

Wissenserwerb mithilfe der internetbasierten Lernumgebung ChemNet

Eine empirische Untersuchung zum Lernen
mit linearen und vernetzten Hypertexten

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der
Mathematisch - Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von SASCHA SCHANZE
Kiel, Juni 2001

Referent/in..... Prof. Dr. Reinhard Demuth
Korreferent/inProf. Dr. Manfred Euler
Tag der mündlichen Prüfung.....19.07.2001
Zum Druck genehmigt: Kiel,.....25.07.2001

Prof. Dr. Thomas Bauer (Dekan)

Zusammenfassung

Am Beispiel der internetbasierten Lernumgebung ChemNet wurde untersucht, ob das Anbieten fachchemischer Inhalte in Hypertexten Lernenden mit unterschiedlichen Voraussetzungen und Interessen gerecht wird. In der vorliegenden Arbeit wird zwischen linearen Hypertexten, die vom inhaltlichen Aufbau konventionellen gedruckten Texten gleichen, und vernetzten Hypertexten unterschieden. In einer Laborstudie lernten 65 Studierende des ersten Semesters mit Haupt- oder Nebenfach Chemie entweder mit einem linearen oder einem vernetzten Hypertext zum Thema Säuren und Basen. Sie lernten außerdem entweder mit einer bestimmten oder einer unbestimmten Zielorientierung. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem vernetzten Hypertext grundsätzlich – unabhängig von der Art der Zielorientierung – besser gelernt wurde. Die bestimmte Zielorientierung erwies sich sowohl für lineare als auch vernetzte Texte in der Tendenz als vorteilhaft für den Lernerfolg. Es wurde zusätzlich mit Studierenden des Grundstudiums eine Feldstudie durchgeführt. Sie diente dazu, Bewertungen bezüglich der Maßnahme, ChemNet als Lerninstrument einzusetzen, in einer natürlichen Lernumgebung zu erfassen. Sowohl in der Labor- als auch in der Feldstudie fielen die Bewertungen zur Akzeptanz, zum Inhalt und zur Gestaltung überwiegend positiv aus.

Abstract

Using the internet-based learning environment ChemNet it was investigated whether the presentation of Chemistry in hypertext structure considers individuals' previous knowledge and interests. For this study we differentiate between a linear more textbook-like and a network-based hypertext. Sixty-five first year students with chemistry as main or minor subject studied either linear or network-based on the topic of acids and bases. They either learned with or without a definite goal orientation. The results indicate a significant main effect in favour of the network-based hypertext program as well as a tendency for better learning under specified goal conditions. In a field study other first year students were asked about acceptance of learning with ChemNet under habitual conditions. Both experiment and field study shows positive appraisals concerning the acceptance of ChemNet as a learning tool, the contents, and the instructional design of ChemNet.

Danksagung

Während der Planung und Durchführung der Studie und der Zusammenfassung ihrer Ergebnisse in dieser Arbeit durfte ich auf eine Reihe von Helfern zurückgreifen, bei denen ich mich an dieser Stelle bedanken möchte:

Herrn Prof. Dr. Reinhard Demuth danke ich für die fachwissenschaftlich Betreuung der Arbeit und die Möglichkeit, eigene Vorstellungen entwickeln und realisieren zu können.

Neben Herrn Prof. Demuth sind Dr. Sabine Nick und Dr. Klaus Rabe maßgeblich für die Realisierung der Lernumgebung ChemNet verantwortlich. Ihnen möchte ich für die zahlreichen fachlichen sowie medientechnischen Ratschläge und Hilfen bei der Erstellung der für die Untersuchung benötigten Testkapitel danken. Der Projektgruppe ChemNet gehören außerdem Lea Lensment und Judith Andresen an, denen ich ebenfalls für ihre Unterstützung besonders in technischen Fragen danken möchte.

Dr. Detlef Urhahne führte im Rahmen der Untersuchungen eine eigene Studie durch. Die Kooperation war für mich eine große Quelle der Inspiration. Ihm danke ich für die kompetente Beratung und Unterstützung zu methodischen und psychologischen Aspekten sowie seine Geduld, sich auch mit fachdidaktischen Fragestellungen auseinanderzusetzen und sie mit mir zu diskutieren.

Iris Stracke half bei der Durchführung empirischer Erhebungen. Ihr möchte ich für ihren Anteil am reibungslosen Gelingen der Untersuchungen danken.

Frau Prof. Dr. Cornelia Gräsel, Dr. Ilka Parchmann und Dr. Markus R. Friederici haben Teile des Manuskripts nach Fehlern jeglicher Art durchgesehen. Ihnen danke ich auch für ihr konstruktives Mitdenken. Markus Friederici rechne ich es hoch an, dass er sich als Soziologe den Gedankengängen eines Naturwissenschaftlers angenommen hat.

Natürlich kann eine Untersuchung zum Lernen nicht ohne Lernende stattfinden. Ich danke allen Studierenden, die freiwillig und gewissenhaft an der Untersuchung mitwirkten.

Das Anfertigen einer wissenschaftlichen Arbeit bestimmt besonders in der Endphase das tägliche Leben nicht selten zu Ungunsten des Privatlebens. Ganz besonders möchte ich mich daher bei Ana für ihre Geduld, ihr Verständnis und ihre Unterstützung bedanken.

