklärungen, den einzelnen Operationen der Lösungsschritte Bedeutungen zuweisen und kausale Zusammenhänge herstellen. Die zweite Gruppe der erfolgreichen Lerner nach RENKL, die antizipatorischen Schlussfolgerer, kann nicht identifiziert werden, was weitgehend am Untersuchungsdesign liegt, das sich auf die Selbsterklärung des präsentierten Lösungsschrittes konzentriert und nicht das Erschließen des nächsten Lösungsschrittes fokussiert.

Es zeigt sich, dass die explanativen Selbsterklärer, die im weiteren Sinne den prinzipbasierten Erklärern nach RENKL zu zuordnen sind, einen signifikant höheren Lernzuwachs und eine bessere Transferleistung erreichen, als die Gruppe der deskriptiven Selbsterklärer, die den Lösungsschritt lediglich mit eigenen Worten beschreiben.

Der geringe Unterschied hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit der Selbsterklärungen zwischen der Interventionsgruppe mit Erklärung und der Kontrollgruppe ohne Erklärung, scheint an der Tatsache zu liegen, dass auch eine rein beschreibende Selbsterklärung den Lerninhalt korrekt wiedergibt.

8.5 Einfluss der integrierten instruktionalen Erklärungen auf das Lösen von Übungsaufgaben

Im Folgenden soll der Einfluss der integrierten Erklärungen auf das Lösen der Übungsbeispiele untersucht werden. Die Übungsbeispiele dienen den Probanden als Rückmeldung über ihren Lernfortschritt. Jeder Lösungsbeispielsequenz zu einer Problemstruktur ist ein Übungsbeispiel nachgeschaltet, das von den Probanden unmittelbar gelöst werden muss, um mit der nächsten Lösungsbeispielsequenz fortfahren zu können. Die Übungsaufgabe entspricht dem Design einer Aufgabe zum mittleren Transfer, damit liegt ihr die gleiche Problemstruktur wie den präsentierten Lösungsbeispielen zugrunde, jedoch werden im Aufgabentext andere Oberflächenmerkmale (Zahlen, Verbindungen) verwendet. Die Übungsaufgaben nehmen

analog der zugrunde liegenden Problemstrukturen von Lösungsbeispielsequenz eins nach drei an Komplexität zu. Die Auswertung der Logfiles zu den Übungsaufgaben liefert erste Hinweise auf die Problemlösefähigkeit der Probanden. Aufgrund der Anzahl der Übungsaufgaben sind die Erkenntnisse explorativ zu werten.

Es wird angenommen, dass die Interventionsgruppe, die während der Elaborationsphase die integrierten instruktionalen Erklärungen obligatorisch nutzt, bei der Bearbeitung der Übungsbeispiele erfolgreicher ist, als die Kontrollgruppe, die das Lernmodul ohne diese Erklärungen elaboriert. Als Indikatoren für den Bearbeitungserfolg dienen die Problemlösezeit und die Anzahl der Fehlversuche beim Lösen der Aufgabe.

Übungsaufgabe 1: Silberbromid ist eine lichtempfindliche Verbindung, die in nahezu allen fotografischen Filmen verwendet wird. Bei 25°C lösen sich in 1 L Wasser $7.1 \cdot 10^{-7}$ mol AgBr. Berechnen Sie das Löslichkeitsprodukt L der Verbindung bei dieser Temperatur.

Übungsaufgabe 2: Welche Chlorid-Ionenkonzentration muss erreicht werden, damit aus einer gesättigten Silberchromat-Lösung (Ag_2CrO_4) Silberchlorid (AgCl) ausfällt?

Abb. 17: Exemplarische Aufgabentexte der Übungsaufgaben ohne Angabe der Auswahlantworten

Als Problemlösezeit wird im Rahmen dieser Arbeit die Zeit bezeichnet, die der Proband vom Öffnen der Übungsaufgabe bis zur Markierung des *richtigen* Ergebnisses benötigt (siehe Tabelle 8-8). Da die Probanden sofort Rückmeldung über die Richtigkeit ihres Ergebnisses erhalten und gegebenenfalls die Aufgabe noch mal überarbeiten können, wird durch die Logfiles nicht nur die Problemlösezeit sondern auch die Anzahl der Fehlversuche erfasst. Die Problemlösezeit ist damit auch abhängig, von der Anzahl der Fehlversuche, die ein Proband bis zum Erreichen der richtigen Lösung benötigt. Jeder Fehlversuch¹⁵ verlängert demnach automatisch die Problemlösezeit.

Problemlösezeit [s]	Interventionsgruppe (mit Erklärung)		Kontrollgruppe (ohne Erklärung)	
	M	SD	M	SD
Übungsaufgabe 1	273	137	240	127
Übungsaufgabe 2	580	274	700	481
Übungsaufgabe 3	421	219	429	253

Tabelle 8-8: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Problemlösezeiten der Übungsaufgaben von Interventions- und Kontrollgruppe.

Beim Vergleich der Problemlösezeiten der drei Aufgaben innerhalb der Gruppe und zwischen den Gruppen zeigt sich keine generelle Tendenz. Obwohl die Komplexität von Übungsaufgabe eins bis drei zunimmt, erhöht sich die Problemlösezeit nicht entsprechend. Die Unterschiede zwischen den Probanden, die Lösungsbeispiele mit integrierten Erklärungen nutzen und dadurch mehr Information zum jeweiligen

¹⁵ In grafischen Darstellungen wird für Fehlversuch die Abkürzung FVS verwendet.

Lösungsschritt erhalten, benötigen nicht zwangsläufig weniger Zeit für die Bearbeitung der Übungsbeispiele.

Unabhängig von der Problemlösezeit wird angenommen, dass bei den Probanden der Interventionsgruppe wesentlich weniger oder keine Fehlversuche beim Lösen der Übungsaufgaben im Vergleich zur Kontrollgruppe zu verzeichnen sind. Die Anzahl der Fehlversuche wird mit der Problemlösefähigkeit assoziiert. Je geringer die Anzahl der Fehlversuche desto höher wird die Problemlösefähigkeit angesetzt.

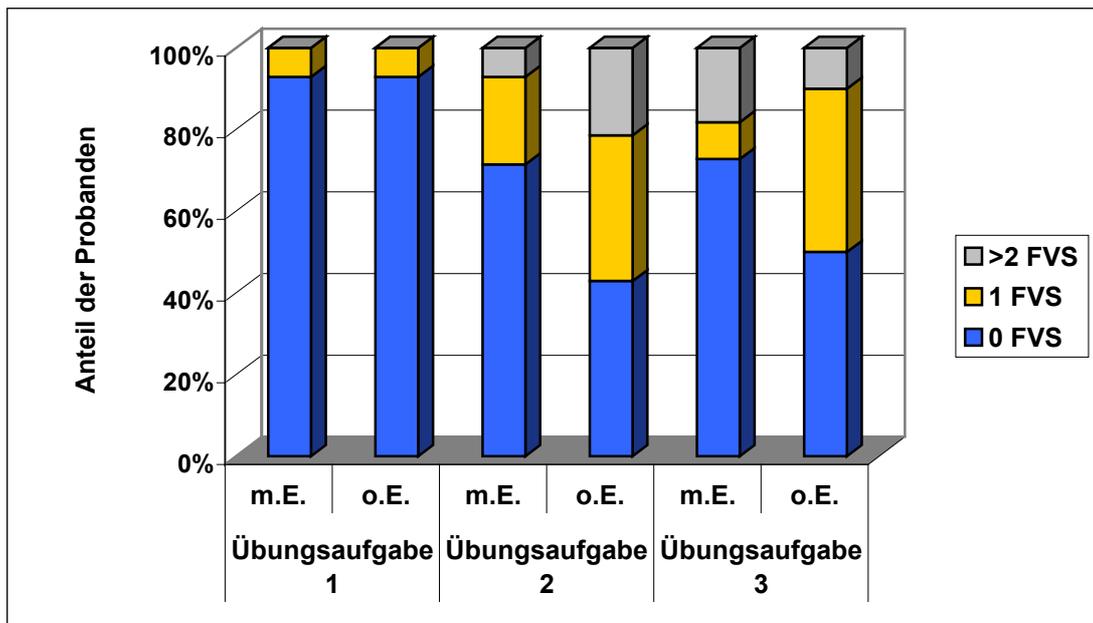


Abb. 18: Darstellung des Anteils der Probanden in Abhängigkeit der Fehlversuche beim Lösen der drei Übungsaufgabe nach Interventions(m.E.)- und Kontrollgruppe (o.E.)

Die *Übungsaufgabe eins*, lösen in beiden Gruppen anteilig gleich viele Probanden (92.9%) ohne Fehlversuch direkt richtig. Die Problemlösezeiten zwischen Interventionsgruppe und Kontrollgruppe unterscheiden sich deshalb im Mittel kaum (siehe Tabelle 8-9). Für das erfolgreiche Lösen der ersten Aufgabe scheint die vorhergehende Präsentation der Lösungsbeispiele selbsterklärend, die integrierten instruktionalen Erklärungen sind für die Interventionsgruppe offenbar redundant.

Der *Übungsaufgabe zwei* liegt eine komplexere Problemstruktur als der Übungsaufgabe eins zugrunde. In der Interventionsgruppe mit Erklärung lösen deutlich mehr Probanden (71.4%) diese Aufgabe unmittelbar ohne Fehlversuch als in der Kontrollgruppe ohne Erklärung (42.9%). Die Problemlösezeiten unterscheiden sich bei dieser Aufgabe auch im Mittel stark (siehe Tabelle 8-9), was offenbar auf die höhere Anzahl der Fehlversuche in der Kontrollgruppe zurückzuführen ist. Die hohen Werte der Standardabweichungen implizieren eine starke Schwankung der Problemlösezeiten der einzelnen Probanden innerhalb einer Gruppe.

Die *Übungsaufgabe drei* wird vermutlich aus Zeitgründen nur von elf Probanden der Interventionsgruppe und zehn Probanden der Kontrollgruppe bearbeitet. In der Interventionsgruppe mit Erklärung (72.7%) lösen anteilig deutlich mehr Probanden die Aufgabe ohne Fehlversuche als in der Kontrollgruppe ohne Erklärung (50.0%). Die

Problemlösezeiten der Gruppen unterscheiden sich im Mittel bei der dritten Übungsaufgabe kaum.

Insgesamt betrachtet gelingt es der Kontrollgruppe offenbar nicht in dem Maß wie der Interventionsgruppe, das zugrunde liegende Prinzip der vorhergehenden Lösungsbeispiele zu identifizieren und erfolgreich bei der Übungsaufgabe zu applizieren. Die Interventionsgruppe scheint damit beim Lösen der Übungsaufgaben von den integrierten instruktionalen Erklärungen zu profitieren.

Da die erste Übungsaufgabe von den Probanden unabhängig von der Intervention gleich erfolgreich gelöst wurde, ist davon auszugehen, dass auch die kognitiven Lernvoraussetzungen, die aufgrund der Untersuchungsvoraussetzungen in beiden Gruppen im Mittel annähernd gleich sind, das Lösen von Übungsaufgaben beeinflussen. Die kognitiven Lernvoraussetzungen werden differenziert nach themenspezifischem Vorwissen, themenübergreifendem Fachwissen und standardisiertem KFT-Wert betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass bei guten kognitiven Lernvoraussetzungen die Anzahl der Fehlversuche geringer ist. Dazu werden die Anzahl der Fehlversuche mit verschiedenen kognitiven Voraussetzungen assoziiert. Zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Anzahl der Fehlversuche und den kognitiven Lernvoraussetzungen werden Rangkorrelationen nach Spearman zur Ermittlung der Korrelationskoeffizienten ρ durchgeführt. Der standardisierte KFT-Wert und das themenübergreifende Fachwissen zeigen keine signifikanten Korrelationen mit der Anzahl der Fehlversuche.

Vorwissen		
Anzahl der Fehlversuche	Korrelationskoeffizient ρ	p(einseitig)
Übungsbeispiel 1	- .386	< .05
Übungsbeispiel 2	- .303	< .05
Übungsbeispiel 3	- .498	< .05

Tabelle 8-9: Darstellung der Korrelationskoeffizienten zwischen Anzahl der Fehlversuche und Vorwissen

Im starken Gegensatz dazu steht der Zusammenhang zwischen der Anzahl der Fehlversuche und dem Vorwissen. Bei allen drei Übungsaufgaben ist die Anzahl der Fehlversuche signifikant negativ mit dem Vorwissen assoziiert. Die Übungsaufgaben werden demnach von Probanden mit hohem Vorwissen erfolgreicher, d. h. mit weniger oder keinen Fehlversuchen gelöst als von Probanden mit geringem Vorwissen (siehe Tabelle 8-10). Der positive Einfluss der kognitiven Lernvoraussetzung auf die Anzahl der Fehlversuche und damit auf den Lernerfolg kann damit geklärt werden. Da die Probanden entsprechend ihren kognitiven Voraussetzungen auf beide Gruppen gleich verteilt wurden, liegt der Schluss nahe, dass der höhere Anteil von erfolgreichen Probanden in der Interventionsgruppe auf die instruktionalen Erklärungen zurück zu führen ist. Für ein erfolgreiches Lösen der Übungsaufgaben sind zusätzliche Erklärungen essentiell, da bei der Interventionsgruppe deutlich weniger Fehlversuche festgestellt werden, als bei der Kontrollgruppe, die keinen Zugriff auf die integrierten instruktionalen Erklärungen hat.

Beim direkten Vergleich der Problemlösezeiten und dem Anteil der erfolgreichen Probanden, die keine Fehlversuche hatten, wird deutlich, dass sich die Problemlösezeit nicht als Indikator für den Lernerfolg eignet. Eine geringe Anzahl von Fehlversuchen bedingt nicht zwangsläufig eine geringere Problemlösezeit, damit eignet sich Problemlösezeit nicht als Indikator für die Problemlösefähigkeit (siehe Tabelle 8-8 und Abbildung 18).

Die Übungsbeispiele und die unmittelbare Rückmeldung über die Richtigkeit des Ergebnisses mit der Möglichkeit der erneuten Überarbeitung der Übungsaufgaben bei Fehlversuchen werden, unabhängig von der Intervention, vom überwiegenden Anteil der Probanden als sehr positiv und lernförderlich bewertet. (siehe Kapitel 8.6.3).

8.6 Einfluss der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen auf das computerunterstützte Lernen mit Lösungsbeispielen

Im folgenden Kapitel soll die Forschungsfrage vier nach dem Einfluss und die Veränderung der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen auf das computerunterstützte Lernen mit Lösungsbeispielen geklärt werden. Da nur 32.1% der Probanden bisher Lernsoftware angewendet haben, haben zwei Drittel Gesamtgruppe keine subjektiven Erfahrungswerte zu computerunterstütztem Lernen, was eine gewisse Voreingenommenheit bei der Bearbeitung des Lernmoduls hervorrufen und gegebenenfalls den Lernerfolg negativ beeinflussen könnte.

Im ersten Abschnitt wird geklärt, ob und inwieweit sich die Bewertung des computerunterstützten Lernens im Vergleich zur traditionellen Lehrformen durch die Elaboration des Lernmoduls verändert (Kapitel 8.6.1). Im Anschluss wird der Fragestellungen nachgegangen, ob zwischen der Einstellung zu computerunterstütztem Lernen und dem Lernerfolg ein Zusammenhang besteht und inwiefern sich durch die Nutzung des Lernmoduls die Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen der Probanden verändert (Kapitel 8.6.2).

Abschließend erfolgt die Darstellung der Aussagen der Probanden zu dem entwickelten Lernmodul differenziert nach positiven und negativen Aspekten (Kapitel 8.6.3).

8.6.1 Veränderung der Einschätzung des computerunterstützten Lernens im Vergleich zu herkömmlichen Lernformen

Die Probanden sollen sich vor und nach der Bearbeitung des Lernmoduls äußern, wie sie sich das Lernen mit computerunterstützten Lern- und Übungsprogrammen im Vergleich zu herkömmlichen Lehr- und Lernformen vorstellen. Die Einschätzung erfolgt mittels einer sechsstufigen Skala (1 = sehr positiv bis 6 sehr negativ). Aus Gründen der Übersichtlichkeit für die grafischen Darstellungen werden den Itemformulierungen Itemnummern zugeordnet. (siehe Tabelle 8-10).

Itemnummer	Itemformulierung
Item 1	regt zu vertieftem Lernen an
Item 2	hilft Zusammenhänge zwischen Lerninhalten herzustellen
Item 3	fördert kreatives Denken
Item 4	fördert das Erwerben von Detailwissen
Item 5	bietet mehr Möglichkeiten zum eigenverantwortlichen Handeln

Tabelle 8-10: Liste der Items zur Beurteilung von computerunterstützten Lern- und Übungsprogrammen im Vergleich zu herkömmlichen Lehr- und Lernformen

Da zwischen den Mittelwerten der Items aus Prä- und Post-Fragebogen hinsichtlich der Bewertung von computerunterstütztem Lernen im Vergleich zu herkömmlichen Lehr- und Lernformen zwischen der Interventionsgruppe mit integrierten Erklärungen und der Kontrollgruppe ohne integrierte Erklärungen kein Unterschied festgestellt wird, wird im Folgenden die Gesamtstichprobe betrachtet.

Bei der Gesamtbewertung unter Betrachtung aller fünf Items ist ein geringer Anstieg des Mittelwerts und damit eine leichte Verschlechterung der Gesamtbeurteilung festzustellen, die aufgrund der annähernd gleichen Steigung ($m^{16} \approx 1.04$) der Geraden bei Gesamtgruppe, Interventions- und Kontrollgruppe gleich verläuft (siehe Abbildung 19).

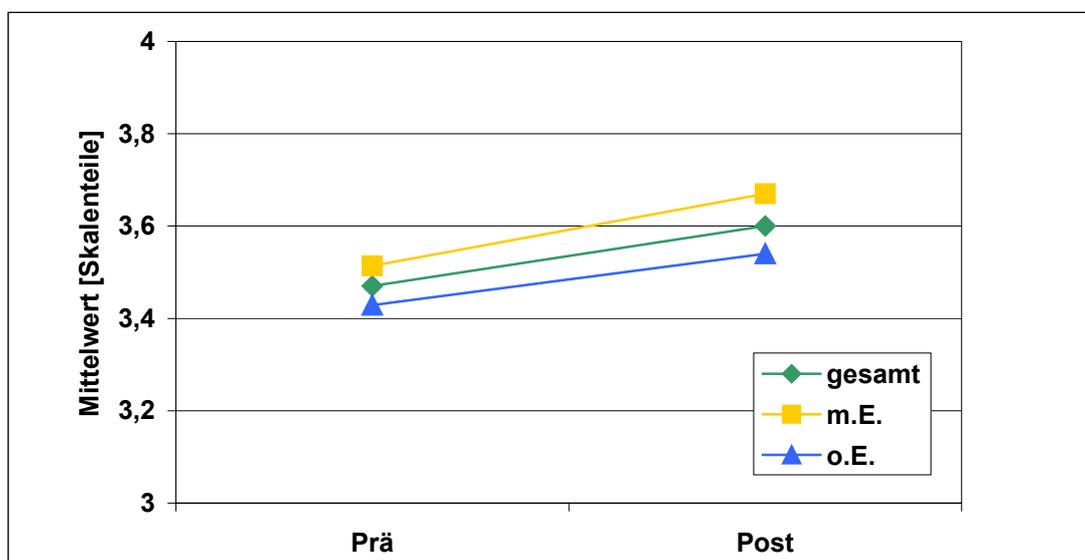


Abb. 19: Darstellung der Veränderung der Mittelwerte der Gesamtbeurteilung von Interventionsgruppe (m.E.), Kontrollgruppe (o.E.) und Gesamtstichprobe (gesamt)

Aufgrund der ähnlichen Verläufe wird im Folgenden die Gesamtstichprobe betrachtet. Die Mittelwerte der Items der Gesamtstichproben liegen sowohl im Prä- als auch im Post-Fragebogen zwischen Skalenteil drei und vier der sechsstufigen Skala (siehe Tabelle 8-11). Während sich die Bewertung hinsichtlich der Förderung von Kreativität und Erwerb von Detailwissen (Item 3 und 4) nur unwesentlich durch die Bearbeitung des

¹⁶ Die Steigung einer Geraden wird mathematisch mit m symbolisiert.