Schließlich möchte ich mich bei meinen Eltern dafür bedanken, dass sie mir in jeglicher Hinsicht den Weg, den ich bisher gegangen bin, ermöglicht haben.

Einleitung	1
1 Hypertext als Lernmedium	4
1.1 Zum Begriff Hypertext	4
1.1.1 Weitere Begriffe aus der Hypertext-Sprache	5
1.1.2 Organisationsstrukturen	7
1.1.3 Eigenschaften von Hypertextsystemen – Abgrenzung von anderen Textarten	8
1.2 Begründungen für hypertext-basierte Lernumgebungen	9
1.2.1 Ebene des Lernenden	10
1.2.2 Ebene der lerntheoretischen Erkenntnisse	10
1.2.3 Ebene des Lerngegenstandes	12
1.3 Derzeitiger Forschungsstand zur Lernwirksamkeit von Hypertext	12
1.4 Zusammenfassung und Ausblick	13
2 Wissensvermittlung mit Hypertexten	15
2.1 Kohärenz	15
2.1.1 Der Kohärenz-Begriff	15
2.1.2 Kohärenz elektronischer Dokumente	17
2.1.3 Zusammenfassung	17
2.2 Kognitive Plausibilität	17
2.2.1 Zur Analogiethese	19
2.2.2 Zur Externalisierungsthese	21
2.2.3 Zur Internalisierungsthese	21
2.2.4 Zusammenfassung	22
2.3 Lernprobleme bei der Nutzung von Hypertext	23
2.3.1 Problem der Desorientierung (lost in hyperspace)	23
2.3.2 Problem der kognitiven Überlastung (cognitive overload)	24
2.3.3 Gestaltungsmöglichkeiten zur Reduzierung von Lernschwierigkeiten	24
2.4 Zielorientierung beim Lesen elektronischer Texte	25
2.4.1 Wissensvermittlung als Prozess zielorientierter Kooperation	25
2.4.2 Abgrenzung des Begriffes Zielorientierung von dem Begriff der Motivationspsychologie	26
2.5 Das Situationsmodell von van Dijk & Kintsch zur Begründung von Einflussgrößen auf das Lernen mit Hypertext	27
2.5.1 Das Situationsmodell	27
2.5.2 Einflussgrößen für das Verstehen von Hypertext	30
2.6 Zusammenfassung	33

3	Das Säure-Base-Kapitel von ChemNet	35
3.1	Eine fachdidaktische Betrachtung zum Säure-Base-Begriff	35
3.1.1	Säure-Base-Begriffe	36
3.1.2	Didaktische und methodische Konsequenzen bei der Einführung eines tragfähigen Säure-Base-Begriffes	42
3.1.3	Zur Terminologie im Säure-Base-Konzept	48
3.2	Die Gestaltung des Säure-Base-Kapitels	51
3.2.1	Der Aufbau der internetbasierten Lernumgebung ChemNet	51
3.2.2	Der Aufbau des Säure-Base-Kapitels	53
4	Empirische Untersuchungen	58
4.1	Fragestellungen	58
4.1.1	Zur Lernerfolgsfrage	59
4.1.2	Zur Akzeptanzfrage	61
4.2	Methode	62
4.3	Das Laborexperiment	63
4.3.1	Zum Forschungsdesign	63
4.3.2	Das Versuchsmaterial	65
4.3.3	Untersuchungsablauf	69
4.3.4	Versuchspersonen	70
4.3.5	Die Lernerfolgskontrolle	75
4.3.6	Darstellung und Diskussion der Untersuchungsergebnisse	83
4.4	Die Feldstudie	100
4.4.1	Zum Forschungsdesign	100
4.4.2	Das Versuchsmaterial	101
4.4.3	Untersuchungsablauf	101
4.4.4	Versuchspersonen	104
4.4.5	Auswertung der Nutzerprotokolls	105
4.4.6	Zur Lernerfolgskontrolle	107
4.4.7	Ergebnisse der Bewertung	109
4.4.8	Diskussion	114
5	Zusammenfassung und Ausblick	118
	ANHANG	128
A	Startfragebogen	128
B	Vorstudie	135
C	Arbeitsanweisung: Vorgegebene Zielorientierung	137
D	Arbeitsanweisung: Selbst gewählte Zielorientierung	138

E	Abschließender Fragebogen	139
F	Ablauf einer Lerneinheit in der Laborstudie	142
G	Abschließender Fragebogen (Feldstudie)	144

Wer das Ziel nicht kennt, wird den Weg nicht finden.