Lernmoduls verändert haben, hat sich die Beurteilung des vertieften Lernens durch Lernsoftware aufgrund der Abnahme des Mittelwerts positiv entwickelt (Item 1). Dies könnte speziell bei diesem Lernprogramm auf die häufigen Wiederholungen der Lerninhalte (Problemstrukturen) und die Übungsbeispiele zurückzuführen sein.

	Prä-Fragebogen (Gesamtstichprobe)		Post-Fragebogen (Gesamtstichprobe)		p(einseitig)
	M	SD	M	SD	
Item 1	3.86	1.24	3.61	1.40	n.s.
Item 2	3.18	.90	3.64	1.19	< .05
Item 3	3.89	1.03	3.86	1.18	n.s.
Item 4	3.11	1.13	3.07	1.05	n.s.
Item 5	3.32	1.48	3.86	1.30	< .05

Tabelle 8-11: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) aller Items der Gesamtstichprobe aus Prä- und Post-Fragebogen

Eine signifikant negative Tendenz ist bei Item 2 festzustellen. Nach Bearbeiten des Lernmoduls bewerten die Probanden den Aspekt, dass Übungs- und Lernprogramme helfen Zusammenhänge zwischen den Lerninhalten herzustellen, signifikant geringer ($t(27) = -2.100$; $p < .05$ (einseitig)).

Ein analoges Resultat ergibt sich bei der Analyse von Item 5 ($t(27) = -1.749$; $p < .05$ (einseitig)). Demnach bewerteten die Probanden nach der Elaboration des Lernmoduls, das eigenverantwortliche Handeln bei Übungs- und Lernprogrammen signifikant geringer, als dies vorher der Fall war (siehe Abbildung 20). Dies könnte speziell bei diesem Lernprogramm auf den ausschließlich vorwärts gerichteten Programmablauf und auf die bewusst eingeschränkte Navigationsflexibilität innerhalb des Lernmoduls zurückzuführen sein, durch die sich die Probanden in ihrem eigenverantwortlichen Handeln eingeschränkt fühlen.

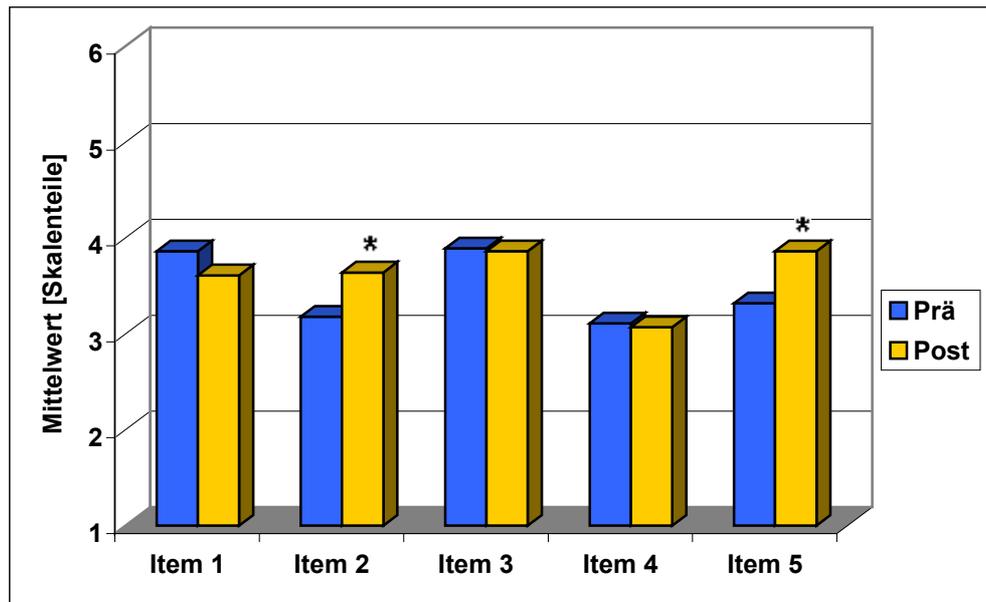


Abb. 20: Darstellung der Mittelwerte der fünf Items zur Einschätzung von computerunterstütztem Lernen im Vergleich mit herkömmlichen Lehr- und Lernformen der Gesamtstichprobe; (* $p < .05$)¹⁷

Die Elaboration des Lernmoduls scheint jedoch im Wesentlichen keinen deutlichen Einfluss auf die Vorstellung der Probanden zum computerunterstützten Lernen im Vergleich zu konventionellen Lehr- und Lernformen zu nehmen.

8.6.2 Veränderung der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen durch das Lernmodul

Die Probanden werden vor und nach der Bearbeitung der jeweiligen Version des Lernmoduls zu ihrer Einstellung zum computerunterstützten Lernen schriftlich befragt. Es wird eine differenzierte Darstellung der Interventionsgruppe, die das Lernmodul mit integrierten instruktionalen Erklärungen bearbeitet und der Kontrollgruppe, die das Lernmodul ohne Erklärungen elaboriert, vorgenommen. Die Probanden sollen ihre Angaben zur Einstellung auf einer sechsstufigen Skala (1 = sehr positiv bis 6 sehr negativ) einordnen.

Die beiden Gruppen unterscheiden sich im Prä-Fragebogen hinsichtlich der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen, auch bei differenzierter Betrachtung nach der emotionalen, motivationalen und kognitiven Dimension nicht signifikant. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Akzeptanz des computerunterstützten Lernens in beiden Gruppen zu Untersuchungsbeginn sehr ähnlich ist, was für die Vergleichbarkeit der Post-Fragebogenresultate nach der Elaborationsphase relevant ist (siehe Tabelle 8-12).

¹⁷ Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur die signifikanten Änderungen in Abbildung 20 gekennzeichnet.

	Interventionsgruppe Prä-Fragebogen (mit Erklärungen)		Kontrollgruppe Prä-Fragebogen (ohne Erklärungen)		p(zweiseitig)
	M	SD	M	SD	
Emotionale Dimension	3.51	.83	3.23	1.07	n.s.
Motivationale Dimension	3.50	.70	3.33	.97	n.s.
Kognitive Dimension	3.21	.64	3.05	.68	n.s.
Akzeptanz	3.41	.65	3.22	.80	n.s.

Tabelle 8-12: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Akzeptanz und ihrer Dimensionen (emotionalen, motivationalen und kognitiven Dimension) von Interventions- und Kontrollgruppe aus dem Prä-Fragebogen

Es besteht die Möglichkeit, dass sich eine negative Akzeptanz der Probanden in Bezug auf computerunterstütztes Lernen zu Beginn der Untersuchung negativ auf den Lernzuwachs auswirken könnte, denn „eine essentielle Bedingung für den Erfolg des mediengestützten Lernens ist die Akzeptanz des Lernangebotes“ (KERRES 2001, S.107). Da sich die Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen vor Beginn der Untersuchung in Interventions- und Kontrollgruppe nicht signifikant unterscheidet (siehe Tabelle 8-12), wird die Korrelation r nach Pearson zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen und Lernzuwachs aus der Gesamtstichprobe ermittelt. Eine signifikante Assoziation der Akzeptanz mit dem Lernzuwachs bei computerunterstütztem Lernen mit Lösungsbeispielen kann nicht identifiziert werden ($r = -0.154$; n.s.).

Es bleibt diffizil einzuschätzen, ob und in welche Richtung sich die Akzeptanz des computerunterstützten Lernens der Probanden durch die Elaboration des Lernmoduls verändern wird. Beim Vergleich der verschiedenen Dimensionen der Akzeptanz aus Prä- und Post-Fragebogen ergeben sich zwischen den zwei Messpunkten für die *Interventionsgruppe* keine signifikanten Unterschiede (siehe Tabelle 8-13, Interventionsgruppe). Bei der emotionalen und motivationalen Dimension ist eine leichte Verschlechterung der Werte, bei der kognitiven Dimension keine Veränderung zu verzeichnen, was insgesamt eine geringfügige Verschlechterung der Akzeptanz bewirkt. Alle Mittelwerte liegen sowohl im Prä- als auch im Post-Fragebogen im mittleren Bereich zwischen dem dritten und vierten Skalenteil und bleiben von der Intervention nahezu unbeeinflusst.

Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass das Lernmodul mit den integrierten instruktionalen Erklärungen im Durchschnitt die Erwartungen der Probanden der Interventionsgruppe hinsichtlich des Lernens mit dem Computer weitgehend erfüllt. Da ihre Vorstellungen offenbar weder in positiver noch negativer Hinsicht beeinflusst werden, bleibt die Akzeptanz nahezu unverändert.

	Interventions- gruppe Prä-Fragebogen		Interventions- gruppe Post- Fragebogen		Kontrollgruppe Prä-Fragebogen		Kontrollgruppe Post-Fragebogen	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Emotionale Dimension	3.51	.83	3.74	.88	3.23	1.07	3.73	1.05
Motivationale Dimension	3.50	.70	3.54	.67	3.33	.97	3.65	.92
Kognitive Dimension	3.21	.64	3.20	.66	3.05	.68	3.11	.82
Akzeptanz	3.41	.65	3.49	.68	3.22	.80	3.49	.89

Tabelle 8-13: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Akzeptanz und ihrer Dimensionen (emotionalen, motivationalen und kognitiven Dimension) von Interventions- und Kontrollgruppe aus Prä- und Post-Fragebögen

Aufgrund der fehlenden integrierten instruktionalen Erklärungen wird erwartet, dass die Probanden der *Kontrollgruppe* mit dem Lernmodul unzufriedener sind, weil von ihnen eine gewisse Unsicherheit über den Lernfortschritt und Lernerfolg ertragen werden muss. Dies könnte sich in einer Verschlechterung der Akzeptanz des computerunterstützten Lernens zeigen.

Beim Vergleich der Mittelwerte aus Prä- und Post-Fragebogen der Kontrollgruppe zeigt sich bei allen Untersuchungsparametern eine Verschlechterung der Größen (siehe Tabelle 8-13, Kontrollgruppe). Die Werte der Kontrollgruppe bleiben, wie auch bei der Interventionsgruppe zwischen den Skalenteilen drei und vier. Für die emotionale Dimension ergibt sich zwischen Prä- und Postwert ein signifikanter Unterschied ($t(13) = -2.440$; $p < .05$; (einseitig)). Dies setzt sich in einer signifikanten Verschlechterung der Akzeptanz ($t(13) = -1.891$; $p < .05$; (einseitig)) fort. Die Unterschiede von motivationaler und kognitiver Dimension in Prä- und Postfragebogen sind nicht signifikant (siehe Abbildung 21).

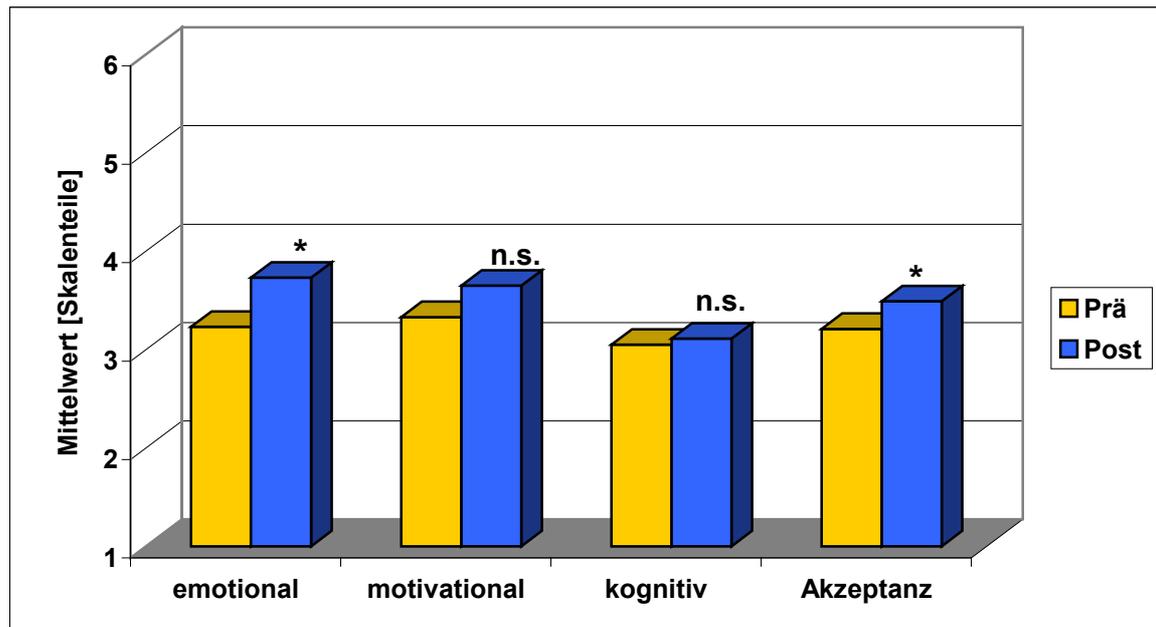


Abb. 21: Darstellung der Mittelwerte der Akzeptanz in Summe und differenziert nach emotionaler, motivationaler und kognitiver Dimension der *Kontrollgruppe* in Prä- und Post-Fragebogen; (* $p < .05$)

Nach separater Prä-Post-Analyse aller 24 Items, geht die negative Veränderung der Akzeptanz überwiegend auf die signifikante Verschlechterung der Items der emotionalen Dimension zurück. Bei sieben der acht Items (siehe Tabelle 8.14) zur Bestimmung der emotionalen Dimension werden im Durchschnitt nach der Bearbeitung des Lernmoduls schlechtere Werte abgegeben. Lediglich das Item „persönlich“ wird im Mittel im Post-Fragebogen geringfügig stärker in Richtung „unpersönlich“ bewertet.

Itemnummer	Item (1 - - - - 6)
1	erfreulich – unerfreulich
2	befriedigend – unbefriedigend
3	vertraut – fremd
4	entspannt – hektisch
5	angenehm – unangenehm
6	wissenschaftlich - nicht wissenschaftlich
7	persönlich – unpersönlich
8	beglückend – deprimierend

Tabelle 8-14: Liste der Items zur Bestimmung der emotionalen Dimension der Akzeptanz

Bei näherer Betrachtung der sieben Items, welche eine Zunahme der Werte und damit eine Verschlechterung der emotionalen Dimension begründen, haben sich die zwei Items „befriedigend“ ($t(13) = -1.991$; $p < .05$ (einseitig)) und „vertraut“ ($t(13) = -2.332$; $p < .05$ (einseitig)) signifikant verschlechtert (siehe Abbildung 22).

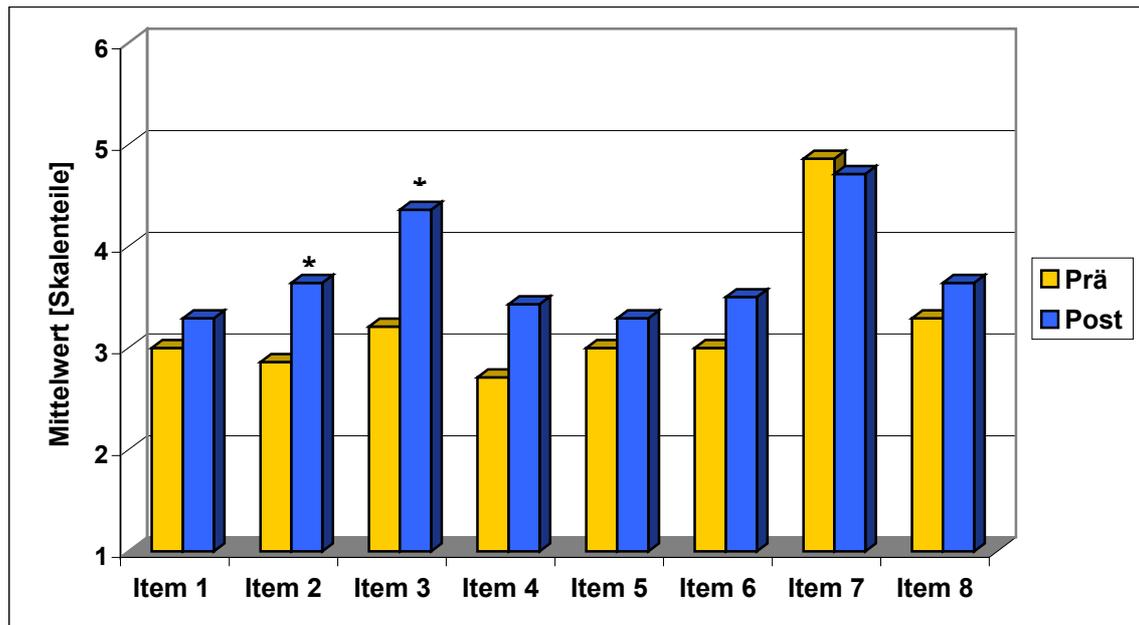


Abb. 22: Darstellung der Mittelwerte der acht Items zur Bestimmung der emotionalen Dimension der Akzeptanz der Kontrollgruppe; (* $p < .05$)¹⁸

Die Version des Lernmoduls ohne die integrierten instruktionalen Erklärungen scheint die Erwartungen der Probanden zum Lernen mit Computern nicht zu erfüllen, da es ihnen aufgrund der signifikanten Zunahme von Item zwei und drei fremd erscheint und sie damit nicht zufrieden sind. Es ist anzunehmen, dass ihnen eine Rückmeldung zu den Selbsterklärungen fehlt, die ihnen entweder die Richtigkeit ihrer Gedankengänge bestätigt oder sie auf mögliche Fehler hinweist. Diese signifikant negative Veränderung der emotionalen Dimension verschlechtert als Folge die Akzeptanz des computerunterstützten Lernens bei der Kontrollgruppe. Da diese Abnahme der Akzeptanz bei der Interventionsgruppe, die das Lernmodul mit den integrierten Erklärungen nutzt, nicht identifiziert wurde, spielen die instruktionalen Erklärungen scheinbar nicht nur beim Lernzuwachs eine wichtige Rolle, sondern wirken sich auch positiv auf die Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen aus.

Die Akzeptanz des computerunterstützten Lernens der Gesamtstichprobe liegt vor der Untersuchung im mittleren Bereich der Skala ($M = 3.31$; $SD = .72$) und verändert sich durch die Bearbeitung des Lernmoduls nur sehr geringfügig ($M = 3.49$; $SD = .78$), damit scheint das Lernmodul zum computerunterstützten Lernen im Mittel den Erwartungen der meisten Probanden zu entsprechen.

8.6.3 Positive und negative Aspekte zum computerunterstützten Lernmodul

Nach der Elaborationsphase sollen die Probanden das Lernmodul bewerten. Jeder Proband soll maximal je vier positive und negative Aspekte nennen, die ihm in Bezug auf das Lernmodul aufgefallen sind. Im Durchschnitt sind maximal zwei Aspekte pro Proband formuliert worden.

¹⁸ Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur die signifikanten Änderungen in Abbildung 22 gekennzeichnet.

Die *negativen* Aspekte, die von beiden Gruppen unabhängig von der Intervention geäußert werden, sind der *Umfang des Lerninhalts* und die ausschließlich *vorwärts gerichtete Navigation* des Lernmoduls. Die Probanden der Interventionsgruppe kritisieren vor allem die *Wiederholungen* hinsichtlich der Aufgabentypen, der Selbsterklärung und der integrierten Erklärungen. Ausschließlich Probanden der Interventionsgruppe finden das *Lernmodul kognitiv anspruchsvoll* und geben an, dass ihre *Konzentration* im Laufe der Elaboration abgenommen hat.