Christian Morgenstern

Einleitung

In den letzten drei Jahrzehnten hat eine erstaunliche Entwicklung immer leistungsfähigerer Computer stattgefunden. War der erste Personalcomputer noch ein besserer „Rechner“ ohne Festplattenspeicher, dem man mithilfe kleiner Basic-Programme eindrucksvolle Prozeduren wie die Simulation eines Würfels oder die näherungsweise Berechnung von Nullstellen ganzzahliger Funktionen abverlangen konnte, so sind die Computer der neuesten Generation in ihren Möglichkeiten für private Nutzer kaum noch auszuschöpfen. Die Prozessoren verarbeiten Informationen zunehmend schneller und die Speicher werden immer preisgünstiger. Die Bedienung eines Personalcomputers ist durch entsprechende Software immer einfacher geworden, so dass auch bisher im Umgang mit Computern Ungeübte vor dem Kauf eines PCs nicht mehr zurückschrecken. Im Jahr 2000 besaß nach Angaben des Statistischen Bundesamtes fast jeder zweite private Haushalt (47 %) einen Personalcomputer¹. Ein großer Teil der neuesten Rechner ist bereits mit einem internetfähigen Modem ausgerüstet. In den alten Bundesländern besaßen im Jahr 2000 17,4 % aller Haushalte einen Zugang zum Internet und in den neuen Bundesländern waren es 12,2 %. Doch nicht nur im privaten Bereich werden die technischen Möglichkeiten für den Einstieg in die Informations- und Wissensgesellschaft genutzt. Mit der Förderung des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in einem Finanzmittel-Volumen von 85 Millionen DM in den letzten 5 Jahren sind alle deutschen Hochschulen durch ein Hochleistungsnetz mit Übertragungsgeschwindigkeiten im Gigabit-Bereich ausgebaut worden (BMBF, 2000, S. 25). Damit sind technische Voraussetzungen geschaffen, das Internet als Informationsquelle und als Lehr- und Lernmedium für alle Lehrenden und Studierenden nutzbar zu machen. Der Schwerpunkt muss sich im Bildungsbereich nun zwangsläufig von der Forderung und Entwicklung der technischen Voraussetzungen hin zur Gestaltung und Entwicklung neuer Nutzungskonzepte verlagern. Zur Sicherung und Verbesserung der Qualität bereits realisierter Konzepte sind formative Evaluationen unverzichtbar (Schenkel, Tergan & Lottmann, 2000). Für die Entwicklung neuer Nutzungskonzepte und für ihre effiziente curriculare Einbindung sollte auf verwendbare Ergebnisse dieser formativen Evaluationen genauso zurückgegriffen werden wie auf Ergebnisse summativer Evaluationen, die letztgültige Antworten auf produktübergreifende Fragestellungen zu geben versuchen. Das Internet bietet den Hochschulen neben dem schnellen Austausch aktueller Informationen auch die Möglichkeit, Lerneinheiten zur Verfügung zu stellen, die einen individuellen Zugriff sowohl raum-zeitlich als auch inhaltlich zulassen. Es gilt nun, die Potentiale dieser

¹ aus *Neue Informationstechnologien zunehmend in deutschen Haushalten*, Pressemitteilung des Statistischen Bundesamtes. Im Internet abzurufen unter <http://www.statistik-bund.de/presse/deutsch/pm2000/p3400024.htm> (Stand 03.04.2001)

Technologien als Lehr- und Lernmedium zu erschließen, um durch ihre möglichst effektive Einbindung herkömmliche Unterrichtsmodelle zu bereichern.

Mit der internetbasierten Lernumgebung *ChemNet* wurde von Mitarbeitern des IPN Kiel eine multimediale Lernsoftware entwickelt, welche die Grundlagen der Allgemeinen und Anorganischen Chemie vermittelt und als Angebot für die Studierenden der Anfangssemester begleitend zur Hörsaal-Grundvorlesung Chemie genutzt werden kann (Nick et al., 2001). Adressaten sind neben den Studierenden des Diplom-Studienganges Chemie auch die der Diplomstudiengänge Physik, Biologie, Geowissenschaften, Agrarwissenschaften, Studierende der Medizin und technischen Fächer sowie des höheren Lehramts in Chemie und Biologie. Ihre Interessen und Fragestellungen zum Bereich Chemie können, bedingt durch die Studienfächer, sehr unterschiedlich sein. Da Chemie in den Oberstufen der Schulen Deutschlands kein Pflichtfach ist, erhalten Schülerinnen und Schüler in Chemie eine unterschiedliche Ausbildung bis zu dem Zeitpunkt des Studienantritts und besitzen somit individuelle variierende Vorkenntnisse. Diese unterschiedlichen Interessen und Vorkenntnisse zu berücksichtigen, ist eines der Ziele bei der Entwicklung der Lernumgebung. Wesentliche Möglichkeiten werden dafür in der Darstellung der Inhalte mithilfe der Hypertext-Technologie gesehen. Wenn sich auch die hohen Erwartungen, die gerade in die Hypertext- und Hypermediatechnologie gesetzt wurden, verschiedenen metaanalytischen Untersuchungen nach bisher nicht erfüllt haben (Dillon & Gabbard, 1998; Hasebrook, 1995b), so ist dieser Technologie die unterstützende Wirkung, die sie auf das selbstgesteuerte Lernen hat, nicht abzuspreehen.

Als eine große Stärke des Hypertextes wird die vielfältige Gestaltungsmöglichkeit – von linear aufgebauten bis hin zu sehr stark vernetzten Texten – angesehen. Es wird angenommen, dass sich unterschiedliche Zielorientierungen von Lernenden durch die Struktur, in der die Inhalte dargeboten werden, lernfördernd berücksichtigen lassen. Ein stark vernetzter Hypertext gewährleistet den gezielten Zugriff auf Informationen und sollte für den Lernenden mit einer definierten Zielorientierung besser geeignet sein, während ein linearer Aufbau des Hypertextes, vergleichbar der Struktur eines gedruckten Textes, das Lernen mit einer unbestimmten Zielvorstellung begünstigen sollte. Diese Annahme wird durch Ergebnisse eines von SCHNOTZ & ZINK durchgeführten Laborexperimentes gestützt (Schnotz & Zink, 1997). Neben der Zielorientierung gibt es mit dem *Vorwissen*, der *Lesefähigkeit* und den *Lernstrategien* weitere Größen, die das Lernen mit einem Hypertext in Abhängigkeit von ihren Ausprägungen unterschiedlich stark beeinflussen können. Diese Fragen sollten im Rahmen der vorliegenden Arbeit näher untersucht werden.