Eine *positive* Bewertung, unabhängig von der Gruppe, erhalten die *Lösungsbeispiele*, als *gut nachvollziehbar* und *sehr strukturiert*. Ebenfalls sehr hoch eingeschätzt werden die *Übungsbeispiele*, die jeder Lösungsbeispielsequenz nach geschaltet waren und Rückmeldung zum Lernfortschritt geben sollten. Die *Wiederholungen* von Aufgabentypen werden ebenfalls positiv beurteilt, wenngleich die Anzahl der Nennungen geringer ausfällt als in der gleichen Kategorie der negativen Aspekte. Die *integrierten Erklärungen* mit nur drei positiven Nennungen werden von der Interventionsgruppe vermutlich als selbstverständlich wahrgenommen und deshalb nicht explizit hervorgehoben. Unabhängig von der Intervention wird das computerunterstützte Lernmodul als neue Lernmethode positiv aufgenommen.

Um den Aussagen der Probanden zum Lernmodul Rechnung zu tragen, werden die Hauptkritikpunkte unter dem Aspekt der Machbarkeit und Sinnhaftigkeit reflektiert.

Eine Reduzierung der *Wiederholungen* kann nur in sehr engem Rahmen erfolgen, da diese eine wesentliche Voraussetzung für die Schemainduktion darstellen. Es ist zu prüfen, ob nur zwei anstatt drei Lösungsbeispiele pro Problemstruktur den gleichen Lernerfolg bringen. Nach GICK und HOLYACK (1983) ist der Lernerfolg höher, wenn zwei isomorphe Beispiele anstatt nur eines Lösungsbeispiels bearbeitet werden.

Der *Umfang des Lerninhalts* zum Themengebiet Löslichkeit ist für Erstsemesterstudierende Lehramt Chemie Gymnasium festgelegt und kann nicht reduziert werden. Da die Studierenden das Lernmodul zukünftig in Eigenregie unabhängig von der Lehrveranstaltung elaborieren sollen, können sie, entsprechend ihren Präferenzen, die Sitzung zeitlich individualisieren und in mehrere Sessions aufzuteilen.

Eine *Veränderung der Navigation* wird als sehr problematisch eingeschätzt, da bei möglichen Rückschritten innerhalb des Lernmoduls oder Lösungsbeispiels, der aktuelle Lösungsschritt nur sehr oberflächlich elaboriert werden könnte. Der Proband könnte durch ein mögliches Zurückgehen versucht sein, die eigentliche tiefere Elaboration auf einen späteren Zeitpunkt „zu verschieben“ und/oder frühere Einträge zu Lösungsschritten zu kopieren, was beides dem Lernerfolg abträglich wäre. Hingegen bei vorwärts gerichteter Bearbeitung ist evident, dass der Lösungsschritt zum aktuellen Zeitpunkt reflektiert werden muss, da eine spätere Elaboration oder ein Abgleich programmtechnisch nicht möglich ist. Zudem besteht vor allem bei Novizen aufgrund ihres geringen themenspezifischen Wissens die Gefahr, dass sie sich innerhalb des Lernmoduls verstricken, wenn sie sich beispielsweise zwischen Lösungsbeispielen verschiedener Problemstrukturen bewegen ohne die fachlichen Zusammenhänge zu realisieren. Es ist anzunehmen, dass bei freier Navigation die Elaborationsflexibilität auf Kosten der lernrelevanten Elaborationsintensität geht.

8.7 Identifikation von speziellen Lernerprofilen

Die Befunde der vorangegangenen Kapitel legen neben den integrierten instruktionalen Erklärungen noch andere bedeutsame Einflussgrößen auf das effektive Lernen mit Lösungsbeispielen offen. Anhand dieser relevanten Einflussfaktoren soll versucht werden, aus der Gesamtstichprobe Lernerprofile zu identifizieren, die für das computerunterstützte Lernen mit Lösungsbeispielen charakteristisch sind.

Die Parameter der Einflussgrößen, die berücksichtigt werden, sind die standardisierten KFT-Werte, das themenspezifische Vorwissen, die Anzahl der generierten explanativen Selbsterklärungen und die Problemlösefähigkeit, repräsentiert durch die Anzahl von Fehlversuchen beim Lösen der Übungsbeispiele. Je geringer die Anzahl der Fehlversuche desto höher wird die Problemlösefähigkeit angesetzt. Der Lernzuwachs wird als Lernerfolgsmaß mit einbezogen. Mittels einer hierarchischen Clusteranalyse nach der Ward-Methode mit euklidischen Distanzen (vgl. BORTZ 1999, Kap. 16.3) wird die Gesamtstichprobe in verschiedene Subgruppen (Cluster) eingeteilt. Innerhalb einer Subgruppe sind die Probanden hinsichtlich der verschiedenen Variablen möglichst homogen. Zwischen den verschiedenen Clustern sind die Unterschiede dieser Variablen größtmöglich. Alle Variablen werden zur Vergleichbarkeit z-standardisiert (vgl. BORTZ 1999, S.45-46). Aus der hierarchischen Clusteranalyse ergibt sich ein Dendrogramm¹⁹, dessen Interpretation die Differenzierung in drei Cluster nahe legt (siehe Abbildung 23).

¹⁹ Ein Dendrogramm zeigt grafisch, nach welcher Abfolge die Fälle schrittweise zusammengefasst werden. Das Dendrogramm gibt Aufschluss über die beste Clusteranzahl (BORTZ 1999, S.559).

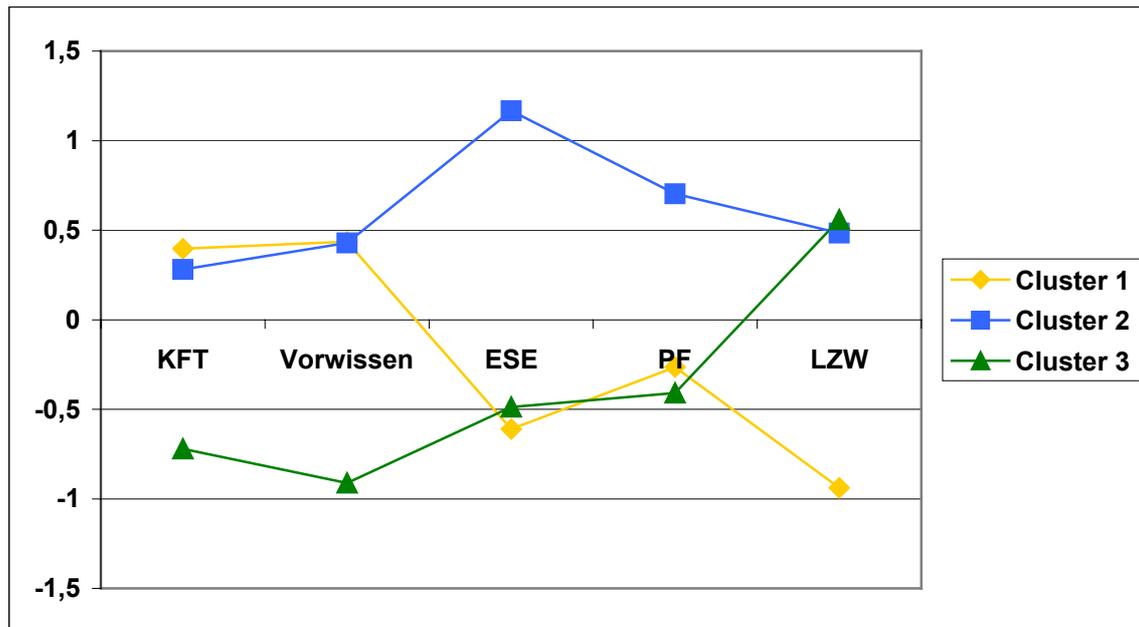


Abb. 24: Darstellung der Lernerprofile aus den z-transformierten Werten der kognitiven Fähigkeit (KFT), des Vorwissens, der explanativen Selbsterklärungen (ESE), der Problemlösefähigkeit (PF) und des Lernzuwachses (LZW)

Cluster 1 (oberflächliches Elaborieren mit unterdurchschnittlichem Lernerfolg):

Diese Subgruppe zeichnet sich durch überdurchschnittliche Lernervoraussetzungen hinsichtlich der kognitiven Fähigkeiten und des Vorwissens aus. Sie generiert jedoch nur unterdurchschnittlich häufig explanative Selbsterklärungen und ist beim Lösen der Übungsaufgaben nur unterdurchschnittlich erfolgreich. Sie erreicht einen unterdurchschnittlichen Lernzuwachs, den geringsten im Vergleich der drei Cluster.

Cluster 2 (intensives Elaborieren mit überdurchschnittlichem Lernerfolg):

Diese Subgruppe hat sehr ähnliche Lernervoraussetzungen wie die Probanden des Clusters 1 hinsichtlich der kognitiven Fähigkeiten und des Vorwissens. Sie generiert überdurchschnittlich viele explanative Selbsterklärungen und zeichnet sich durch überdurchschnittlich wenig Fehlversuche beim Lösen der Übungsaufgaben aus. Sie erreichen einen überdurchschnittlich hohen Lernzuwachs.

Cluster 3 (oberflächliches Elaborieren mit überdurchschnittlichem Lernerfolg):

Dieser Cluster ist geprägt von einem unterdurchschnittlichen KFT-Wert und einem unterdurchschnittlichen Vorwissen. Die Probanden generieren nur unterdurchschnittlich häufig explanative Selbsterklärungen. Sie sind beim Lösen der Übungsaufgaben nur unterdurchschnittlich erfolgreich. Der Lernzuwachs liegt aber überdurchschnittlich hoch.

Aus der Clusteranalyse ergeben sich drei unterschiedliche Basisprofile. Um diese diskutieren zu können ist die Zusammensetzung der Cluster nach Interventionsgruppe mit Erklärung und Kontrollgruppe ohne Erklärung relevant (siehe Tabelle 8-15).

	Interventionsgruppe (mit Erklärungen)	Kontrollgruppe (ohne Erklärungen)
Cluster 1	30%	70%
Cluster 2	78%	22%
Cluster 3	44%	56%

Tabelle 8-15: Zusammensetzung der drei Cluster nach prozentualem Anteil der Probanden aus Interventions- und Kontrollgruppe

Cluster eins enthält einen deutlich geringeren Anteil von Probanden der Interventionsgruppe mit Erklärung als Cluster zwei. In Cluster drei unterscheiden sich die Anteile von Interventions- und Kontrollgruppe nur relativ geringfügig.

Interessant sind Cluster eins und zwei, die trotz annähernd gleicher kognitiver Lernvoraussetzungen starke Unterschiede hinsichtlich der explanativen Selbsterklärungsaktivität, der Problemlösefähigkeit und des Lernzuwachs aufweisen. Bei gleichen kognitiven Lernvoraussetzungen befassen sich die Probanden des Clusters zwei offensichtlich intensiver mit der Elaboration der Lösungsbeispiele als Probanden des Clusters eins. Die Subgruppe zwei zeigt im Gegensatz zur Subgruppe eins einen überdurchschnittlichen Lernzuwachs. Während Cluster eins einen hohen Anteil Probanden der Kontrollgruppe ohne Erklärung enthält, besteht der Cluster zwei überwiegend aus Probanden der Interventionsgruppe mit Erklärung. Die Unterschiede zwischen den beiden Subgruppen hinsichtlich Lernerfolg und Elaborationsintensität könnten auf die obligatorische Nutzung der instruktionalen Erklärungen des überwiegenden Anteils der Probanden in Cluster zwei zurückzuführen sein.

Probanden des Clusters drei zeigen bei unterdurchschnittlichem Vorwissen und kognitiven Fähigkeiten einen überdurchschnittlichen Lernzuwachs ähnlich Cluster zwei. Die Elaborationsintensität ist ähnlich gering wie bei Cluster eins. Die Probanden aus Cluster drei lernen zwar analog überdurchschnittlich, befinden sich hinsichtlich des Zuwachsniveaus jedoch auf einer niedrigeren Ebene (siehe Abbildung 25) als diejenigen aus Cluster zwei.

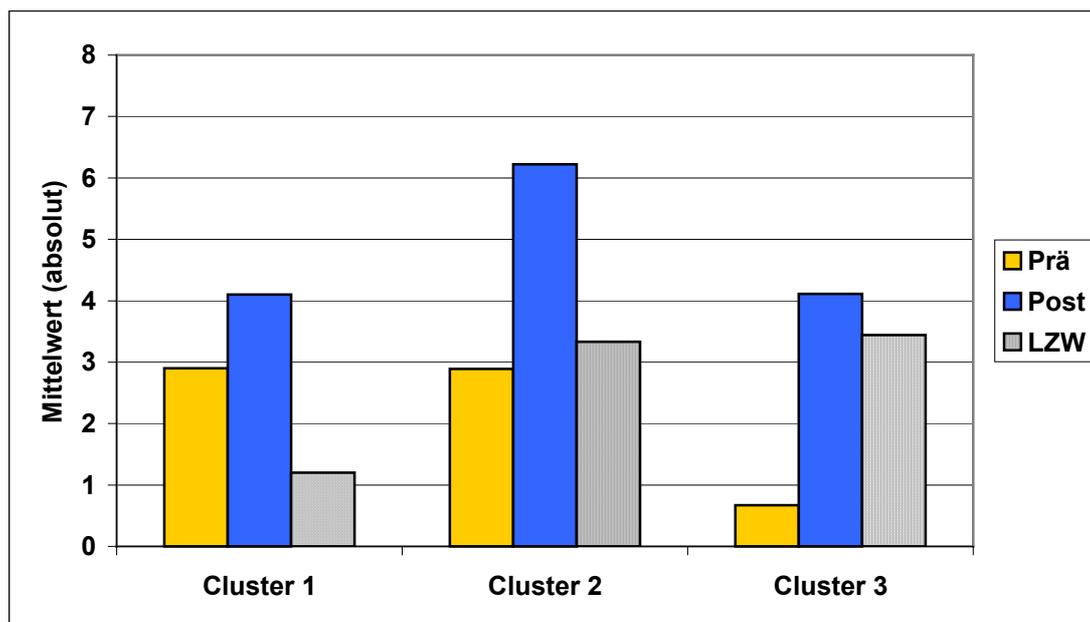


Abb. 25: Darstellung der mittleren absoluten Ergebnisse des themenspezifischen Vortests (Prä), Nachtests (Post) und Lernzuwachs (LZW) der Cluster 1, 2 und 3

Es wird deutlich, dass die Probanden in Cluster zwei aufgrund des Vorwissens ein im Mittel höheres Punkteniveau im Post-Test erreichen, als die Probanden des Clusters drei, die bei geringem Vorwissen zahlenmäßig einen ähnlichen Lernzuwachs erreichen, jedoch auf deutlich niedrigerem Punkteniveau. Das Punkteniveau wird mit dem Wissensniveau assoziiert. Probanden des Clusters zwei sind aufgrund des hohen Vorwissens in der Lage, auch die komplexeren Aufgaben zu bearbeiten und erreichen dadurch im Durchschnitt ein hohes Punkteniveau. Probanden des Clusters drei erreichen dieses hohe Punkteniveau im Mittel nicht, sind jedoch sehr erfolgreich, bei der Applikation der durch die Lösungsbeispiele erlernten Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten in weniger komplexen Aufgabenstellungen.

Probanden mit überdurchschnittlichem Vorwissen zeigen im Vergleich zu Lernern mit nahezu keinem Vorwissen einen Wissenszuwachs vor allem bei komplexeren Aufgabenstellungen. Dies legt die Vermutung nahe, dass die präsentierten Lösungsbeispiele ausreichend sind, sich ein bestimmtes Wissen anzueignen und anzuwenden. Probanden, die bereits über einen wesentlichen Anteil dieses vermittelbaren Wissens verfügen, lösen komplexere Problemstellungen erfolgreicher. Diese Feststellung verlangt nach Lösungsbeispielen, die dem Vorwissen adaptiert werden. Es sollten deshalb die Lösungsbeispiele entsprechend den Lernvoraussetzungen, insbesondere dem Vorwissen, zugewiesen werden, damit der einzelne Proband einen möglichst großen Lernzuwachs erreichen kann.

Probanden mit einem höheren Vorwissen könnten Lösungsbeispiele für Novizen direkt überspringen und sich sofort mit komplexeren Problemstrukturen befassen. Diese Zuordnung ließe sich mit einem Lernmodul verwirklichen, das zu Beginn einen Kurztest beinhaltet, der das Vorwissensniveau zur Thematik prüft. Entsprechend dem Resultat erhalten die Probanden Lösungsbeispiele für die Grundlagen oder bereits für komplexere Lösungsbeispiele, die auf den Grundlagen basieren. Damit könnte eine gewisse Individualisierung des Lernprozesses erreicht werden, da die Lernenden die

Lösungsbeispiele entsprechend ihren Voraussetzungen nutzen und dadurch in der Regel weder über- noch unterfordert sind, was für einen erfolgreichen Lernprozess essentiell ist.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Studie wird der bisher noch nicht beschriebene Einsatz von Lösungsbeispielen in der Chemie anhand des Themenbereichs Löslichkeit untersucht. Dazu wurde eine computerunterstützte Lernumgebung basierend auf dem Lernen mit Lösungsbeispielen entwickelt, programmiert und evaluiert. Die Lernumgebung entspricht einem klassischen, tutoriellen System in Form eines Übungsprogramms und berücksichtigt Aspekte der kognitionstheoretisch-konstruktivistischen Lerntheorien zum computerunterstützten Lernen. Bei der Entwicklung der computerunterstützten Lernumgebung zum Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen werden sowohl Erkenntnisse der Cognitive Load-Theorie, als auch Befunde hinsichtlich der effektiven Gestaltung und Sequenzierung von Lösungsbeispielen berücksichtigt.

Es werden drei unterschiedliche Problemstrukturen aus dem Lerninhalt Löslichkeit mit je drei Lösungsbeispielen kleinschrittig präsentiert. Nach drei Lösungsbeispielen zu einer Problemstruktur ist - programmtechnisch festgelegt - von den Probanden ein Übungsbeispiel zu bearbeiten. Eine Intensivierung des Lösungsbeispielstudiums soll durch *schriftlich* formulierte Selbsterklärungen, zusätzliche *integrierte* instruktionale Erklärungen und interaktive *Übungsbeispiele*, die in der Lernumgebung entsprechend angeordnet wurden, erreicht werden. Neben der effektiven Gestaltung der computerunterstützten Lernumgebung liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Untersuchung des Einflusses von *obligatorischen* integrierten instruktionalen Erklärungen in Kombination mit schriftlich formulierten Selbsterklärungen auf den Lernzuwachs, die Transferleistung und das Lösen von Übungsaufgaben. Weiterhin wird in Hinblick auf einen möglichen Einsatz des Lernmoduls in der Lehramtsveranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie – Übung“ dessen Effektivität hinsichtlich des zu vermittelnden Lerninhalts untersucht. Außerdem soll der Einfluss der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen auf das computerunterstützte Lernen mit Lösungsbeispielen geklärt und mögliche Veränderungen aufgezeigt werden.