Für eine Studie mit dieser Zielsetzung wurde zu dem Thema Säuren und Basen ein spezielles Kapitel der Lernumgebung *ChemNet* geschrieben. Die Inhalte wurden in den zwei unterschiedlichen Strukturen – vernetzt und linear – angeboten und das Lernen in Abhängigkeit von der gewählten Struktur und der Zielorientierung – bestimmt oder unbestimmt – überprüft. In der Laborstudie lernten 65 Hochschulstudierende des ersten Semesters individuell neunzig Minuten mit dem erstellten Testkapitel. Die Teilnehmer wurden zufällig einer von vier Gruppen eines 2x2 faktoriellen Designs zugeteilt. Die beiden voneinander unabhängigen Faktoren waren *Textstruktur* und *Zielorientierung*. Einem Teil der Versuchspersonen wurden mit der *linearen* Textstruktur die Inhalte vergleichbar einem konventionellen gedruckten Text sequenziert dargeboten. Die anderen Teilnehmer lernten innerhalb einer *vernetzten* Textstruktur, deren Seiten stärker untereinander verknüpft waren. Die Versuchspersonen der Gruppen *unbestimmte* Zielorientierung wurden aufgefordert, sich ihre eigenen Lernziele zu definieren, während den anderen Teilnehmern mit einer kurzen Liste von Schlüsselbegriffen als *bestimmte* Zielorientierung eine konkrete Hilfe für die relevanten Konzepte zu dem Thema des Kapitels gegeben wurde. Andere mögliche Einflussgrößen wurden kontrolliert.

In einer weiteren Feldstudie stand das Testkapitel 50 Hochschulstudierenden des ersten Semesters für einen Zeitraum von zwei Wochen zur Verfügung. Bei jedem Zugang zu diesem Kapitel hatten die Teilnehmer nach vorheriger Angabe eines Lernziels die freie Wahl der Struktur.

Die Studien suchten Anhaltspunkte zur Beantwortung der folgenden Fragen:

- Ist das Anbieten unterschiedlicher Textstrukturen geeignet, um fachliches Lernen für Adressaten mit einer bestimmten oder unbestimmten Zielorientierung zu gewährleisten?
- Wie ist die Akzeptanz von *ChemNet* bei den Studierenden bezüglich ihrer Gestaltung und ihres Inhaltes?

Die vorliegende Arbeit ist in fünf Teile gegliedert: Im ersten Teil wird der Begriff Hypertext näher bestimmt und Merkmale verschiedener Strukturen voneinander abgegrenzt (1 Hypertext als Lernmedium). Anschließend werden pädagogische und psychologische Erkenntnisse über das Lernen mit Texten diskutiert und anhand eines Modells zum Textverständnis Einflussgrößen für das Lernen mit Hypertexten herausgearbeitet (2 Wissensvermittlung mithilfe von Hypertexten). Die Ergebnisse der ersten beiden Teile finden in den folgenden zwei Teilen Berücksichtigung: Der dritte Teil beschreibt das für die Untersuchung erstellte Testkapitel und stellt Besonderheiten des Inhaltes und der äußeren Gestaltung heraus (3 Das Säure-Base-Kapitel von *ChemNet*). Im vierten Teil werden Fragestellungen, Methode, Durchführung und Ergebnisse der Untersuchungen vorgestellt und diskutiert (4 Empirische Untersuchungen). Eine abschließende Zusammenfassung greift die wesentlichen untersuchungsbezogenen Aspekte der Diskussionen auf, gibt Anregungen für die Gestaltung internetbasierter Lernumgebungen, und verweist auf weitere Forschungsfragen, die sich aus der Arbeit ergeben (5 Zusammenfassung).

1 Hypertext als Lernmedium

In den letzten beiden Jahrzehnten hat das Interesse am Hypertext stetig zugenommen: Hypertextsysteme werden in Lehr- und Lernprogramme eingesetzt, dominieren die Online-Dokumentation und wirken als Informationsretrieval. Online-Hilfen im Hypertextformat werden jedem denkbaren Softwaretyp beigelegt. Von der Hypertext-Idee werden nach wie vor große Potentiale im Lehr- und Lernbereich erwartet. Begründungen für derartige Erwartungen werden in Abschnitt 1.2 vorgestellt. Abschnitt 1.3 gibt eine kurze Übersicht über empirische Untersuchungen zur Lernwirksamkeit verschiedener elektronischer Textpräsentationen. Einleitend wird jedoch zunächst der Begriff Hypertext erklärt.