Die Studie wird mit 28 Erstsemesterstudierenden des Lehramtes Chemie Gymnasium der Universität Duisburg-Essen durchgeführt. Die Untersuchung basiert auf einem einfaktoriellen zweifach gestuften Design. Es werden zwei verschiedene Lernmodule eingesetzt, die hinsichtlich der *Bereitstellung von zusätzlichen integrierten instruktionalen Erklärungen* variieren, nicht jedoch in Inhalt und Abfolge der Lösungsbeispiele. Die Interventionsgruppe bearbeitet die Version des Lernmoduls mit der obligatorischen Nutzung der integrierten Erklärungen, die Kontrollgruppe bearbeitet das analoge Lernmodul ohne die integrierten Erklärungen. Die Erhebung der Daten erfolgt in drei Sitzungen. In der ersten Sitzung werden die kognitiven Lernvoraussetzungen mittels eines kognitiven Fähigkeitstests ermittelt. In der zweiten Sitzung erfolgt ein Vortest, der zum einen das themenspezifische Vorwissen zur Löslichkeit und das themenübergreifende chemische Fachwissen zu ausgewählten Teilbereichen der Chemie erfasst. Zudem wird in der gleichen Sitzung ein Prä-Fragebogen ausgegeben, der die Nutzung von Computern und die Einstellung zu computerunterstütztem Lernen und Lernsoftware evaluiert. In der dritten Sitzung werden die zwei Versionen des Lernmoduls mit und ohne integrierte Erklärungen elaboriert. Anschließend erfolgt ein Nachtest zur

Ermittlung von Lernzuwachs und Transferleistung. Der Post-Fragebogen entspricht im Wesentlichen dem Prä-Fragebogen und dient der Erhebung der Veränderung der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen und Lernsoftware. Die Logfiles, die während der Elaborationsphase von jedem Probanden aufgezeichnet werden, dienen zur Erfassung der schriftlichen Selbsterklärungen und liefern quantitative (zeitliche) Daten zur Elaborationsphase.

Zu Beginn der Untersuchungen werden die Probanden hinsichtlich der kognitiven Lernvoraussetzungen (Vorwissen, kognitive Fähigkeiten, themenübergreifendes Fachwissen) parallelen Gruppen zugeordnet. Nach der Parallelisierung weisen die Interventionsgruppe mit Erklärungen und die Kontrollgruppe ohne Erklärungen hinsichtlich der kognitiven Lernvoraussetzungen annähernd gleiche Mittelwerte und Standardabweichungen auf.

Die interne Validität der Studie wird durch Überprüfung der Untersuchungsvoraussetzungen gesichert. Die Probanden der Interventionsgruppe bearbeiten im Mittel annähernd genauso viele Lösungs- und Übungsbeispiele wie die Kontrollgruppe. Die „time on task“ zur Elaboration des Lernmoduls ist festgelegt. Sie wird von allen Probanden vollständig ausgeschöpft und gilt damit als konstant. Es ist davon auszugehen, dass in beiden Gruppen die gleiche Lernerfahrung gesammelt werden konnte.

Der t-Test für abhängige Stichproben attestiert der Gesamtstichprobe einen überzufälligen Lernzuwachs zwischen Prä- und Post-Test. Der t-Test für abhängige Stichproben bescheinigt, separat für beide Gruppen durchgeführt, sowohl der Interventionsgruppe mit Erklärung als auch der Kontrollgruppe ohne Erklärung einen überzufälligen Lernzuwachs. Damit konnte die Effektivität des Lernens mit Lösungsbeispielen in der Chemie nachgewiesen werden. Das computergestützte Lernmodul eignet sich sehr gut, unabhängig von der Intervention, den fachlichen Lerninhalt zum Themenbereich Löslichkeit entsprechend, den Anforderungen an Erstsemesterstudierende erfolgreich zu vermitteln.

Aus dem t-Test für unabhängige Stichproben ergibt sich für die Interventionsgruppe mit integrierten Erklärungen ein signifikant höherer Lernzuwachs als für die Kontrollgruppe ohne Erklärungen. Der Effekt bleibt auch bei einer kovarianzanalytischen Betrachtung mit dem Vorwissen als Kontrollvariable stabil. Deckeneffekte müssen nicht berücksichtigt werden, da der maximale theoretische Lernzuwachs unter Berücksichtigung des Vorwissens von den Probanden nicht erreicht wird. Die integrierten instruktionalen Erklärungen haben in Kombination mit schriftlich formulierten Selbsterklärungen einen positiven Einfluss auf den Lernzuwachs.

Die Aufgaben zum nahen Transfer werden von der Interventionsgruppe mit Erklärung signifikant erfolgreicher gelöst als von der Kontrollgruppe ohne Erklärung. Die Aufgaben zum mittleren und weiten Transfer bereiten den Probanden, unabhängig von der Intervention, deutlich mehr Schwierigkeiten. Die Resultate zur mittleren und weiten Transferleistung sind im Mittel in beiden Gruppen nahezu gleich unbefriedigend. Die Transferleistung über alle Transferdistanzen liegt im Mittel bei der Interventionsgruppe höher als bei der Kontrollgruppe. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht

signifikant. Aufgrund der hohen Standardabweichung in beiden Gruppen ist davon auszugehen, dass innerhalb der einzelnen Gruppen einige Probanden höhere Transferleistungen bringen. Es kann eine über zufällige positive Assoziation der Transferleistung mit dem Vorwissen nachgewiesen werden. Probanden mit höherem Vorwissen erbringen eine höhere Transferleistung. Da die Probanden mit hohem Vorwissen aufgrund der Parallelisierung zu Untersuchungsbeginn auf beide Gruppen gleich verteilt sind, liegt der Schluss nahe, dass die bessere Transferleistung der Interventionsgruppe auf einen positiven Einfluss der integrierten instruktionalen Erklärungen zurückzuführen sein könnte.

Die Daten zu den Selbsterklärungen entstammen den aufgezeichneten Logfiles. Die Unterschiede in den Selbsterklärungen zwischen Interventions- und Kontrollgruppe werden hinsichtlich Selbsterklärungsintensität (zeitlich), Selbsterklärungsrichtigkeit und Selbsterklärungstyp diskutiert. Die Interventionsgruppe verwendet im Vergleich durchschnittlich weniger Zeit für das Generieren der Selbsterklärungen als die Kontrollgruppe. Unabhängig von der Intervention nimmt die Selbsterklärungszeit innerhalb einer Lösungsbeispielsequenz zur gleichen Problemstruktur vom ersten bis zu dritten Lösungsbeispiel ab. Dies ist bei allen drei Lösungsbeispielsequenzen zu beobachten.

Die beiden Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit der Selbsterklärungen nicht und befinden sich im Mittel betrachtet auf annähernd gleich hohem Niveau.

Bei den fachlich richtigen Aussagen werden zwei Arten von Selbsterklärungstypen identifiziert: deskriptive und explanative Selbsterklärungen. Die deskriptiven Selbsterklärungen haben einen ausschließlich beschreibenden Charakter. Die explanativen Selbsterklärungen enthalten neben einem beschreibenden Anteil auch eine erklärende Komponente, die kausale Zusammenhänge enthält oder Beziehungen herstellt. Probanden der Interventionsgruppe generieren im Mittel deutlich mehr explanative Selbsterklärungen als die Probanden der Kontrollgruppe.

Es besteht eine positive überzufällige Korrelation zwischen der Anzahl der explanativen Selbsterklärungen und dem Lernzuwachs. Probanden, die mehr explanative Selbsterklärungen generieren, erreichen einen höheren Lernzuwachs. Außerdem lässt sich ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen den explanativen Selbsterklärungen und der Transferleistung identifizieren. Probanden, die mehr explanative Selbsterklärungen formulieren, zeigen eine bessere Transferleistung.

Die Gesamtstichprobe wird basierend auf der explanativen Selbsterklärungsaktivität in die Gruppe der explanativen und deskriptiven Selbsterklärer differenziert. Die explanativen Selbsterklärer entstammen zum überwiegenden Anteil (69%) der Interventionsgruppe. Bei dem Anteil der explanativen Selbsterklärer aus der Interventionsgruppe korreliert die mittlere Lesezeit der Erklärung negativ mit der Anzahl der explanativen Selbsterklärungen. Explanative Selbsterklärer verweilen kürzer bei den integrierten Erklärungen als die übrigen Probanden der Interventionsgruppe.

Bei den explanativen Selbsterklärern zeigt sich ein überzufälliger positiver Zusammenhang zwischen der Anzahl der Selbsterklärungen und den standardisierten

KFT-Werten. Demnach generieren Probanden mit ausgeprägten kognitiven Fähigkeiten mehr explanative Erklärungen als andere Probanden.

Beim Lösen des Übungsbeispiels, das jeder Lösungsbeispielsequenz nachgeschaltet ist, werden Unterschiede zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Problemlösezeit und der Anzahl von Fehlversuchen bei den jeweiligen Aufgaben identifiziert. Aufgrund der Anzahl der Übungsbeispiele sind die Befunde überwiegend explorativ zu werten. Beim Vergleich der Problemlösezeiten der einzelnen Übungsbeispiele zwischen Interventions- und Kontrollgruppe ist keine generelle Tendenz festzustellen.

Der Anteil der Probanden ohne Fehlversuch beim Lösen der komplexeren Übungsaufgaben zwei und drei ist bei der Interventionsgruppe deutlich höher als bei der Kontrollgruppe. Bei der relativ einfachen Übungsaufgabe eins ist dieser Anteil gleich hoch. Die Anzahl der Fehlversuche wird mit der Problemlösefähigkeit assoziiert. Keine Fehlversuche beim Lösen der Übungsaufgaben signalisieren eine hohe Problemlösefähigkeit der Probanden. Die Interventionsgruppe mit Erklärung ist aufgrund der geringeren Anzahl von Fehlversuchen vor allem bei komplexeren Aufgabenstellungen beim Lösen der Übungsaufgaben erfolgreicher als die Kontrollgruppe. Zwischen der Anzahl der Fehlversuche und dem Vorwissen existiert eine überzufällige negative Korrelation. Die Übungsaufgaben werden von Probanden mit hohem Vorwissen erfolgreicher, d.h. mit weniger oder keinen Fehlversuchen gelöst, als von Probanden mit geringem Vorwissen. Zwischen der Anzahl an Fehlversuchen und der kognitiven Fähigkeit sowie dem themenspezifischen Fachwissen ist empirisch kein Zusammenhang nachweisbar. Da das Vorwissen in beiden Gruppen aufgrund der Parallelisierung der Gruppen zu Untersuchungsbeginn annähernd gleich ist, scheint das erfolgreichere Resultat der Interventionsgruppe beim Problemlösen der Übungsaufgaben in den integrierten Erklärungen begründet.

Durch den Prä- und Post-Fragebogen soll die Veränderung der Akzeptanz des computerunterstützten Lernens durch die computerunterstützte Lernumgebung in der Gesamtstichprobe, der Interventions- und der Kontrollgruppe erfasst werden. Die Akzeptanz wird differenziert nach ihrer emotionalen, motivationalen und kognitiven Dimension untersucht. Zu Beginn der Untersuchung existiert zwischen Interventions- und Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied bezüglich der Akzeptanz und ihrer Dimensionen. Außerdem wird kein Zusammenhang zwischen der Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen und dem Lernzuwachs identifiziert. Damit hat die Einstellung zu computerunterstütztem Lernen auf den Lernerfolg in der computerunterstützten Lernumgebung keinen nachweisbaren Einfluss.

Nach der Elaboration des Lernmoduls verschlechtert sich bei der Kontrollgruppe die emotionale Dimension und damit auch die Akzeptanz von computerunterstütztem Lernen signifikant. Die Probanden werden durch die Bearbeitung des computerunterstützten Lernmoduls vermutlich aufgrund der fehlenden Rückmeldungen durch die integrierten Erklärungen unsicher und damit unzufriedener. Bei der Interventionsgruppe zeigen sich keine Veränderungen der Akzeptanz und ihrer Dimensionen.

Im Post-Fragebogen nennen die Probanden Aspekte, die ihnen bei der Elaboration des Lernmoduls positiv oder negativ aufgefallen sind. Unabhängig von der Intervention

werden der Umfang und die ausschließlich vorwärts gerichtete Navigation des Lernmoduls negativ bewertet. Die Probanden der Interventionsgruppe kritisieren die Wiederholungen der Lösungsbeispiele zur gleichen Problemstruktur und die daraus resultierenden Wiederholungen von Selbsterklärungen und integrierten Erklärungen. Sie finden das Lernmodul kognitiv anspruchsvoll und finden, dass ihre Konzentration während der Elaborationsphase abgenommen hat. Unabhängig von der Intervention werden die Lösungsbeispiele als gut nachvollziehbar und sehr strukturiert bewertet. Die Übungsbeispiele mit der unmittelbaren Rückmeldung über die Richtigkeit der Ergebnisse und die Korrekturmöglichkeit werden als sehr positiv bewertet.

Mittels einer hierarchischen Clusteranalyse nach Ward können aus der Gesamtstichprobe drei unterschiedliche Lernerprofile identifiziert werden.

Ein Teil der Probanden mit überdurchschnittlichem Vorwissen und überdurchschnittlichen kognitiven Fähigkeiten zeigt oberflächliches Elaborieren des Lernmoduls und erreicht einen unterdurchschnittlichen Lernzuwachs. Ein zweiter Teil der Probanden mit überdurchschnittlichem Vorwissen und kognitiven Fähigkeiten zeigt bei intensiver Elaboration einen überdurchschnittlichen Lernzuwachs. Probanden mit sehr geringem Vorwissen und unterdurchschnittlichen kognitiven Fähigkeiten erreichen ebenfalls einen überdurchschnittlich hohen Lernzuwachs. Der überdurchschnittliche Lernzuwachs der Probanden mit suboptimalen Lernervoraussetzungen und oberflächlicher Elaboration findet im Gegensatz zu den Probanden mit optimalen Lernervoraussetzungen und intensiver Elaboration auf einem deutlich niedrigeren Wissensniveau statt.

Aus den Befunden der Studie ergeben sich im wesentliche drei Ansatzpunkte für weitere Forschungsvorhaben: Berücksichtigung der Vorwissensunterschiede, Ausweitung der Übungsaufgaben und Erhöhung der explanativen Selbsterklärungsaktivität.

Aufgrund der Ergebnisse zum Einfluss des Vorwissens auf den Lernerfolg und die Elaborationsintensität sollten bei künftigen Lernmodulen die Unterschiede im Vorwissen der Probanden stärker berücksichtigt werden, in dem beispielsweise die Lösungsbeispiele entsprechend dem Vorwissen „zugeteilt“ werden. Damit könnte für jeden Lernenden eine wenngleich auch sehr oberflächliche Individualisierung der Lernumgebung erreicht werden um somit einen größtmöglichen individuellen Lernzuwachs anzustreben. Probanden mit höherem Vorwissen könnten die Lösungsbeispiele zu den Grundlagen überspringen und erst bei komplexeren Lösungsbeispielen in das Lernmodul einsteigen. Mit den mannigfaltigen Möglichkeiten des Computers ließe sich ein derartiges Lernmodul, dem eine Art Vorwissenstest vorgeschaltet wird, programmiertechnisch mit vergleichsweise geringem Aufwand realisieren.

Da die Übungsbeispiele bei den Studierenden auf sehr positive Resonanz gestoßen sind, ist über eine Erweiterung dieser Rückmeldefunktion nachzudenken, in dem beispielsweise die Anzahl der Übungsbeispiele nach jeder Lösungsbeispielsequenz von einem auf zwei Aufgaben erhöht wird. Alternativ könnte nach jeder Lösungsbeispielsequenz zusätzlich zum aktuellen Übungsbeispiel noch ein Übungsbeispiel der vorherigen Lösungsbeispielsequenz als Wiederholung integriert werden. Um den Lerneffekt der Übungsbeispiele zu erhöhen, sollte in jedem Fall bei zukünftigen Untersuchungen trotz der Angabe der richtigen Lösung auch das komplett

ausformulierte Übungsbeispiel am Bildschirm präsentiert werden und nicht nur die Richtigkeit des Ergebnisses angezeigt werden.

Da die integrierten instruktionalen Erklärungen für den Lernerfolg essentiell sind, sollte darüber nachgedacht werden, *alle* vorher zu einem Lösungsbeispiel präsentierten Erklärungen zusammen mit den Lösungsschritten auf dem Bildschirm zu belassen und beispielsweise die aktuelle Erklärung farblich hervorzuheben. Damit könnte gegebenenfalls die lernförderliche explanative Selbsterklärungsaktivität auch bei Probanden mit suboptimalen Lernvoraussetzungen gesteigert werden, da kausale Zusammenhänge und Beziehungen offensichtlicher hervortreten würden.

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Gegenüberstellung von Selbsterklärung und instruktionale Erklärung beim Lernen mit Lösungsbeispielen nach Renkl (2002)	31
Tabelle 4-1: Paradigmen des computerunterstützten Lernens nach Baumgartner und Payr (1999, S.100)	38
Tabelle 6-1: Exemplarische Aufgabenstellungen zu den drei verschiedenen Problemtypen	51
Tabelle 6-2: Aufbau und Inhalt der strukturbetonten Beispielsequenz des Lernmoduls.....	52
Tabelle 7-1: Übersicht zum zeitlichen Ablauf der Untersuchung	60
Tabelle 7-2: Exemplarische Adjektivpaare zur Erfassung der Akzeptanz und ihrer Dimensionen.....	62
Tabelle 7-3: Exemplarisches Aussagepaar zum Lernen mit neuen Medien im Vergleich zu herkömmlichen Lehr- und Lernformen.....	63
Tabelle 7-4: Frage zur persönlichen Präferenz bezüglich der Nutzung von Lernsoftware	63
Tabelle 7-5: Aufgabenbeispiele aus dem themenübergreifenden Leistungstest.....	65
Tabelle 7-6: Aufgabenbeispiele aus dem themenspezifischen Vorwissenstest (ohne die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten)	66
Tabelle 7-7: Übersicht über die Möglichkeiten der Auswertung des Datenmaterials aus den Logfiles	66
Tabelle 7-8: Aufgabenbeispiele zum nahen, mittleren und weiten Transfer.....	69
Tabelle 8-1: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Ergebnisse des KFTs, des Leistungstests und des Vorwissenstests von Gesamt-, Interventions- und Kontrollgruppe	71
Tabelle 8-2: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Anzahl von elaborierten Lösungsbeispielen und Übungsbeispielen der Interventions- und Kontrollgruppe	72
Tabelle 8-3: Darstellung der Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der Ergebnisse von Prä- und Post-Test, Lernzuwachs (LZW) und Lernzuwachs in Prozent der Theorie.....	75
Tabelle 8-4: Angaben der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zum nahen, mittleren und weiten Transfer sowie der gesamten Transferleistung.....	77
Tabelle 8-5: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Selbsterklärungszeiten je Lösungsbeispielsequenz und der Gesamtselbsterklärungszeit von Interventions- und Kontrollgruppe	81
Tabelle 8-6: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Anzahl der explanativen Selbsterklärungen von Interventions- und Kontrollgruppe	83

Tabelle 8-7: Darstellung der Korrelationen für die deskriptiven Selbsterklärer; (p: zweiseitig).....	86
Tabelle 8-8: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Problemlösezeiten der Übungsaufgaben von Interventions- und Kontrollgruppe.	87
Tabelle 8-9: Darstellung der Korrelationskoeffizienten zwischen Anzahl der Fehlversuche und Vorwissen	89
Tabelle 8-10: Liste der Items zur Beurteilung von computerunterstützten Lern- und Übungsprogrammen im Vergleich zu herkömmlichen Lehr- und Lernformen	91
Tabelle 8-11: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) aller Items der Gesamtstichprobe aus Prä- und Post-Fragebogen	92
Tabelle 8-12: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Akzeptanz und ihrer Dimensionen (emotionalen, motivationalen und kognitiven Dimension) von Interventions- und Kontrollgruppe aus dem Prä-Fragebogen	94
Tabelle 8-13: Darstellung der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Akzeptanz und ihrer Dimensionen (emotionalen, motivationalen und kognitiven Dimension) von Interventions- und Kontrollgruppe aus Prä- und Post-Fragebögen	95
Tabelle 8-14: Liste der Items zur Bestimmung der emotionalen Dimension der Akzeptanz .	96
Tabelle 8-15: Zusammensetzung der drei Cluster nach prozentualem Anteil der Probanden aus Interventions- und Kontrollgruppe	102