1.1 Zum Begriff Hypertext

Hypertext ist ein strukturelles Merkmal für die Präsentation von Informationen. Der Begriff *Hypertext* wird in der einschlägigen Literatur nicht definiert, sondern anhand einer Beschreibung von anderen bekannten Strukturen abgegrenzt: *Hypertexte sind nicht-lineare Texte* (Bär, 1997; Freisler, 1994; Kuhlen, 1991; Tergan, 1997). Ein Hypertext zeichnet sich demnach dadurch aus, dass seine Struktur der des konventionellen Informationsmediums, welches als linear bezeichnet wird, *nicht* entspricht. Im Vorhinein soll darauf hingewiesen werden, dass diese Beschreibung in dieser Arbeit nur mit Einschränkungen übernommen wird, da das Kriterium der Linearität nicht eindeutig ist. So gibt es in den konventionellen linearen Medien durchaus nichtlineare Momente. Umgekehrt gibt es Hypertext-Dokumente, dessen Struktur durchaus als linear zu bezeichnen ist. Es werden daher andere Merkmale als bedeutend für die Charakterisierung eines Hypertextes herausgearbeitet.

Dem Begriff *Linearität* liegt eine räumliche Analogie zugrunde. Er bezieht sich auf die eindimensionale Anordnung von Informationen, wie sie zum Beispiel bei gebundenen Büchern vorliegt: Von der ersten bis zur letzten Seite. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Leser die vom Autor vorgeschlagene Reihenfolge der Informationsaufnahme nachvollzieht. Häufig ist dies die einzig sinnvolle Art, das Medium zu benutzen. Jedoch besitzt auch gedruckter Text oft nichtlineare Bereiche. So sind beispielsweise Lehrbücher oder Handbücher oft nicht darauf ausgerichtet, dass sie von Beginn an bis zum Ende gelesen werden sollen. Für gewöhnlich enthalten längere Texte strukturierende Merkmale, wie ein Inhaltsverzeichnis oder ein Wortindex, die es dem Leser erlauben, eine gewünschte Textpassage direkt zu finden. Fußnoten, Glossare oder Verweise sind andere übliche Elemente, die eine gedruckte Information nichtlinear machen können. Bei einem Verweis hat der Leser die Entscheidung zu treffen, ob er dem Verweis folgt und somit aus der linearen Struktur ausbricht oder ob er den Text weiterliest. Diese Informationsmedien gehören dennoch zu den konventionellen linearen Medien und nicht zu den Hypertexten. Eine absolute Grenze eines konventionellen Textes zu einem Hypertext ist somit durch das Kriterium der Nichtlinearität nicht eindeutig zu ziehen. Der grundlegende Unterschied liegt in der Idee, mit der Hypertexte erstellt werden sollen:

Die Grundidee eines Hypertextes besteht darin, einen Sachverhalt in einzelne isolierte Informationseinheiten einzuteilen. Verknüpfungen zwischen den einzelnen Einheiten sollen dem Leser einen Zugriff auf die Informationen in eine von ihm vorgegebene Reihenfolge ermöglichen. Durch dieses Mittel des bedarfsmäßigen Wechsels zwischen den Einheiten soll dem Leser ein möglichst hoher Grad an Flexibilität und Selbstbestimmtheit für die Arbeit mit dem Sachverhalt gegeben werden (Bär, 1997; Tergan, 1997). Die Informationseinheiten sind die Träger der Informationen im Hypertext. Sie umfassen meist einen Titel zur eindeutigen und weitestgehend informativen Kennzeichnung der Einheit und den eigentlichen Informationsteil, dessen Inhalt, Präsentationsform und Länge stark variieren kann. Sind die Informationseinheiten neben der Textform auch graphisch, bildlich oder audiovisuell kodiert, so wird diese Repräsentationsform als *Hypermedia* bezeichnet (Kuhlen, 1991; Sacher, 1998). Es wird wohl nicht möglich sein, festzulegen, wie umfangreich eine Informationseinheit sein soll. Der Umfang hängt beispielsweise von der Kodierungsform ab. Es erscheint wenig sinnvoll, Filmausschnitte zu sequenzieren, um auf jedem Knoten nur geringe Informationsmengen anzubieten. Aber vielleicht macht diese Eigenschaft gerade das Potential von Hypertext aus: Es bleibt in seiner Gestaltung vielseitig und flexibel.

Hypertexte unterscheiden sich untereinander nicht nur in der Kodierung der Informationen, sondern auch in der Organisationsstruktur. Im Folgenden werden die gängigen Hypertextstrukturen beschrieben, um die in dieser Arbeit verwendeten Strukturen einordnen zu können. Dem geht eine kurze Einführung der zentralen Begriffe, die im Zusammenhang mit dem Medium Hypertext benutzt werden, voraus.

1.1.1 Weitere Begriffe aus der Hypertext-Sprache

1.1.1.1 Knoten und Verknüpfungen

Das grundlegende Prinzip von Hypertext ist das Repräsentieren der Informationen in Einheiten, sogenannten *Knoten*, sowie das Anbieten von *Verknüpfungen* zwischen den Knoten, die ursprünglich als *Kanten* bezeichnet wurden (Freisler, 1994; Kuhlen, 1991). Gleichwertig zu diesem Begriff ist auch der Begriff *Link* (engl. Bindeglied) aus dem englischen Sprachraum anzusehen. Knoten werden im englischen Sprachraum auch als *frames* (Jonassen & Grabinger, 1990) und im deutschen Sprachraum allgemein als *Seiten* bezeichnet. Der Begriff Kante hat sich in den Dokumentationen zur Hypertextforschung nicht durchgesetzt, die Synonyme Verknüpfung oder Link werden derzeit bevorzugt. Auch in dieser Arbeit werden diese beiden Begriffe verwendet. Verknüpfungen können als zweistellige Relation zwischen Knoten aufgefasst werden. Diese Relation ist ursprünglich nicht reflexiv: Eine Verknüpfung wird in der Regel von einem Knoten K1 zu einem anderen Knoten K2 definiert (*unidirektionale Verknüpfung*). Soll auch ein Sprung von K2 zurück zu K1 möglich sein (*bidirektionale Verknüpfung*), so ist in der Praxis von dem Autor eine zweite Verknüpfung zu definieren (Abbildung 1).