11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ablaufschema eines tutoriellen Systems nach REIMANN-ROTHMEIER, MANDL, PRENZEL und BODENDORF in KAMMERL (2000)	39
Abb. 2: Ablaufschema einer Computersimulation nach EULER (1992)	41
Abb. 3: Schematisches Beispiel eines hypermedialen Systems mit fünf Knoten und acht Verknüpfungen	42
Abb. 4: Screenshot eines Lösungsbeispiels mit aktiviertem Selbsterklärungsfeld	51
Abb. 5: Screenshot einer Übungsaufgabe mit automatischer Rückmeldung	53
Abb. 6: Screenshot eines Lösungsbeispiels der Version eins mit integrierter instruktionaler Erklärung	54
Abb. 7: Struktogramm eines exemplarischen Lösungsschritts der Version eins mit integrierter instruktionaler Erklärung (rechts) und Version zwei (links) ohne Erklärung .	55
Abb. 8: Screenshot eines vollständigen Lösungsbeispiels	56
Abb. 9: Vergleich der Mittelwerte von Prä- und Post-Test bei der Gesamtgruppe, Interventionsgruppe (m.E.) und Kontrollgruppe (o.E.); (** p < .01)	73
Abb. 10: Vergleich der Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich Unterschiede der Ergebnisse in Prä- und Post-Test; (* p < .05).....	75
Abb. 11: Vergleich der Mittelwerte in Prozent der Theorie von nahem, mittleren und weitem Transfer sowie der Transferleistung (gesamt) zwischen Interventionsgruppe (m.E.) und Kontrollgruppe (o.E.).....	78
Abb. 12: Darstellung des Verlaufs der mittleren Selbsterklärungszeiten in Abhängigkeit der Lösungsbeispiele.....	80
Abb. 13: Anteil der richtigen Selbsterklärungen von Interventions-(m.E.) und Kontrollgruppe (o.E.) in Abhängigkeit der Lösungsbeispielesequenz	82
Abb. 14: Beispiel einer deskriptiven Selbsterklärung mit entsprechendem Lösungsschritt... 83	
Abb. 15: Beispiel einer explanativen Selbsterklärung mit entsprechendem Lösungsschritt.. 83	
Abb. 16: Darstellung des Verlaufs der mittleren Lesezeiten der instruktionalen Erklärungen der Interventionsgruppe (m.E. gesamt), dem Anteil der explanativen Selbsterklärer (m.E. explanativ) und dem Anteil der deskriptiven Selbsterklärer (m.E. deskriptiv)	85
Abb. 17: Exemplarische Aufgabentexte der Übungsaufgaben ohne Angabe der Auswahlantworten	87
Abb. 18: Darstellung des Anteils der Probanden in Abhängigkeit der Fehlversuche beim Lösen der drei Übungsbeispiele nach Interventions(m.E.)- und Kontrollgruppe (o.E.) ..	88
Abb. 19: Darstellung der Veränderung der Mittelwerte der Gesamtbeurteilung von Interventionsgruppe (m.E.), Kontrollgruppe (o.E.) und Gesamtstichprobe (gesamt)	91

Abb. 20: Darstellung der Mittelwerte der fünf Items zur Einschätzung von computerunterstütztem Lernen im Vergleich mit herkömmlichen Lehr- und Lernformen der Gesamtstichprobe; (* $p < .05$).....	93
Abb. 21: Darstellung der Mittelwerte der Akzeptanz in Summe und differenziert nach emotionaler, motivationaler und kognitiver Dimension der <i>Kontrollgruppe</i> in Prä- und Post-Fragebogen; (* $p < .05$).....	96
Abb. 22: Darstellung der Mittelwerte der acht Items zur Bestimmung der emotionalen Dimension der Akzeptanz der Kontrollgruppe; (* $p < .05$).....	97
Abb. 23: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse nach Ward.....	100
Abb. 24: Darstellung der Lernerprofile aus den z-transformierten Werten der kognitiven Fähigkeit (KFT), des Vorwissens, der explanativen Selbsterklärungen (ESE), der Problemlösefähigkeit (PF) und des Lernzuwachses (LZW)	101
Abb. 25: Darstellung der mittleren absoluten Ergebnisse des themenspezifischen Vortests (Prä), Nachtests (Post) und Lernzuwachs (LZW) der Cluster 1, 2 und 3	103

12 Literaturverzeichnis

- ANDERSON, J.R. (2001). *Kognitive Psychologie*, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg.
- ATKINSON, R.K., DERRY, S.J., RENKL, A., WORTHAM, D. (2000). *Learning from examples: Instructional Principles from the worked examples research*, Review of Educational Research, 70 (2), 181-214.
- BARFIELD, W. (1986). *Expert-novices difference for software: Implications for problem solving and knowledge acquisition*, Behaviour & Information Technology, 5, 15-29.
- BARQUERO, B., CREß, U., HESSE, F.W. (2000). *Bioinformatik – Multimedia-gestützter Studiengang Bioinformatik. Endbericht zur Evaluation der multimedialen Lehrveranstaltungen vom Sommersemester 1999 bis Sommersemester 2000*, URL: http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/bioinformatik/tp/tp8/eval_berichte.html.
Abrufdatum: 17.06.2004.
- BAUMGARTNER, P., PAYR, S. (1994). *Lernen mit Software*, Studien-Verlag, München.
- BIELACZYK, K., PIROLI, P., BROWN, A.L. (1995). *Training in self-explanation and self-regulation strategies: Investigating the effects of knowledge acquisition activities on problem solving*, Cognition and Instruction, 13, 221-252.
- BOGASCHEWSKY, R. (1992). *Hypertext-/Hypermedia-Systeme – Ein Überblick*, Informatik-Spektrum 15 (3), 127-143.
- BORTZ, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*, Springer-Verlag, Berlin.
- BORTZ, J., DÖRING, N. (2003). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*, Springer-Verlag, Berlin.
- BRUNER, J.S. (1971). *Über kognitive Entwicklung*, in BRUNER, J.S., OLVER, R.R., GREENFIELD, P.M (Hrsg.), Studien zur kognitiven Entwicklung, Klett Verlag, Stuttgart.
- BRUNER, J.S. (1966). *Toward a theory of instruction*, W.W. Norton, New York.
- BÜHL, A., ZÖFEL, P. (2002). *SPSS 11 – Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*, Pearson Education Deutschland, München.
- CATRAMBONE, R. (1994). *Improving examples to improve transfer to novel problems*, Memory & Cognition, 22, 606-615.
- CATRAMBONE, R. (1995). *Aiding subgoal learning: Effects on transfer*, Journal of Educational Psychology, 87, 5-17.
- CATRAMBONE, R. (1996). *Generalizing solution procedures learned from examples*, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 22, 1020-1031.
- CHANDLER, P., SWELLER, J. (1991). *Cognitive load theory and the format of instruction*, Cognition and Instruction, 8 (4), 293-332.
- CHI, M.T.H., BASSOK, M., LEWIS, M.W., REIMANN, P., GLASER, R. (1989). *Self-explanations: How students study and use examples in Learning to solve problems*, Cognitive Science, 13, 145-182.

- CHI, M.T.H., GLASER, R., REES, E. (1982). *Expertise in problem solving*, in STERNBERG, R. (Hrsg.), *Advances in Psychology of Human Intelligence*, Erlbaum, Hillsdale N.J., 7-75.
- COLLINS, B., BROWN, J.S. (1989). *Cognitive apprenticeship: Teaching crafts of reading, writing and mathematics*, in RESNICK L.B. (Hrsg.), *Knowing, learning and instruction*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale N.J, 453-494.
- EULER, D. (1992). *Didaktik computerunterstützten Lernens: Praktische Gestaltung und theoretische Grundlagen*; BW Bildung und Wissen Verlag, Nürnberg.
- EULER, D. (1994). *(Multi-)Mediales Lernen – Theoretische Fundierung und Forschungsstand*, *Unterrichtswissenschaft – Zeitschrift für Lernforschung*, 22 (4), 291-311.
- GERSTENMAIER, J., MANDL, H. (1995). *Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive*, *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, 867-888.
- GICK, M.L., HOLYOAK, K.J. (1983). *Schema induction and analogical transfer*, *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- GLASER, R. (1976). *Components of a psychology of instruction: Toward a science of design*, *Review of Educational Research*, 46, 1-24.
- HELLER, K.A., PERLETH, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision, Manual*, BELTZ TEST GmbH, Göttingen.
- HESSE, F.W. (1997). *Netzgestützter Wissenserwerb im Wissenschaftskontext*, in SIMON, H. (Hrsg.). *Virtueller Campus – Forschung und Lehre für neues Lehren und Lernen*, Waxmann Verlag, Münster, 15-25.
- KAMMERL, R. (2000). *Computerunterstütztes Lernen – Eine Einführung*, in KAMMERL, R. (Hrsg.). *Computerunterstütztes Lernen*, Oldenbourg Verlag, München.
- KERRES, M. (2001). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung*, Oldenbourg Verlag, München.
- KERRES, M. (2002). *Medien und Hochschule. Strategien zur Erneuerung der Hochschullehre*, in ISSING L.J., STÄRK, G. (Hrsg.). *Studieren mit Multimedia und Internet*, Waxmann Verlag, Münster, 57-70.
- KLEINSCHROTH, R. (1996). *Neues Lernen mit Computern*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg.
- KOTOVSKY, K., HAYES, J.R., SIMON, H.A. (1985). *Why are some problems hard?* *Cognitive Psychology*, 17, 248-294.
- KOZMA, R.B. (1987). *The implications of cognitive psychology for computer-based learning tools*, *Educational Technology*, 27 (11), 20-25.
- KULHAVY, R.W. (1977). *Feedback in written instructions*, *Review of Educational Research*, 47, 211-232.

- KUMMER, T. (2000). *Lernen mit Hypertexten im chemischen Kontext – Untersuchung von linearen und nicht-linearen Lernumgebungen zum Thema Seife*, Dissertation, Universität Essen.
- LEUTNER, D. (2002). *Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme*, in ISSING, L & KLIMSA, P. (Hrsg.). *Information und Lernen mit Multimedia*, Beltz Verlag, Weinheim.
- LIENERT, G.A., RAATZ, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*, Beltz Verlag, Weinheim.
- MATRURANA, H.R., VARELA, F.J. (1987). *Der Baum der Erkenntnis*, Scherz Verlag, Bern.
- MAYER, R.E. (1997). *Multimedia learning: Are we asking the right questions?* *Educational Psychologist*, 32, 1-19.
- MCMURRAY, J., FAY, R. (2001). *Chemistry*, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- MERILL, M.D. (1991). *Constructivism and instructional design*, *Educational Technology*, 31, 45-53.
- MILLER, G.A. (1956). *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*, *Psychological Review*, 63, 81-97.
- MORTIMER, C.E. (2001). *Chemie – Das Basiswissen der Chemie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- MWANGI W., SWELLER, J. (1998). *Learning to solve compare word problems: The effect of example format and generating self-explanations*, *Cognition and instruction*, 16, 173-199.
- PAAS, F., RENKL, A., SWELLER, J. (2003). *Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments*, *Educational Psychologist*, 38, 1-4.
- PAAS, F., RENKL, A., SWELLER, J. (2004). *Cognitive Load Theory: Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture*, *Instructional Science*, 32, 1-8.
- PAAS, F., TUOVINEN, J. E., TABBERS, H., VAN GERVEN, P.W.M. (2003). *Cognitive Load Measurement as a means to advance cognitive load theory*, *Educational Psychologist*, 38, 63-71.
- PAAS, F., VAN MERRIENBOËR, J.J.G. (1994). *Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach*, *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.
- PAWLOW, I.P. (1972). *Der bedingte Reflex*, in BAADER, G. (Hrsg.). *Die bedingten Reflexe – Eine Auswahl aus dem Gesamtwerk*, Kindler Verlag, München. S. 203-220.
- PIAGET, J. (1947). *Psychologie der Intelligenz*, Übersetzung der 2. Auflage 1970. Rascher Verlag, Zürich.
- PIROLI, P., RECKER, M. (1994). *Learning strategies and transfer in the domain of programming*, *Cognition and Instruction*, 12, 235-275.

- QUILICI, J.L., MAYER, R.E. (1996). *Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems*, Journal of Educational Psychology, 88, 144-161.
- REED, S.K., BOLSTAD, C.A. (1991). *The use of examples and procedures in problem solving*, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 17, 753-766.
- REIMANN, P. (1997). *Lernprozesse beim Wissenserwerb aus Beispielen. Analyse, Modellierung, Förderung*, Verlag Hans Huber, Bern.
- RENKL, A. (1996). *Lernen durch Erklären – oder doch besser durch Zuhören?* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 28, 148-168.
- RENKL, A. (1997a). *Learning from worked-out examples: A study on individual differences*, Cognitive Science, 21, 1-29.
- RENKL, A. (1997b). *Lernen durch Lehren. Zentrale Wirkmechanismen beim kooperativen Lernen*, DUV, Wiesbaden.
- RENKL, A. (1997c). *Lernen durch Erklären: Was, wenn Rückfragen gestellt werden?* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 11, 41-51.
- RENKL, A. (2001). *Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen*, Unterrichtswissenschaft – Zeitschrift für Lernforschung, 29, 41-63.
- RENKL, A. (2002). *Worked-out examples: Instructional explanations support learning by self-explanations*, Learning and Instruction, 12, 529-556.
- RENKL, A., ATKINSON, R.K. (2002). *Learning from examples: Fostering self-explanations in computer-based learning environments*, Interactive learning environments, 10, 105-119.
- RENKL, A., GRUBER, H., WEBER, S., LERCHE, T., SCHWEIZER, K. (2003). *Cognitive Load beim Lernen aus Lösungsbeispielen*, Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 17 (2), 93-101.
- RENKL, A., STARK, R., GRUBER, H., MANDL, H. (1998). *Learning from worked-out examples: The effects of example variability and elicited self-explanations*, Contemporary Educational Psychology, 23, 90-108.
- RENKL, A., SCHWORM, S. (2002). *Lernen mit Lösungsbeispielen zu lehren*, in Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft, S. 259-270.
- SCHNEIDER, W., SHIFFRIN, R. (1977). *Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search and attention*, Psychological Review, 84, 1-66.
- SCHULMEISTER, R. (2002). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie - Didaktik – Design*, Oldenbourg Verlag, München.

- SCHWORM, S., RENKL, A. (2002). *Lernen effektive Lösungsbeispiele zu erstellen: Ein Experiment zu einer computer-basierten Lernumgebung für Lehrende*, Unterrichtswissenschaft – Zeitschrift für Lernforschung, 30, 7-26.
- SKINNER, B.F. (1966). *Programmiertes Lernen und Lehrmaschinen*, Verlag, Braunschweig.
- STARK, R. (1999). *Lernen mit Lösungsbeispielen*, Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen.
- STRITTMATTER, P., SEEL, N.M. (1984). *Externe und interne Medien: Konzepte der Medienforschung*, Unterrichtswissenschaft – Zeitschrift für Lernforschung, 12, 2-17.
- SUMFLETH, E. (1998). *Lehr- und Lernprozesse im Chemieunterricht*, Studien zur Pädagogik der Schule Band 15. BIERMANN, R., WITTENBRUCH W. (Hrsg.). Verlag Peter Lang, Frankfurt am Main.
- SWELLER, J. (1988). *Cognitive Load during problem solving: Effects on learning*, Cognitive Science, 12, 257-285.
- SWELLER, J. (1994). *Cognitive Load Difficulty and Instructional Design*, Learning and Instruction, 4, 295-321.
- SWELLER, J., COOPER, G.A. (1985). *The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra*, Cognition and Instruction, 2, 59-89.
- SWELLER, J., VAN MERRIENBOËR, J.J.G., PAAS, F. (1998). *Cognitive Architecture and Instructional Design*, Educational Psychology Review, 10, 251-296.
- TARMIZI, R.A., SWELLER, J. (1988). *Guidance during mathematical problem solving*, Journal of Educational Psychology, 80, 424-436.
- TEIGEN, K.H. (1994). *Yerkes-Dodson: A law for all seasons*, Theory and Psychology, 4, 525-547.
- THOME, R. (1991). *Hypermedia als Basis für Selbstlernsysteme*, Technologie und Management, 40 (2), 20-23.
- THUßBAS, C., CHOURDAKIS, D. (2002). *Wie unterschiedlich sollten Beispiele sein?* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 16 (2), 117-123.
- TULODZIECKI, G. (2000). *Computerunterstütztes Lernen aus mediendidaktischer Sicht*, in KAMMERL, R.(Hrsg.). Computerunterstütztes Lernen, Oldenbourg Verlag, München, 53-72.
- VAN MERRIENBOËR, J.J.G. (1997). *Training Complex Cognitive Skills: A Four-Component Instructional Design Model for Technical Training*, Educational Technology Publications, Englewood Cliffs N.J..
- WARD, M., SWELLER, J. (1990). *Structuring effective worked examples*, Cognition and Instruction, 7, 1-39.
- WARKEN, E. (1995). *Delphi: Entwicklung leistungsfähiger Anwendungen und eigener Komponenten*, Addison-Wesley Deutschland, Bonn.

WEDEKIND, J. (1997). *Didaktische Konzepte des Lehrens im Internet*, in SIMON, H. (Hrsg.). *Virtueller Campus – Forschung und Lehre für neues Lehren und Lernen*, Waxmann Verlag, Münster, 107-116.

WULF, G., SHEA, C.H. (2002). *Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skills learning*, *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 185-211.

ZHU, X., SIMON, H.A. (1987). *Learning mathematics from examples and by doing*, *Cognition and Instruction*, 4, 137-166.