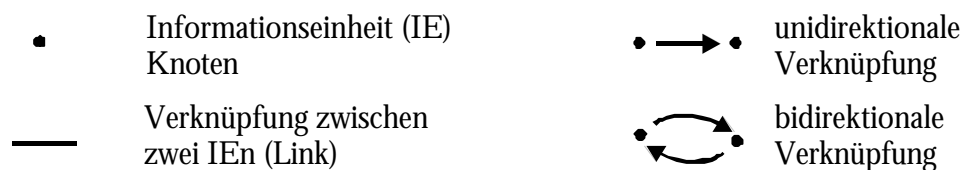


Abbildung 1: Graphische Darstellung von Knoten und Links

Neben der Verknüpfungsmöglichkeit durch einen Link bieten Computerprogramme oder Internetoberflächen auch die Möglichkeit, über *Navigationsysteme*² von einem Knoten zu einem anderen zu gelangen. Diese Verknüpfungen sind selten vordefiniert und werden daher von den Kanten unterschieden. KUHLEN nimmt eine begriffliche Trennung dieser Hypertext-Bausteine durch den Zusatz *Basis* oder *System* vor (Kuhlen, 1991).

1.1.1.2 Hypertextbasis und Hypertextsystem

Eine *Hypertextbasis* ist der materiale Teil eines *Hypertextsystems*. In ihr sind die Informationseinheiten dargestellt und verknüpft. *Hypertextsysteme* umfassen zusätzlich die externen Navigations- und Suchkomponenten und gegebenenfalls Autoren- und Analysekomponenten, die ein Aufbauen und Bearbeiten der Hypertextbasis ermöglichen (Abbildung 2).

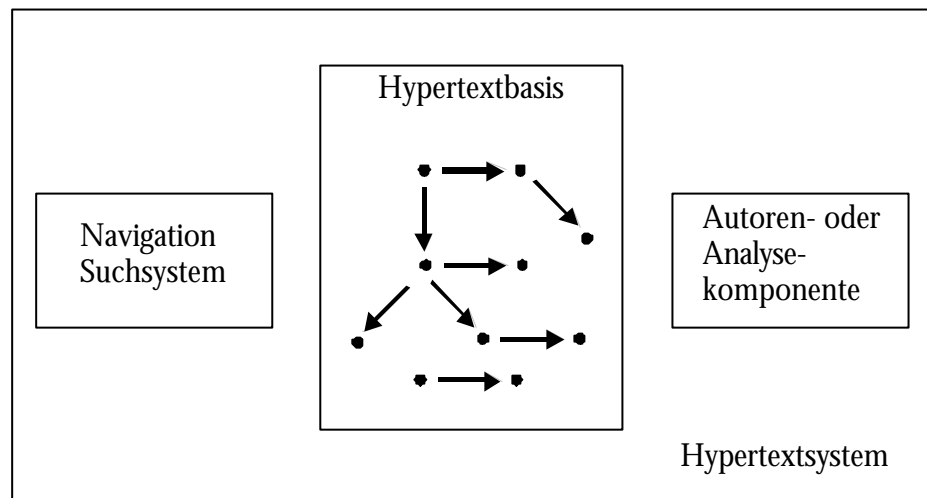


Abbildung 2: Architektur eines Hypertextsystems (s.a. Kuhlen, 1991, S. 21)
Ein Hypertextsystem besteht immer aus dem zentralen Hypertext-Dokument. Optional könnte es durch ein Navigations- oder Suchsystem und eine Autoren- sowie Analysekomponente ergänzt werden.

Wenn in dieser Arbeit das Wort Hypertext benutzt wird, so ist damit immer eine Hypertextbasis im Sinne von KUHLEN gemeint. Das Hypertextsystem ChemNet besitzt zum Beispiel eine für alle angemeldeten Benutzer zugängliche Hypertextbasis sowie ein Navigations- und Suchsystem. Eine Autoren- und Analysekomponente können nur befugte Entwickler der ChemNet-Inhalte einsehen und benutzen. Das System ChemNet wird in Abschnitt 3.2 ausführlicher vorgestellt.

Hypertexte (Hypertextbasen), die über das Internet mithilfe eines Browsers (spezielle Software zur Betrachtung von Internetseiten) einzusehen sind, bilden zusammen mit dem Browser bereits ein Hypertextsystem. Häufig sind – wie im Beispiel von ChemNet – noch zusätzliche Navigationselemente zu nutzen. In Abschnitt 2.3 wird die Problematik eines solchen Navigationsangebotes angesprochen.

² Navigationsysteme gewährleisten zum Beispiel bei einer strukturierten Hypertextbasis das Wechseln von einem Kapitel in das nächste oder in ein Unterkapitel oder das "Zurückblättern" von einem Knoten auf den vorher besuchten Knoten.

1.1.1.3 Typisierte und referentielle Verknüpfungen und ihre Erscheinungsformen

Verknüpfungen lassen sich entsprechend ihrer Art in typisierte und nicht-typisierte referentielle Verknüpfungen einteilen (Kuhlen, 1991). *Referentielle* Verknüpfungen beschreiben ausschließlich formale, syntaktische bzw. assoziative Zusammenhänge. Sie gewähren in einer Sequenz von Knoten zum Beispiel den Wechsel auf einen nächsten oder vorherigen Knoten sowie zum Beginn oder an das Ende einer Texteinheit. *Typisierte* Verknüpfungen sind durch eine informative Bedeutung spezifiziert. Auch sie verweisen auf andere Knoten, enthalten durch ihre Spezifikation jedoch einen informellen Mehrwert. TERGAN unterscheidet bei den typisierten Verknüpfungen zwischen semantischen (hierarchischen bzw. konzeptuellen) und pragmatischen (z.B. argumentativen oder kontextuellen) Beziehungen zwischen Knoten (Tergan, 1997).

Die Verknüpfungen können auf den Knoten in unterschiedlicher Form präsent sein: Als Ikone, durch farblich oder Unterstrich hervorgehobene Wörter im Text oder auch in einem Bild oder in einer Grafik integriert. Häufig werden definierte Verknüpfungen zusätzlich durch das Verändern des Mauszeigers kenntlich gemacht.

1.1.2 Organisationsstrukturen

Je nach Anzahl und Art der Verknüpfungen können die Knoten einer geordneten oder ungeordneten Struktur unterliegen. Eine *unstrukturierte Hypertextbasis* beruht ausschließlich auf referentielle Verknüpfungen, die im Idealfall das Aufrufen eines beliebigen Knotens von jedem Knoten der Basis aus gewährleisten. Obwohl diese Struktur dem Grundgedanken einer Hypertextstruktur am ehesten entspricht, da sie nur bedeutungsfreie Verknüpfungen zwischen den Informationseinheiten enthält und nur diese ein völlig selbstbestimmtes Lernen ermöglichen können, ist sie in der Praxis selten zu finden (siehe Abschnitt 2.3). *Strukturierte Hypertextbasen* unterscheidet man als *hierarchisch*, *linear* oder in einer *Matrix* strukturiert.

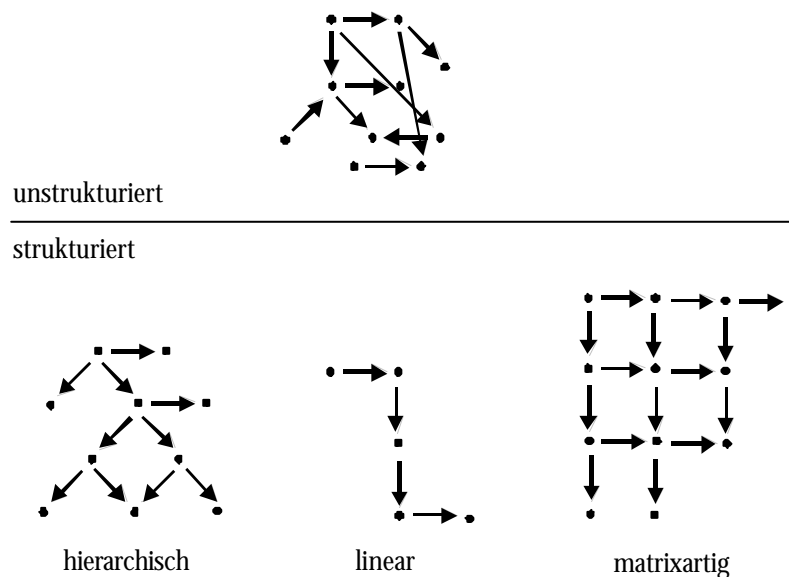


Abbildung 3: Typen verschiedener Hypertextbasen

Geläufige Hypertexte sind Mischstrukturen. In einer ansonsten hierarchischen Anordnung können auch *strikt lineare* Sequenzen vorkommen, wie beispielsweise in einer Online-Hilfe, die zu einem Textverarbeitungsprogramm sogenannte *guided-tours* anbietet. Diese weisen den Benutzer in bestimmte Elemente der Textverarbeitung ein, indem Arbeitsschritte in einer festgelegten Folge vorgeführt werden.