13 Anhang

A.1 Programmcode exemplarisch von Lösungsbeispiel 1.1

```
unit Aufgabe1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Logger;
```

```
type
```

```
TFormAufgabe1 = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Label4: TLabel;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Button1: TButton;
```

```
Image2: TImage;
```

```
Button2: TButton;
```

```
Button3: TButton;
```

```
Image1: TImage;
```

```
Image3: TImage;
```

```
Image4: TImage;
```

```
Image5: TImage;
```

```
Image6: TImage;
```

```
Image7: TImage;
```

```
Button4: TButton;
```

```
Button5: TButton;
```

```
Button6: TButton;
```

```
Button7: TButton;
```

```
Image8: TImage;
```

```
Label7: TLabel;
```

```
MemoErkl: TMemo;
```

```
LabelErkl: TLabel;
```

```
Button8: TButton;
```

```
ButtonSErkl: TButton;
```

```
Button9: TButton;
```

```
Image1a: TImage;
```

```
Panel1: TPanel;
```

```
procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```

procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure MemoErklChange(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure ButtonSErklClick(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
  AktiveGleichung : integer;
  procedure SetMemoErkl (Sender : TObject);
end;

var
  FormAufgabe1: TFormAufgabe1;

implementation

uses er2Unit, HelpUnit, er1Unit, hauptUnit, Aufgabe2, Password, Aufgabe3,
  er11Unit, er12Unit, er13Unit, M2Aufgabe1, M2Aufgabe2, M2Aufgabe3,
  M2Aufgabe4, Aufgabe4, M3Aufgabe1, M3Aufgabe2, M3Aufgabe3, M3Aufgabe4;

{$R *.dfm}

// Das Fenster für die Selbsterklärung setzen
procedure TFormAufgabe1.SetMemoErkl (Sender : TObject);
var
  top : integer;
begin
  MemoErkl.Lines.Clear;           //alte Zeilen löschen
  top := (sender as TButton).Top; //obere Position wie Position des Buttons
  if (Height > (Top + 15+       //Selbsterklärungsfenster darf nicht
    MemoErkl.Height))then      //unten herausragen
  begin
    LabelErkl.Top:= (sender as TButton).Top;
    MemoErkl.Top:= (sender as TButton).Top+LabelErkl.Height;

```

```
end;
MemoErkl.Enabled:= True;      //freigeben
MemoErkl.SetFocus;           //Focus setzen
ButtonSErkl.Enabled:= false;  //Button Disablen
ButtonSErkl.Left:= MemoErkl.Left+78; //ok Button Position setzen
ButtonSErkl.Top:= MemoErkl.Top+88;

end;

//Lösungsbutton
procedure TFormAufgabe1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);    //
  AktiveGleichung := 1;
  Image1.Visible:=True;      //Formel anzeigen
  Image1a.Visible:=True;
  Button2.Visible:=True;     //Button anzeigen
  Button2.Enabled:= false;
  Button1.Enabled:=false;
  MemoErkl.Visible:= true;   //Selbsterklärungsfenster anzeigen
  ButtonSErkl.Visible:= True; //Button Selbsterklärung anzeigen
  LabelErkl.Visible:=true;   //Label Selbsterklärung anzeigen
  SetMemoErkl(Sender);       //Positionen setzen
end;

procedure TFormAufgabe1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);    // zweite Zeile anzeigen
  AktiveGleichung := 2;
  Image2.Visible:=True;
  Button3.Visible:=True;
  Button3.Enabled:= false;
  Button2.Enabled:=false;
  SetMemoErkl(Sender);
end;

procedure TFormAufgabe1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);
  AktiveGleichung := 3;      //dritte Zeile anzeigen
  Image3.Visible:=True;
  Button4.Visible:=True;
  Button4.Enabled:= false;
  Button3.Enabled:=false;
  SetMemoErkl(Sender);
```

```
end;
```

```
procedure TFormAufgabe1.Button4Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);
  AktiveGleichung := 4;      //vierte Zeile anzeigen
  Image4.Visible:=True;
  Button5.Visible:=True;
  Button5.Enabled:= false;
  Button4.Enabled:=false;
  SetMemoErkl(Sender);
end;
```

```
procedure TFormAufgabe1.Button5Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);
  AktiveGleichung := 5;      //fünfte Zeile anzeigen
  Image5.Visible:=True;
  Button5.Enabled:= false;
  Button6.Enabled:= false;
  Button6.Visible:=True;
  SetMemoErkl(Sender);
end;
```

```
procedure TFormAufgabe1.Button6Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);   //sechste Zeile anzeigen
  AktiveGleichung := 6;
  Image6.Visible:=True;
  Button6.Enabled:= false;
  Button8.Enabled:= false;
  Button8.Visible:=True;
  SetMemoErkl(Sender);
end;
```

```
procedure TFormAufgabe1.Button7Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);
  AktiveGleichung := 7;      //siebte Zeile anzeigen
  Image7.Visible:=True;
  Button7.Enabled:= false;
  Button8.Enabled:= false;
  Button8.Visible:=True;
  SetMemoErkl(Sender);
end;
```

```
// bei der minimalen Zeichenlänge den OK Button der Selbsterklärung enablen
procedure TFormAufgabe1.MemoErklChange(Sender: TObject);
begin
if (StrLen(PChar(string(MemoErkl.Lines[0])))>MinZeichenL)then
begin
  ButtonSErkl.Enabled:= True;
end;

end;

procedure TFormAufgabe1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  sUser :='noUser';           //Bein Erzeugen des Fensters
  MyLogger := TLogger.Create(self); //Datenlogger initiieren
end;

procedure TFormAufgabe1.Button9Click(Sender: TObject);
begin
  PasswordDlg.ShowModal;           //einloggen zu Testzwecken
end;

//Die nächsten Aufgaben werden nacheinander aufgerufen
procedure TFormAufgabe1.Button8Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);
  //Modul 1
  FormAufgabe2:= TFormAufgabe2.Create(self);
  FormAufgabe2.Caption := 'M12 '+sUser+ ' '+IntToStr(integer(ErklEnabled));
  FormAufgabe2.Showmodal;
  FormAufgabe2.Free;
  FormAufgabe3:= TFormAufgabe3.Create(self);
  FormAufgabe3.Caption := 'M13 '+sUser+ ' '+IntToStr(integer(ErklEnabled));
  FormAufgabe3.Showmodal;
  FormAufgabe3.Free;
  FormAufgabe4:= TFormAufgabe4.Create(self);
  FormAufgabe4.Caption := 'M14 '+sUser+ ' '+IntToStr(integer(ErklEnabled));
  FormAufgabe4.Showmodal;
  FormAufgabe4.Free;

  //Zwischenspeichern der Loggerdaten
  MyLogger.Save(1);
  //Modul 2
```

```
FormM2Aufgabe1:= TFormM2Aufgabe1.Create(self);
FormM2Aufgabe1.Caption := 'M21 '+sUser+ ''+IntToStr(integer(ErklEnabled));
FormM2Aufgabe1.Showmodal;
FormM2Aufgabe1.Free;
FormM2Aufgabe2:= TFormM2Aufgabe2.Create(self);
FormM2Aufgabe2.Caption := 'M22 '+sUser+ ''+IntToStr(integer(ErklEnabled));
FormM2Aufgabe2.Showmodal;
FormM2Aufgabe2.Free;
FormM2Aufgabe3:= TFormM2Aufgabe3.Create(self);
FormM2Aufgabe3.Caption := 'M23 '+sUser+ ''+IntToStr(integer(ErklEnabled));
FormM2Aufgabe3.Showmodal;
FormM2Aufgabe3.Free;
FormM2Aufgabe4:= TFormM2Aufgabe4.Create(self);
FormM2Aufgabe4.Caption := 'M24 '+sUser+ ''+IntToStr(integer(ErklEnabled));
FormM2Aufgabe4.Showmodal;
FormM2Aufgabe4.Free;
```

```
MyLogger.Save(2);
```

```
//Modul 3
```

```
FormM3Aufgabe1:= TFormM3Aufgabe1.Create(self);
FormM3Aufgabe1.Caption := 'M31 '+sUser+ ''+IntToStr(integer(ErklEnabled));
FormM3Aufgabe1.Showmodal;
FormM3Aufgabe1.Free;
FormM3Aufgabe2:= TFormM3Aufgabe2.Create(self);
FormM3Aufgabe2.Caption := 'M32 '+sUser+ ''+IntToStr(integer(ErklEnabled));
FormM3Aufgabe2.Showmodal;
FormM3Aufgabe2.Free;
FormM3Aufgabe3:= TFormM3Aufgabe3.Create(self);
FormM3Aufgabe3.Caption := 'M33 '+sUser+ ''+IntToStr(integer(ErklEnabled));
FormM3Aufgabe3.Showmodal;
FormM3Aufgabe3.Free;
FormM3Aufgabe4:= TFormM3Aufgabe4.Create(self);
FormM3Aufgabe4.Caption := 'M34 '+sUser+ ''+IntToStr(integer(ErklEnabled));
FormM3Aufgabe4.Showmodal;
FormM3Aufgabe4.Free;
```

```
MyLogger.Save(3);
```

```
//Ende des Programms
```

```
Application.Terminate;
```

```
end;
```

```
//ok Button der Selbsterklärung
```

```
procedure TFormAufgabe1.ButtonSErklClick(Sender: TObject);
```

```
begin
MemoErkl.Enabled:= False; //Button deaktivieren
MyLogger.LogList.AddStrings(MemoErkl.Lines); //Loggerdaten sichern
MyLogger.BClick(Sender);
ButtonSErkl.Enabled:= false;//ok Button Selbsterklärung deaktivieren

if (AktiveGleichung = 1)
then
begin
if ErklEnabled then //Falls Modul mit Erklärungen
FormEr11.ShowModal; //diese anzeigen
Button2.Enabled:= True; //danach weiter
end
else
if AktiveGleichung = 2 then
begin
if ErklEnabled then
begin
FormEr12.ShowModal;
end;
Button3.Enabled := true;
end
else
if AktiveGleichung = 3 then
begin
if ErklEnabled then //falls die Erklärung nur Text enthält wird dieser
begin //gesetzt
FormErTextOnly.Text1:='Die Stoffmenge n des Salzes X wird aus der Masse m und
der';
FormErTextOnly.Text2:='Molaren Masse M des Salzes X berechnet.';
FormErTextOnly.ShowModal;
end;
Button4.Enabled := true;
end
else
if AktiveGleichung = 4 then
begin
if ErklEnabled then
begin
FormErTextOnly.Text1:='Die Stoffmengenkonzentration c des Salzes X wird aus
der';
FormErTextOnly.Text2:='Stoffmenge n von X und dem Volumen der Lösung
berechnet.';
FormErTextOnly.ShowModal;
end;
end;
```

```
    Button5.Enabled := true;
end
else
if AktiveGleichung = 5 then
begin
    if ErklEnabled then
    begin
        FormErTextOnly.Text1:='Aus dem Lösungsgleichgewicht des Salzes ergeben sich
die Konzentrationen der ';
        FormErTextOnly.Text2:='beteiligten Ionen. 1 mol Silberchlorid löst sich in 1 mol
Silber-Ionen und 1 mol ';
        FormErTextOnly.Text3:='Chlorid-Ionen.';
        FormErTextOnly.ShowModal;
    end;
    Button6.Enabled := true;
end
else
if AktiveGleichung = 6 then
begin
    if ErklEnabled then
    begin
        FormErTextOnly.Text1:='Einsetzen der berechneten Ionenkonzentration in das
Löslichkeitsprodukt.';
        FormErTextOnly.ShowModal;
    end;
    Button8.Enabled := true;
end
else
if AktiveGleichung = 7 then
begin
    Button8.Enabled := true;
end ;

end;

//zu Testzwecken
procedure TFormAufgabe1.Button10Click(Sender: TObject);
begin
    Button8.Enabled:=true;
    Button8.Visible:=true;
end;

//Beim ersten Anzeigen des Fensters wird der Passwort Dialog angezeigt
procedure TFormAufgabe1.FormShow(Sender: TObject);
begin
```

```
if true then
begin
  Button9.Visible:= false;
  PasswordDlg.ShowModal;
  if PasswordDlg.MyModalResult= mrCancel then
    Application.Terminate      //Programmende
  else
    //Setzen des Fenstertitels mit usernamen
    Caption := 'M11 '+sUser+ ' '+IntToStr(integer(ErklEnabled));
end;
end;

end.
```

A.2 Programmcode für Übungsbeispiel 1

```
unit Aufgabe4;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Logger;
```

```
type
```

```
TFormAufgabe4 = class(TForm)  
    Label1: TLabel;  
    Label2: TLabel;  
    Label3: TLabel;  
    Label4: TLabel;  
    Label5: TLabel;  
    Image2: TImage;  
    Image1: TImage;  
    Image3: TImage;  
    Image6: TImage;  
    Image8: TImage;  
    Label7: TLabel;  
    Button8: TButton;  
    Image10: TImage;  
    Label9: TLabel;  
    Label10: TLabel;  
    Label11: TLabel;  
    RadioButton1: TRadioButton;  
    RadioButton2: TRadioButton;  
    RadioButton3: TRadioButton;  
    RadioButton4: TRadioButton;  
    procedure Button8Click(Sender: TObject);  
    procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);  
    procedure Image1Click(Sender: TObject);  
    procedure Image6Click(Sender: TObject);  
    procedure Image3Click(Sender: TObject);  
    procedure Image2Click(Sender: TObject);  
private  
    { Private declarations }  
public  
    { Public declarations }  
    AlleErkl : TStringList;  
    AktiveGleichung : integer;  
end;
```

```
var
  FormAufgabe4: TFormAufgabe4;

implementation

uses er2Unit, HelpUnit, er1Unit, hauptUnit, er31Unit, er32Unit, er33Unit;

{$R *.dfm}

//zur nächsten Aufgabe (Fenster schliessen)
procedure TFormAufgabe4.Button8Click(Sender: TObject);
begin
  MyLogger.BClick(Sender);
  Close;
end;

//Bei Antwortklick
procedure TFormAufgabe4.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
  Button8.Visible:= True;
  MyLogger.RadioBClick(Sender);

  //Falls die Lösung richtig
  if(Sender as TRadioButton).Tag =1 then
    begin
      MessageDlg('Die Antwort ist richtig.', mtInformation,
        [mbOk], 0);
      Button8.Enabled:= True;      //weiter Button enablen
      RadioButton1.Enabled:= false;
      RadioButton2.Enabled:= false;
      RadioButton3.Enabled:= false;
      RadioButton4.Enabled:= false;
    end
  else
    //ansonsten muss nochmals probiert weden
    MessageDlg('Die Antwort ist falsch.', mtInformation,
      [mbOk], 0);

end;

//man kann auch af die Formeln klicken um die Lösung zu wählen
//(nicht nur auf den Radiobutton
procedure TFormAufgabe4.Image1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
  SendMessage(RadioButton1.Handle, WM_LBUTTONDOWN, 1,1);
  SendMessage(RadioButton1.Handle, WM_LBUTTONUP, 1,1);
end;

procedure TFormAufgabe4.Image6Click(Sender: TObject);
begin
  SendMessage(RadioButton2.Handle, WM_LBUTTONDOWN, 1,1);
  SendMessage(RadioButton2.Handle, WM_LBUTTONUP, 1,1);
end;

procedure TFormAufgabe4.Image3Click(Sender: TObject);
begin
  SendMessage(RadioButton3.Handle, WM_LBUTTONDOWN, 1,1);
  SendMessage(RadioButton3.Handle, WM_LBUTTONUP, 1,1);
end;

procedure TFormAufgabe4.Image2Click(Sender: TObject);
begin
  SendMessage(RadioButton4.Handle, WM_LBUTTONDOWN, 1,1);
  SendMessage(RadioButton4.Handle, WM_LBUTTONUP, 1,1);
end;

end.
```

B Lehrtext zur Einführung in den Themenbereich Löslichkeit

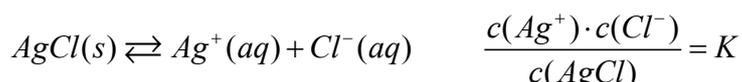
Löslichkeitsprodukt

Zusammenfassung. Das Gleichgewicht zwischen einer *schwerlöslichen Verbindung* und einer gesättigten wässrigen Lösung wird durch die entsprechende Gleichgewichtskonstante, dem *Löslichkeitsprodukt* L erfasst. Aus der Löslichkeit einer Verbindung kann L bestimmt werden. Der Zahlenwert von L gibt eine quantitative Aussage über die Löslichkeit. In Analogie zur Formulierung des Löslichkeitsprodukts kann mit den Konzentrationen der Ionen bzw. mit deren Aktivitäten in der Lösung ein *Ionenprodukt* formuliert werden. Wenn das Ionenprodukt kleiner als L ist, ist die Lösung ungesättigt. Wenn es größer als L ist, so kommt es zur Ausfällung, so lange bis das Gleichgewicht erreicht ist und das Ionenprodukt gleich L ist.

Gleichionige Zusätze beeinflussen die Lösungsgleichgewichte, indem sie die Löslichkeit einer Verbindung verringern. Zusätze, welche in der Lösung für eine Konzentrationsverringern der an der Fällungsreaktion beteiligten Ionen sorgen, können die Fällung verhindern.

Das Löslichkeitsprodukt

Viele Substanzen sind in Wasser zumindest geringfügig löslich. Wenn eine schwerlösliche Verbindung mit Wasser in Kontakt gebracht wird, so stellt sich nach einiger Zeit ein Gleichgewicht ein, bei dem die Geschwindigkeit der Auflösung und die Geschwindigkeit der Wiederausscheidung gleich groß sind. Die Lösung ist dann gesättigt. Zum Beispiel existiert ein Gleichgewicht zwischen festem Silberchlorid und einer gesättigten Lösung von Silberchlorid, auf das wir das Massenwirkungsgesetz anwenden können:



Da die Konzentration im reinen Feststoff konstant ist, können wir $c(\text{AgCl})$ in die Gleichgewichtskonstante einbeziehen:

$$c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) = K \cdot c(\text{AgCl}) = L$$

Die Konstante L wird das Löslichkeitsprodukt genannt. Die Ionenkonzentrationen $c(\text{Ag}^+)$ und $c(\text{Cl}^-)$ sind die Konzentrationen in der gesättigten Lösung bei gegebener Temperatur. Da die Löslichkeit meist von der Temperatur abhängt, ändert sich der Zahlenwert für L mit der Temperatur. Eine Tabelle von Löslichkeitsprodukten bei 25 °C findet sich im Anhang B.

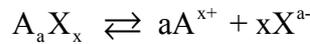
Der Wert des Löslichkeitsprodukts L einer Verbindung kann aus seiner Löslichkeit bestimmt werden und die Löslichkeit kann aus L berechnet werden

Bei Salzen mit mehr als zwei Ionen pro Formeleinheit müssen, die Konzentrationen potenziert werden, unter Verwendung der Koeffizienten der Reaktionsgleichung:





Löslichkeitsprodukt



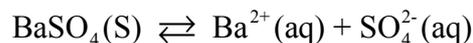
$$L = c^a(\text{A}^{x+}) \cdot c^x(\text{X}^{a-})$$

Fällungsreaktionen

Der Zahlenwert des Löslichkeitsprodukts L ist eine quantitative Aussage über die Löslichkeit einer Verbindung. Das Produkt der Ionenkonzentrationen in der Lösung, so wie im Ausdruck des Löslichkeitsprodukts berechnet, ist das Ionenprodukt der Lösung. Für eine gesättigte Lösung ist das **Ionenprodukt** gleich L , es kann aber auch größer oder kleiner sein, wenn die Lösung nicht im Gleichgewicht mit ungelöster Substanz steht. Wir unterscheiden drei Fälle:

1. **Das Ionenprodukt ist kleiner als L .** Die Lösung ist nicht gesättigt. Weitere Substanz kann gelöst werden bis der Wert von L erreicht ist.
2. **Das Ionenprodukt ist gleich L .** Die Lösung ist gesättigt; sie steht mit ungelöster Substanz im Gleichgewicht.
3. **Das Ionenprodukt ist größer als L** („das Löslichkeitsprodukt ist überschritten“). Die Lösung ist übersättigt. Es herrscht kein Gleichgewicht, es kommt zur Fällung, bis der Wert von L erreicht ist.

Gleichionige Zusätze beeinflussen die Löslichkeitsgleichgewichte.



Werden der Lösung SO_4^{2-} -Ionen in Form von Natriumsulfat zugesetzt, so wird das Gleichgewicht nach links verlagert. Bariumsulfat wird sich ausscheiden, die Ba^{2+} -Konzentration nimmt ab. Weil sich ein Gleichgewicht einstellt, bei dem das Produkt $c(\text{Ba}^{2+}) \cdot c(\text{SO}_4^{2-})$ konstant bleibt, muss bei einer Vergrößerung von $c(\text{SO}_4^{2-})$ eine Verringerung von $c(\text{Ba}^{2+})$ eintreten.

Zur quantitativen Bestimmung des Ba^{2+} -Gehalts einer Lösung kann man Bariumsulfat ausfällen, abfiltrieren, trocknen und auswiegen. Damit eine möglichst geringe Restmenge Ba^{2+} -Ionen in Lösung bleibt, wird zur Fällung ein Überschuss von Sulfat-Ionen zugegeben

Will man eine Fällung verhindern, so muss dafür gesorgt werden, dass das Ionenprodukt unter dem Wert von L bleibt, indem die Konzentration einer der beteiligten Ionenarten klein gehalten wird. Soll zum Beispiel die Fällung von Magnesiumhydroxid aus einer Mg^{2+} -Lösung vermieden werden, so muss die OH^- -Ionenkonzentration begrenzt werden. Dies kann durch Zusatz von Ammonium-Ionen erreicht werden

Eine Lösung kann mehrere Ionenarten enthalten, die mit einer weiteren Ionenart, die der Lösung zugesetzt wird, Fällungsreaktionen eingehen. Zum Beispiel kann eine Lösung Cl^-

- und CrO_4^{2-} -Ionen enthalten, die beide mit Ag^+ -Ionen schwerlösliche Verbindungen bilden. Werden der Lösung Ag^+ -Ionen zugesetzt, so scheidet sich zuerst die weniger lösliche Verbindung aus; ab einem bestimmten Punkt beginnt auch die löslichere Verbindung zusammen mit der weniger löslichen Verbindung auszufallen

Schlüsselbegriffe :

Löslichkeitsprodukt: Gleichgewichtskonstante für den Vorgang der Auflösung einer schwerlöslichen Verbindung. Die schwerlösliche Verbindung („Bodenkörper“) befindet sich im Gleichgewicht mit Ionen in der Lösung.

Ionenprodukt bei schwerlöslichen Verbindungen: Das wie beim Löslichkeitsprodukt gebildete mathematische Produkt der Ionenkonzentrationen einer Lösung. Ist es größer als das Löslichkeitsprodukt, so kommt es zur Fällungsreaktion.

Salzeffekt: Zusatz von Salzen zu einer Lösung erhöht die Löslichkeit von schwerlöslichen Verbindungen.

Gleichionige Zusätze: Wird eine an einem Gleichgewicht beteiligte Ionenart einer Lösung zugesetzt, so verschiebt sich das Gleichgewicht. Gleichionige Zusätze verringern im Allgemeinen die Löslichkeit von schwerlöslichen Verbindungen.

C Prä-Fragebogen mit Codeblatt**Persönlicher Code:**

Dieser Fragebogen ist anonym und codiert. Im Laufe der Studie benötigen Sie Ihren persönlichen Code mehrmals. Wir verwenden immer den gleichen Code, damit wir die verschiedenen Untersuchungsergebnisse der Studie den entsprechenden anonymisierten Personen zuordnen können.

Der persönliche Code besteht aus einer Kombination von Buchstaben und Zahlen, die außer Ihnen niemanden an der Hochschule bekannt ist, an die Sie sich selbst jedoch immer wieder erinnern können. Ihre persönlichen Daten treten dabei nicht in Erscheinung.

Der persönliche Code setzt sich aus folgenden sechs Buchstaben und Zahlen zusammen.

Bitte tragen Sie diese in die Kästchen ein und schreiben Sie diese Codenummer auf Ihren Antwortbogen.

die ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter

Summe aus dem Tag und Monat des Geburtstages der Mutter
(Beispiel: 25. Januar = $25 + 1 = 26$; oder 4. März = $4 + 3 = 07$)

Summe aus dem Tag und Monat des eigenen Geburtstages
(Beispiel: 25. Dezember = $25 + 12 = 37$; oder 4. März = $4 + 3 = 07$)

Ihr persönlicher Code:

1. Computernutzung (Kreuzen Sie bitte alle Antworten an, die auf Sie zutreffen)

- a) Programmieren
- b) Internet (Surfen, e-Mail etc.)
- c) Textverarbeitung (Word, Excel etc.)
- d) Computerspiele
- e) Bild-/Grafikbearbeitung
- f) Multimediale Lexika
- g) Lernsoftware

2. Wie viel Zeit verbringen Sie durchschnittlich pro Tag am Computer und womit?

- a) ca. Stunden am Tag
- b) Anwendungsbereiche (Reihenfolge nach Häufigkeit)

1. _____

2. _____

3. _____

3. Wie stellen Sie sich das Lernen mit dem Computer vor?

Das Lernen mit dem Computer finde ich / stelle ich mir vor als...

a	erfreulich	1	2	3	4	5	6	unerfreulich
b	ermüdend	1	2	3	4	5	6	anregend
c	anspruchsvoll	1	2	3	4	5	6	anspruchlos
d	mühevoll	1	2	3	4	5	6	müheles
e	befriedigend	1	2	3	4	5	6	unbefriedigend
f	entmutigend	1	2	3	4	5	6	ermutigend
g	spannend	1	2	3	4	5	6	langweilig
h	flüssig	1	2	3	4	5	6	zäh
i	fremd	1	2	3	4	5	6	vertraut
j	gründlich	1	2	3	4	5	6	oberflächlich
k	hektisch	1	2	3	4	5	6	entspannt
l	ineffizient	1	2	3	4	5	6	effizient
m	zeitraubend	1	2	3	4	5	6	zeitsparend
n	kompliziert	1	2	3	4	5	6	einfach
o	unwissenschaftlich	1	2	3	4	5	6	Wissenschaftlich
p	motivierend	1	2	3	4	5	6	demotivierend
q	systematisch	1	2	3	4	5	6	unsystematisch
r	unangenehm	1	2	3	4	5	6	angenehm
s	uninteressant	1	2	3	4	5	6	interessant
t	ungeordnet	1	2	3	4	5	6	geordnet
u	wünschenswert	1	2	3	4	5	6	nicht wünschenswert
v	unpersönlich	1	2	3	4	5	6	persönlich
w	verwirrend	1	2	3	4	5	6	klärend
x	deprimierend	1	2	3	4	5	6	beglückend

4. Wie stellen Sie sich das Lernen mit neuen Medien im Vergleich zu herkömmlichen Lehr-/Lernformen (z.B. Präsenzveranstaltungen, Lehrbücher) vor?

Die Nutzung computerbasierter Lern- und Übungsprogramme bzw. Web-basierter Lernmaterialien...

a regt zum vertieften Lernen an	1	2	3	4	5	6	führt zum oberflächlichen Lernen
b erschwert es, Zusammenhänge zwischen Lerninhalten herzustellen	1	2	3	4	5	6	hilft, Zusammenhänge zwischen Lerninhalten herzustellen
c fördert kreatives Denken	1	2	3	4	5	6	behindert kreatives Denken
d fördert das Erwerben von Detailwissen	1	2	3	4	5	6	fördert das Erwerben von Zusammenhangswissen
e bietet mehr Möglichkeiten zum eigenverantwortlichen Handeln	1	2	3	4	5	6	bietet weniger Möglichkeiten zum eigenverantwortlichen Handeln

5. Sie wollen sich auf eine Klausur vorbereiten und Ihnen steht ein Lehrbuch und ein multimediales Lehrbuch als Software zur Verfügung. Womit würden Sie sich auf die Klausur vorbereiten?

- a) Lehrbuch
- b) Multimediales Lehrbuch

6. Einstellung zu Lernsoftware:

- a) Ich benutze gerne Lernsoftware
- b) Ich benutze Lernsoftware ungern und nur wenn ich muss
- c) Ich lehne Lernsoftware ab

Angaben zur Person

7. Alter: **Jahre**

8. Geschlecht: **männlich** **weiblich**

9. Welche chemische Ausbildung haben sie?

- a) Grundkurs Chemie
- b) Leistungskurs Chemie
- c) Chemische Berufsausbildung

anderes (bitte nennen)

Haben Sie alle Fragen beantwortet? – Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

D Post-Fragebogen

1. Wie finden Sie das Lernen mit dem Computer?

Das Lernen mit dem Computer finde ich / stelle ich mir vor als...

a) a erfreulich	1	2	3	4	5	6	unerfreulich
b) b ermüdend	1	2	3	4	5	6	anregend
c) anspruchsvoll	1	2	3	4	5	6	anspruchlos
d) mühevoll	1	2	3	4	5	6	müheless
e) befriedigend	1	2	3	4	5	6	unbefriedigend
f) entmutigend	1	2	3	4	5	6	ermutigend
g) spannend	1	2	3	4	5	6	langweilig
h) flüssig	1	2	3	4	5	6	zäh
i) fremd	1	2	3	4	5	6	vertraut
j) gründlich	1	2	3	4	5	6	oberflächlich
k) hektisch	1	2	3	4	5	6	entspannt
l) ineffizient	1	2	3	4	5	6	effizient
m) zeitraubend	1	2	3	4	5	6	zeitsparend
n) kompliziert	1	2	3	4	5	6	einfach
o) unwissenschaftlich	1	2	3	4	5	6	Wissenschaftlich
p) motivierend	1	2	3	4	5	6	demotivierend
q) systematisch	1	2	3	4	5	6	unsystematisch
r) unangenehm	1	2	3	4	5	6	angenehm
s) uninteressant	1	2	3	4	5	6	interessant
t) ungeordnet	1	2	3	4	5	6	geordnet
u) wünschenswert	1	2	3	4	5	6	nicht wünschenswert
v) unpersönlich	1	2	3	4	5	6	persönlich
w) verwirrend	1	2	3	4	5	6	klärend
x) deprimierend	1	2	3	4	5	6	beglückend

2. Wie stellen Sie sich das Lernen mit neuen Medien im Vergleich zu herkömmlichen Lehr-/Lernformen (z.B. Präsenzveranstaltungen, Lehrbücher) vor?

Die Nutzung computerbasierter Lern- und Übungsprogramme bzw. Web-basierter Lernmaterialien...

a	regt zum vertieften Lernen an	1	2	3	4	5	6	führt zum oberflächlichen Lernen
b	erschwert es, Zusammenhänge zwischen Lerninhalten herzustellen	1	2	3	4	5	6	hilft, Zusammenhänge zwischen Lerninhalten herzustellen
c	fördert kreatives Denken	1	2	3	4	5	6	behindert kreatives Denken
d	fördert das Erwerben von Detailwissen	1	2	3	4	5	6	fördert das Erwerben von Zusammenhangswissen
e	bietet mehr Möglichkeiten zum eigenverantwortlichen Handeln	1	2	3	4	5	6	bietet weniger Möglichkeiten zum eigenverantwortlichen Handeln

3. Welche Punkte sind Ihnen an dem Lernmodul zum Thema „Löslichkeitsprodukt/Fällungsreaktionen“ *positiv* aufgefallen?

- a)
- b)
- c)
- d)

4. Welche Punkte sind Ihnen an dem Lernmodul zum Thema „Löslichkeitsprodukt/Fällungsreaktionen“ *negativ* aufgefallen?

- a)
- b)
- c)
- d)

Haben Sie alle Fragen beantwortet? – Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

E Vortest mit Lösungsbogen**Themenübergreifender Leistungstest:****Aufgabe 1 bis Aufgabe 7****Themenspezifischer Vortest (Vorwissenstest):****Aufgabe 8 bis Aufgabe 15**

Es wurden zwei Versionen des Nachtests entwickelt, die sich nicht im Inhalt, sondern in der Abfolge der Aufgaben unterscheiden. Die Einteilung in themenübergreifenden Leistungstest und themenspezifischen Vortest bleibt in Version B erhalten.

Allgemeine und Anorganische Chemie– Gruppe A

Es gibt **zwei verschiedene Aufgabenhefte** (Gruppe A und B).

Die folgenden Aufgaben sind im **Multiple-Choice-Format** gestellt.

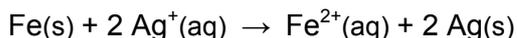
Pro Aufgabe ist **nur eine Antwort richtig**.

Bitte kreuzen Sie nur die Antwort an, die Sie für richtig halten. Rechnungen zu den Multiple-Choice-Aufgaben können Sie auf dem freien Platz neben den zugehörigen Antwortmöglichkeiten durchführen.

Bitte markieren Sie die richtige Antwort im **Aufgabenheft und** auf dem **Lösungsbogen** (Ende des Aufgabenheftes)

Aufgabe 1:

Wenn Eisenpulver zu einer Silbersalz-Lösung gegeben wird, geht das Eisen in Lösung und Silber scheidet sich aus:



Welche Masse Fe(s) benötigt man, um alles Silber aus 2,00 L einer Lösung mit $c(\text{Ag}^+) = 0,650 \text{ mol/L}$ auszuscheiden?

- a) 36,3 g
- b) 72,6 g
- c) 72,6 kg
- d) 36,3 kg

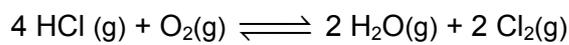
Aufgabe 2:

Welche Masse Mangan kann aus 25,0 kg Pyrolusit-Erz erhalten werden, das 65,0% Braunstein MnO_2 enthält?

- a) 25,7 kg
- b) 10,3 g
- c) 25,7 g
- d) 10,3 kg

Aufgabe 3:

Welches Massenwirkungsgesetz ergibt sich aus folgender Gleichgewichtsreaktion?



- a) $K_c = \frac{c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{Cl}_2)}{c(\text{HCl}) \cdot c(\text{O}_2)}$
- b) $K_c = \frac{c^2(\text{H}_2\text{O}) \cdot c^2(\text{Cl}_2)}{c^4(\text{HCl}) \cdot c(\text{O}_2)}$
- c) $K_c = \frac{c^4(\text{HCl}) \cdot c(\text{O}_2)}{c^2(\text{H}_2\text{O}) \cdot c^2(\text{Cl}_2)}$
- d) $K_c = \frac{c(\text{HCl}) \cdot c(\text{O}_2)}{c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{Cl}_2)}$

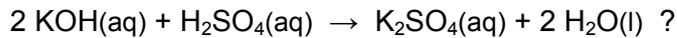
Aufgabe 4:

Welche Masse haben $3,00 \cdot 10^{-3}$ mol O_2 ?

- a) 96 mg
- b) 0,0096 g
- c) 480 mg
- d) 0,048 g

Aufgabe 5:

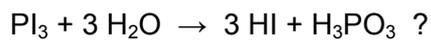
Welches Volumen einer Lösung mit $c(\text{KOH}) = 0,250 \text{ mol/L}$ reagieren mit 15,0 mL einer Lösung mit $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,350 \text{ mol/L}$ gemäß der Gleichung



- a) 0,053 L
- b) 0,021 L
- c) 0,042 L
- d) 10,5 mL

Aufgabe 6:

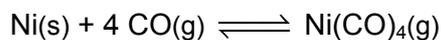
Wieviel Gramm Iodwasserstoff (HI) entstehen aus 5,00 g PI_3 bei der vollständigen Umsetzung gemäß der Reaktionsgleichung



- a) 1,53 g
- b) 4,66 g
- c) 0,51 g
- d) 14,8 g

Aufgabe 7:

Geben Sie die richtige Formulierung des Massenwirkungsgesetzes für folgende Gleichgewichtsreaktion an.



- a) $K_c = \frac{c(\text{Ni}(\text{CO})_4)}{c(\text{Ni}) \cdot c^4(\text{CO})}$
- b) $K_c = \frac{c^4(\text{CO}) \cdot c(\text{Ni})}{c(\text{Ni}(\text{CO})_4)}$
- c) $K_c = \frac{c^4(\text{CO})}{c(\text{Ni}(\text{CO})_4)}$

$$d) \quad K_c = \frac{c(\text{Ni}(\text{CO})_4)}{c^4(\text{CO})}$$

Aufgabe 8:

Formulieren Sie das Löslichkeitsprodukt L für das Salz AgCl.

- a) $L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) - c(\text{Cl}^-)$
- b) $L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) + c(\text{Cl}^-)$
- c) $L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$
- d) $L(\text{AgCl}) = \frac{c(\text{Ag}^+)}{c(\text{Cl}^-)}$

Aufgabe 9:

Welche Fluorid-Konzentration ist notwendig, damit aus einer gesättigten SrSO_4 -Lösung SrF_2 auszufallen beginnt?

$$L(\text{SrSO}_4) = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^2/\text{L}^2; \quad L(\text{SrF}_2) = 7,9 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

- a) $c(\text{F}^-) = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$
- b) $c(\text{F}^-) = 9,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$
- c) $c(\text{F}^-) = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$
- d) $c(\text{F}^-) = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

Aufgabe 10:

Entscheiden Sie mit Hilfe des berechneten Ionenproduktes I, ob es zur Fällung von Bleichlorid PbCl_2 kommt, wenn 20 mL einer Bleinitratlösung mit der Stoffmengenkonzentration $c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0,015 \text{ mol/L}$ und 50 mL einer Kochsalzlösung $c(\text{NaCl}) = 0,020 \text{ mol/L}$ vermischt werden? Beachten Sie die Volumenzunahme der Gesamtlösung durch das Vermischen.

$$L(\text{PbCl}_2) = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

- a) Ionenprodukt $I(\text{PbCl}_2) = 6 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- b) Ionenprodukt $I(\text{PbCl}_2) = 8,8 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ keine Fällung erfolgt

- c) Ionenprodukt $I(\text{PbCl}_2) = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- d) Ionenprodukt $I(\text{PbCl}_2) = 9,5 \cdot 10^{-8} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ keine Fällung erfolgt

Aufgabe 11:

Bei 25°C lösen sich $7,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$ Silberchromat (Ag_2CrO_4) in 1 L Wasser. Wie groß ist das Löslichkeitsprodukt von Ag_2CrO_4 ?

- a) $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 4,7 \cdot 10^{-13} \text{ mol}^3/\text{L}^3$
- b) $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 9,5 \cdot 10^{-13} \text{ mol}^3/\text{L}^3$
- c) $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^3/\text{L}^3$
- d) $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,9 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^3/\text{L}^3$

Aufgabe 12:

Geben Sie das Löslichkeitsprodukt L für das Salz Bi_2S_3 an.

- a) $L(\text{Bi}_2\text{S}_3) = c^2(\text{Bi}^{3+}) + c^3(\text{S}^{2-})$
- b) $L(\text{Bi}_2\text{S}_3) = 2 c(\text{Bi}^{3+}) \cdot 3 c(\text{S}^{2-})$
- c) $L(\text{Bi}_2\text{S}_3) = c^2(\text{Bi}^{3+}) \cdot c^3(\text{S}^{2-})$
- d) $L(\text{Bi}_2\text{S}_3) = \frac{c(\text{Bi}^{3+})}{c(\text{S}^{2-})}$

Aufgabe 13:

Welche Sulfationen-Konzentration (SO_4^{2-}) ist notwendig, damit aus einer gesättigten BaF_2 -Lösung BaSO_4 auszufallen beginnt?

$$L(\text{BaF}_2) = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3; L(\text{BaSO}_4) = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

- a) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$
- b) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 3,1 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$
- c) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 5,2 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$
- d) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 6,1 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$

Aufgabe 14:

Bei 25°C lösen sich 0,00188 g Silberchlorid (AgCl) in 1L Wasser. Wie groß ist das Löslichkeitsprodukt?

- a) $L(\text{AgCl}) = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{L}^2$
- b) $L(\text{AgCl}) = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{L}^2$
- c) $L(\text{AgCl}) = 3,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$
- d) $L(\text{AgCl}) = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

Aufgabe 15:

Berechnen Sie das Ionenprodukt I und entscheiden Sie, ob es zur Fällung von MgF_2 kommt, wenn 30 mL mit $c(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 0,040 \text{ mol/L}$ und 70 mL mit $c(\text{NaF}) = 0,020 \text{ mol/L}$ vermischt werden? Beachten Sie die Volumenzunahme der Gesamtlösung durch Vermischen.

$$L(\text{MgF}_2) = 8 \cdot 10^{-8} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

- a) Ionenprodukt $I(\text{MgF}_2) = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- b) Ionenprodukt $I(\text{MgF}_2) = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- c) Ionenprodukt $I(\text{MgF}_2) = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- d) Ionenprodukt $I(\text{MgF}_2) = 3,5 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ keine Fällung erfolgt

Lösungsbogen: Gruppe A

Bitte tragen Sie Ihre **Codenummer** ein.

Bitte **übernehmen Sie Ihre markierten Ergebnisse** aus dem Aufgabenbogen und **übertragen Sie diese in den Lösungsbogen.**

Bitte **trennen Sie den Lösungsbogen NICHT** vom Aufgabenbogen ab !!

Falls Sie Ihre **Angabe ändern** möchten, streichen Sie bitte das markierte Ergebnis durch und schreiben den **neuen Buchstaben hinter die jeweilige Aufgabenzeile!**

Aufgaben- nummer				
1	a	b	c	d
2	a	b	c	d
3	a	b	c	d
4	a	b	c	d
5	a	b	c	d
6	a	b	c	d
7	a	b	c	d
8	a	b	c	d
9	a	b	c	d
10	a	b	c	d
11	a	b	c	d
12	a	b	c	d
13	a	b	c	d
14	a	b	c	d
15	a	b	c	d

F Nachtest

Aufgabe 1 bis Aufgabe 8 entsprechen den Aufgaben des themenspezifischen Vortest. Aufgabe 9 bis Aufgabe 13 sind Transferaufgaben.

Es wurden zwei Versionen des Nachtests entwickelt, die sich nicht im Inhalt, sondern in der Abfolge der Aufgaben unterscheiden. Der Antwortbogen bis zur Aufgabe 13 ist analog dem Vortest.

Anorganische Chemie im WS 2003/04 – Gruppe A**Aufgabe 1:**

Formulieren Sie das Löslichkeitsprodukt L für das Salz AgCl.

- a) $L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) - c(\text{Cl}^-)$
- b) $L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) + c(\text{Cl}^-)$
- c) $L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$
- d) $L(\text{AgCl}) = \frac{c(\text{Ag}^+)}{c(\text{Cl}^-)}$

Aufgabe 2:

Welche Fluorid-Konzentration ist notwendig, damit aus einer gesättigten SrSO_4 -Lösung SrF_2 auszufallen beginnt?

$$L(\text{SrSO}_4) = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^2/\text{L}^2; L(\text{SrF}_2) = 7,9 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

- a) $c(\text{F}^-) = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$
- b) $c(\text{F}^-) = 9,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$
- c) $c(\text{F}^-) = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$
- d) $c(\text{F}^-) = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

Aufgabe 3:

Entscheiden Sie mit Hilfe des berechneten Ionenproduktes I, ob es zur Fällung von Bleichlorid PbCl_2 kommt, wenn 20 mL einer Bleinitratlösung mit der Stoffmengenkonzentration $c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0,015 \text{ mol/L}$ und 50 mL einer Kochsalzlösung $c(\text{NaCl}) = 0,020 \text{ mol/L}$ vermischt werden? Beachten Sie die Volumenzunahme der Gesamtlösung durch das Vermischen.

$$L(\text{PbCl}_2) = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

- a) Ionenprodukt $I(\text{PbCl}_2) = 6 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- b) Ionenprodukt $I(\text{PbCl}_2) = 8,8 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ keine Fällung erfolgt
- c) Ionenprodukt $I(\text{PbCl}_2) = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- d) Ionenprodukt $I(\text{PbCl}_2) = 9,5 \cdot 10^{-8} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ keine Fällung erfolgt

Aufgabe 4:

Bei 25°C lösen sich $7,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$ Silberchromat (Ag_2CrO_4) in 1 L Wasser. Wie groß ist das Löslichkeitsprodukt von Ag_2CrO_4 ?

- a) $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 4,7 \cdot 10^{-13} \text{ mol}^3/\text{L}^3$
- b) $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 9,5 \cdot 10^{-13} \text{ mol}^3/\text{L}^3$
- c) $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^3/\text{L}^3$
- d) $L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,9 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^3/\text{L}^3$

Aufgabe 5:

Geben Sie das Löslichkeitsprodukt L für das Salz Bi_2S_3 an.

- a) $L(\text{Bi}_2\text{S}_3) = c^2(\text{Bi}^{3+}) + c^3(\text{S}^{2-})$
- b) $L(\text{Bi}_2\text{S}_3) = 2 c(\text{Bi}^{3+}) \cdot 3 c(\text{S}^{2-})$
- c) $L(\text{Bi}_2\text{S}_3) = c^2(\text{Bi}^{3+}) \cdot c^3(\text{S}^{2-})$
- d) $L(\text{Bi}_2\text{S}_3) = \frac{c(\text{Bi}^{3+})}{c(\text{S}^{2-})}$

Aufgabe 6:

Welche Sulfationen-Konzentration (SO_4^{2-}) ist notwendig, damit aus einer gesättigten BaF_2 -Lösung BaSO_4 auszufallen beginnt?

$$L(\text{BaF}_2) = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3; L(\text{BaSO}_4) = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

- a) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$
- b) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 3,1 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$
- c) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 5,2 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$
- d) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 6,1 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$

Aufgabe 7:

Bei 25°C lösen sich 0,00188 g Silberchlorid (AgCl) in 1L Wasser. Wie groß ist das Löslichkeitsprodukt?

- a) $L(\text{AgCl}) = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{L}^2$
- b) $L(\text{AgCl}) = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{L}^2$
- c) $L(\text{AgCl}) = 3,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$
- d) $L(\text{AgCl}) = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

Aufgabe 8:

Berechnen Sie das Ionenprodukt I und entscheiden Sie, ob es zur Fällung von MgF_2 kommt, wenn 30 mL mit $c(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 0,040 \text{ mol/L}$ und 70 mL mit $c(\text{NaF}) = 0,020 \text{ mol/L}$ vermischt werden? Beachten Sie die Volumenzunahme der Gesamtlösung durch Vermischen.

$$L(\text{MgF}_2) = 8 \cdot 10^{-8} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

- a) Ionenprodukt $I(\text{MgF}_2) = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- b) Ionenprodukt $I(\text{MgF}_2) = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- c) Ionenprodukt $I(\text{MgF}_2) = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ Fällung erfolgt
- d) Ionenprodukt $I(\text{MgF}_2) = 3,5 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^3/\text{L}^3 \rightarrow$ keine Fällung erfolgt

Aufgabe 9:

Welche Sulfid-Ionenkonzentration muss erreicht werden, damit aus einer gesättigten Nickelcarbonat-Lösung (NiCO_3), Nickelsulfid (NiS), auch Nickelblende genannt, ausfällt?
 $L(\text{NiCO}_3) = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^2/\text{L}^2$; $L(\text{NiS}) = 3 \cdot 10^{-21} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

- a) $c(\text{S}^{2-}) = 7,4 \cdot 10^{-18} \text{ mol/L}$
- b) $c(\text{S}^{2-}) = 2,1 \cdot 10^{-18} \text{ mol/L}$
- c) $c(\text{S}^{2-}) = 4,3 \cdot 10^{-18} \text{ mol/L}$
- d) $c(\text{S}^{2-}) = 8,1 \cdot 10^{-18} \text{ mol/L}$

Aufgabe 10:

Silber-Ionen (Ag^+) wirken bereits in geringster Konzentration keimtötend und werden deshalb zur Desinfektion verwendet. Berechnen Sie das Löslichkeitsprodukt L des schwerlöslichen Salzes Ag_3PO_4 , das häufig zur Herstellung dieser Desinfektionslösungen verwendet wird, wenn sich in einem Liter $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ g Ag}_3\text{PO}_4$ lösen.

- a) $7,2 \cdot 10^{-18} \text{ mol}^4/\text{L}^4$
- b) $1,7 \cdot 10^{-19} \text{ mol}^4/\text{L}^4$
- c) $1,6 \cdot 10^{-18} \text{ mol}^4/\text{L}^4$
- d) $5,8 \cdot 10^{-20} \text{ mol}^4/\text{L}^4$

Aufgabe 11:

Beim Lösen von Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) in Wasser entsteht eine basische Suspension, die als „Kalkmilch“ bezeichnet wird. Welchen pH-Wert hat die „Kalkmilch“, wenn das Löslichkeitsprodukt von $L(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{L}^3$ beträgt.

- a) $\text{pH} = 12,40$
- b) $\text{pH} = 12,15$
- c) $\text{pH} = 11,06$
- d) $\text{pH} = 12,04$

Aufgabe 12:

Welche Löslichkeit in mol/L hat Bleichromat (PbCrO_4) in einer Lösung von Natriumchromat $c(\text{Na}_2\text{CrO}_4) = 0,025 \text{ mol/L}$?

$$L(\text{PbCrO}_4) = 2 \cdot 10^{-16} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

- a) $c(\text{PbCrO}_4) = 8,0 \cdot 10^{-15} \text{ mol/L}$
- b) $c(\text{PbCrO}_4) = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$
- c) $c(\text{PbCrO}_4) = 5,8 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$
- d) $c(\text{PbCrO}_4) = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ mol/L}$

Aufgabe 13:

Zur quantitativen Fällung von verschiedenen Metallen beim Durchführen eines Trennungsganges ist das Einstellen des pH-Wertes vor dem Einleiten des Schwefelwasserstoff H_2S sehr wichtig.

In eine Lösung mit $\text{pH} = 0,5$ wird H_2S bis zur Sättigung eingeleitet. In der Lösung befinden sich Blei-Ionen $c(\text{Pb}^{2+}) = 0,050 \text{ mol/L}$ und Eisen(II)-Ionen $c(\text{Fe}^{2+}) = 0,050 \text{ mol/L}$. Entscheiden Sie anhand der Ionenprodukte I, ob bei diesem pH-Wert Bleisulfid (PbS) und Eisensulfid (FeS) ausfallen?

$$L(\text{PbS}) = 7 \cdot 10^{-29} \text{ mol}^2/\text{L}^2 ; L(\text{FeS}) = 4 \cdot 10^{-19} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

Gleichung für die Sulfid-Ionenkonzentration in Abhängigkeit der

$$\text{H}^+\text{-Ionenkonzentration: } c(\text{S}^{2-}) = \frac{1,1 \cdot 10^{-22} \text{ mol}^3 / \text{L}^3}{c^2(\text{H}^+)}$$

- a) $I(\text{PbS}) > L(\text{PbS})$ und $I(\text{FeS}) > L(\text{FeS}) \rightarrow \text{PbS}$ fällt aus, FeS fällt aus
- b) $I(\text{PbS}) > L(\text{PbS})$ und $I(\text{FeS}) < L(\text{FeS}) \rightarrow \text{PbS}$ fällt aus, FeS fällt nicht aus
- c) $I(\text{PbS}) < L(\text{PbS})$ und $I(\text{FeS}) > L(\text{FeS}) \rightarrow \text{PbS}$ fällt nicht aus, FeS fällt aus
- d) $I(\text{PbS}) < L(\text{PbS})$ und $I(\text{FeS}) < L(\text{FeS}) \rightarrow \text{PbS}$ fällt nicht aus, FeS fällt nicht aus

G Exemplarisches Logfile eines Probanden aus der Interventionsgruppe

Auszug aus dem Gesamtlogfile: Aufzeichnung der ersten Lösungsbeispielsequenz mit nachfolgendem Übungsbeispiel

12:33:17 12:33:17 Button1 FormAufgabe1

Aufstellung der Reaktionsgleichung.

1 Mol AgCl reagiert zu 1MOL Ag⁺ +

1 MolCl⁻.

00:02:30 12:35:48 ButtonSErkl FormAufgabe1

00:00:11 12:36:00 Button1 FormEr11

00:00:03 12:36:03 Button2 FormAufgabe1

Aufstellung des Löslichkeitsprodukts.

Das Produkt aus CAg⁺ und cCl⁻ ist

konstant. Dieses Produkt wird als das

Löslichkeitsprodukt bezeichnet.

00:02:53 12:38:57 ButtonSErkl FormAufgabe1

00:00:05 12:39:03 Button1 FormEr12

00:00:02 12:39:05 Button3 FormAufgabe1

Nun wird die Stoffmenge von AgCl in

Mol berechnet indem man die Masse

von AgCl durch die molare Masse

von AgCl teilt.

00:01:12 12:40:17 ButtonSErkl FormAufgabe1

00:00:04 12:40:22 Button1 FormErTextOnly

00:00:02 12:40:24 Button4 FormAufgabe1

Nun wird die Konzentration von AgCl

berechnet. Hierzu teilt man die

Stoffmenge von AgCl in Mol durch das

Volumen der Lösung in Liter.

00:01:31 12:41:56 ButtonSErkl FormAufgabe1

00:00:04 12:42:00 Button1 FormErTextOnly

00:00:02 12:42:03 Button5 FormAufgabe1

Aus der Reaktionsgleichung ist zu

ersehen, daß 1 Mol AgCl zu einem

Mol Ag⁺ und einem Mol Cl⁻ reagiert.

Deswegen kann man folgern, daß

die Konzentration von AgCl gleich der

Konzentration von Ag⁺ und gleich der

Konzentration von Cl⁻ ist.

00:03:23 12:45:27 ButtonSErkl FormAufgabe1

00:00:07 12:45:34 Button1 FormErTextOnly

00:00:01 12:45:36 Button6 FormAufgabe1

Nun werden in die Formel für das

Löslichkeitsprodukt die zugehörigen

Konzentrationen eingesetzt. Die Konzentration von Ag^+ wird mit der Konzentration von Cl^- multipliziert. Somit erhält man das Löslichkeitsprodukt.

00:02:01	12:47:37	ButtonSErkl	FormAufgabe1
00:00:02	12:47:40	Button1	FormErTextOnly
00:00:04	12:47:45	Button8	FormAufgabe1
00:00:36	12:48:22	Button1	FormAufgabe2

In der Lösung löst sich PbCl_2 , indem es zu Pb^{2+} und 2Cl^- reagiert.

Zwischen PbCl_2 und den gelösten Ionen besteht ein dynamisches Gleichgewicht. es gehen pro zeiteinheit genauso viele Ionen in Lösung, wie durch die Reaktion von Pb^{2+} mit 2Cl^- zurückgebildet werden

00:04:16	12:52:38	ButtonSErkl	FormAufgabe2
00:00:08	12:52:47	Button1	FormEr21
00:00:01	12:52:48	Button2	FormAufgabe2

Aufstellen des Löslichkeitsprodukts: da Man 1 Mol Pb^{2+} , aber 2 Mol Cl^- hat muß dies in der Formel zum Ausdruck gebracht werden, indem man die Konzentration von Cl^- quadriert. Also ähnlich wie man es schon vom Massenwirkungsgesetz her kennt.

00:02:04	12:54:52	ButtonSErkl	FormAufgabe2
00:00:05	12:54:58	Button1	FormEr22
00:00:00	12:54:59	Button3	FormAufgabe2

Man berechnet nun die Konzentration von PbCl_2 , indem man die Stoffmenge von PbCl_2 in Mol durch das Volumen der Lösung in Liter teilt.

00:01:29	12:56:28	ButtonSErkl	FormAufgabe2
00:00:03	12:56:32	Button1	FormErTextOnly
00:00:03	12:56:35	Button4	FormAufgabe2

Aus der Reaktionsgleichung ist ersichtlich: 1 Mol PbCl_2 reagiert zu einem Mol Pb^{2+} und 2 Mol Cl^- . deswegen ist die Konzentration von PbCl_2 gleich der Konzentration von Pb^{2+} . Die Konzentration von Cl^- ist somit gleich der doppelten

Konzentration von Pb^{2+}

00:02:09	12:58:44	ButtonSErkl	FormAufgabe2
00:00:04	12:58:49	Button1	FormErTextOnly
00:00:01	12:58:50	Button5	FormAufgabe2

Nun werden die Werte für die Konzentrationen in die Formel eingesetzt. Für die Konzentration von Cl^- setzt man die zweifache Menge an Pb^{2+} ein. Zusätzlich muß die Konzentration wieder quadriert werden. Es ergibt sich das Löslichkeitsprodukt von $PbCl_2$.

00:03:29	13:02:19	ButtonSErkl	FormAufgabe2
00:00:04	13:02:24	Button1	FormErTextOnly
00:00:01	13:02:25	Button8	FormAufgabe2
00:00:37	13:03:03	Button1	FormAufgabe3

Aufstellen der Reaktionsgleichung. $BaSO_4$ zerfällt in seine Ionen. Ba^{2+} und SO_4^{2-}

00:00:45	13:03:48	ButtonSErkl	FormAufgabe3
00:00:07	13:03:55	Button1	FormEr11
00:00:02	13:03:58	Button2	FormAufgabe3

Aufstellen des Löslichkeitsprodukts: Die beiden Ionenarten werden miteinander multipliziert.

00:00:54	13:04:52	ButtonSErkl	FormAufgabe3
00:00:05	13:04:57	Button1	M3FormEr31
00:00:01	13:04:59	Button3	FormAufgabe3

Berechnung der Stoffmenge (n) von $BaSO_4$, indem man die Masse von $BaSO_4$ in Gramm durch die molare Masse von $BaSO_4$ in g/Mol teilt.

00:01:28	13:06:27	ButtonSErkl	FormAufgabe3
00:00:03	13:06:30	Button1	FormErTextOnly
00:00:01	13:06:31	Button4	FormAufgabe3

Nun wird die Konzentration von $BaSO_4$ berechnet. Hierzu teilt man die Stoffmenge von $BaSO_4$ in Mol durch das Volumen der Lösung in L.

00:01:09	13:07:41	ButtonSErkl	FormAufgabe3
00:00:01	13:07:42	Button1	FormErTextOnly
00:00:00	13:07:43	Button5	FormAufgabe3

Aus der Reaktionsgleichung geht hervor, daß 1 Mol $BaSO_4$ zu einem Mol Ba^{2+} und einem Mol SO_4^{2-}

reagiert. Deswegen ist die
Konzentration von BaSO_4 gleich der
Konzentrationen der gelösten Ionen.

00:01:35	13:09:18	ButtonSErkl	FormAufgabe3
00:00:03	13:09:22	Button1	FormErTextOnly
00:00:01	13:09:23	Button6	FormAufgabe3

da die Konzentration von Ba^{2+} gleich
der Konzentration von SO_4^{2-} ist kann
man die Konzentration an Ba^{2+}
quadrieren um das

Löslichkeitsprodukt zu erhalten.

00:01:30	13:10:53	ButtonSErkl	FormAufgabe3
00:00:02	13:10:56	Button1	FormErTextOnly
00:00:01	13:10:58	Button7	FormAufgabe3

Nun wird der wert für die Konzentration
von Ba^{2+} in die Formel eingesetzt,
und wie im letzten schritt beschrieben
quadriert.

das Ergebnis ist das

Löslichkeitsprodukt.

00:01:37	13:12:35	ButtonSErkl	FormAufgabe3
00:00:02	13:12:37	Button1	FormErTextOnly
00:00:03	13:12:41	Button8	FormAufgabe3
RadioButton3 FormAufgabe4			
00:06:09	13:18:51		
00:00:07	13:18:58	Button8	FormAufgabe4

14 Persönliches

A: DANKSAGUNG

Meinem Ehemann Dirk danke ich für die konstruktiven Diskussionen, seine typische Eigenschaft die Dinge auf den Punkt zu bringen und die große Unterstützung bei der Betreuung unserer Kinder.

Meinen Kindern Anna und David danke ich für ihr sonniges Gemüt und die unglaubliche Selbstverständlichkeit neue Situationen anzunehmen.

Meinen Eltern Christa und Martin Maier schulde ich einen ganz besonderen Dank.

Meinen Bürokolleginnen Nina Nicolai und Jasmin Neuroth danke ich sehr für die konstruktiven Diskussionen zur Datenauswertung und die freundschaftliche Zusammenarbeit in unserem „Frauenbüro“.

Den Studierenden danke ich für die Teilnahme und das Interesse an dieser Studie.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unserer Arbeitsgruppe danke ich für das gute Arbeitsklima.

B: Lebenslauf

Name	Andrea Maier-Richter geb. Maier
Adresse	Hochscheuer Weg 11 40699 Erkrath
Geburtsdatum	15.03.1972
Geburtsort	Rötz
Familienstand	verheiratet, zwei Kinder
Schulbildung	Staatliche Realschule Neunburg vorm Wald 1984 – 1988 Abschluss: Mittlere Reife Technische Fachoberschule Cham 1991-1992 Abschluss: Fachhochschulreife
Berufliche Ausbildung	Universität Regensburg 1988 – 1991 Abschluss: Chemielaborantin
Studium	Fachhochschule Nürnberg Studiengang Technische Chemie 1992 – 1997 Abschluss: Diplomingenieurin (FH)
Berufliche Tätigkeiten	Ngee Ann Polytechnic of Singapore Lehrtätigkeit im Fachbereich Chemical Engineering 1997 – 1998 Bayer AG Leverkusen Ingenieurtätigkeit im Bereich Zentrale Technik – Chemische Verfahrenstechnik 1999 – 2001
Wissenschaftliche Tätigkeit	Universität Duisburg-Essen Fachbereich Chemiedidaktik 2002 – 2005 Betreuerin: Prof. Dr. Elke Sumfleth