1.1.3 Eigenschaften von Hypertextsystemen – Abgrenzung von anderen Textarten

Die Komponenten Knoten und Verknüpfung sind notwendige Bestandteile von Hypertext-Dokumenten. Ihre Existenz erlaubt das Lesen von Informationseinheiten in einer nichtlinearen Abfolge. Darüber hinaus besteht wenig Einigkeit darüber, was einen Hypertext ausmacht. Für viele Autoren sind beispielsweise Hypertexte elektronische Texte und somit nur auf Computern denkbar. Demnach gelten gedruckte Wörterbücher, Lexika oder Karteikartensysteme nicht als Hypertexte, obwohl ihren Texten durch die enthaltenen zahlreichen Verweise eine stark vernetzte Struktur zugrunde liegt. CONKLIN spricht in diesem Zusammenhang von manuellen Hypertexten (Conklin, 1987). Der Grund für die Ausgrenzung gedruckter Texte mit Hypertext-Eigenschaften liegt in dem Gedanken, dass dem Leser die gesuchte Informationen idealerweise sofort – per Mausklick oder durch Betätigen der Eingabetaste – zur Verfügung stehen sollen. Die Definition von Hypertexten als nicht-lineare Texte soll das Anbieten der Informationen in einer strikt vorgegebenen Reihenfolge ebenfalls ausschließen. Solange jedoch das Anwählen der Knoten in einer beliebigen Reihenfolge generell möglich bleibt, sind auch Textformen, dessen Knoten in einer linearen Grundstruktur angeordnet sind, als Hypertexte zu bezeichnen. Fraglich bleibt, ob der inhaltliche Aufbau des Textes bei einem beliebigen Anwählen der Knoten dennoch ein Textverständnis gewährleistet. Darauf wird ausführlich in Kapitel 2 eingegangen. Je nach Anwendungsbereich und Forschungsrichtung werden weitere Eigenschaften als notwendig für ein effektives Hypertextsystem betrachtet: Das Vorhandensein grafischer Übersichten, unterschiedliche Arten des Informationszugriffs (über Link, Volltextsuche oder über den Browser), die Möglichkeit der direkten Manipulation usw. (vergl. z.B. Kuhlen, 1991). Das Fehlen dieser Eigenschaften verletzt jedoch nicht die Grundidee eines Hypertextes. Sie werden hier nicht als Merkmale von Hypertext angesehen.

Als Hypertexte gelten in dieser Arbeit elektronische Dokumente, die aus untereinander verknüpften Knoten bestehen und dem Leser somit eine Freiheit in der Auswahl und Reihenfolge der Knoten ermöglichen.

Hypertexte teilen sich nach dieser Definition weiterhin eine grundlegende Eigenschaft mit konventionellen Texten: Der Benutzer liest Informationen, die auf einer Seite abgedruckt sind und schreitet bei dem Leseprozess fort, indem er von der aktuellen Seite zu einer nächsten wechselt.³ Der Unterschied beider Textformen besteht darin, dass die Hypertextseiten in einer mehr oder weniger stark vernetzten Form repräsentiert sind und dass gesetzte Verknüpfungen ein schnelles und gezieltes Springen an eine gewünschte Stelle ermöglichen.

Unterscheidung linearer Hypertexte von vernetzten Hypertexten:

³ Ein Inhaltsverzeichnis oder ein Index bzw. Glossar ist in beiden Textformen optional.

Abschließend bleibt eine Abgrenzung der linearen und vernetzten Hypertext-Struktur, wie sie in der dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchung verstanden wird, vorzunehmen. Wie zu Beginn dieses Abschnittes erwähnt, sind lineare Texte nicht notwendig nur in einer Art (von der ersten bis zur letzten Seite) zu lesen. Die Strukturmerkmale Index, Inhaltsverzeichnis und Kapitelüberschriften gehören ebenfalls zu einem linearen Dokument und erlauben ein Überspringen von Knoten bzw. einen flexiblen Einstieg in das Dokument. Hypertexte werden als linear bezeichnet, wenn die Knoten der Hypertextbasis durch die gesetzten Verknüpfungen weitgehend linear strukturiert sind. Vernetzte Hypertexte besitzen dagegen keine strukturellen Einschränkungen.

1.2 Begründungen für hypertext-basierte Lernumgebungen

Hypertextanwendungen sind im Bereich des Internets derzeit Standard. Nahezu jeder Anbieter von Internet-Seiten nutzt die Vorzüge dieser Struktur, die sich durch das Verwenden der standardisierten Programmiersprache HTML (Hypertext Markup Language) realisieren lässt. Im Bereich der Wissensvermittlung galt besonders in den achtziger und neunziger Jahren der Hypertext-Idee und ihren Anwendungsmöglichkeiten ein großes Forschungsinteresse. So schreibt KUHLEN zu diesem Thema „könnte ein ganzes Buch über Hypertext geschrieben werden“ (Kuhlen, 1991, S. 178) und beschränkt sich darauf, eine Vielzahl von Themen und Forschungsarbeiten lediglich aufzuzählen. Die Hypertext-Idee ist nicht neu. Sie gründet auf das von BUSH (1945) entwickelte Konzept MEMEX, ein Archivierungssystem auf der Basis von Mikrofilmen, in dem die Dokumente durch assoziative Querverweise verknüpft sind. Seine in dem Artikel *As we may think* (Bush, 1945) beschriebene Vision, eine Analogie zwischen dem Arbeiten des menschlichen Gehirns und dem assoziativen Vernetzen von Texten, blieb unrealisiert, wurde aber mit den von NELSON 1974 und 1981 verwirklichten computerbasierten Hypertextsystemen wieder aufgenommen (Schulmeister, 1997; Tergan, 1997). NELSON wird die Prägung des Begriffes Hypertext zugeschrieben (vergl. Hasebrook, 1995a; Jonassen, 1986).

Die Entwicklung und Verbreitung leistungsfähiger Personalcomputer steigerte das Interesse daran, computerbasierte Lehr- und Lernmaterialien als alternative Medien in der Wissensvermittlung einzusetzen. Mit zunehmender Speicherkapazität und schnelleren Zugriffs- und Rechenzeiten der immer preiswerteren Hardware wurden den Software-Entwicklern Möglichkeiten eröffnet, multimediale Lehr und Informationssysteme in Form von Hypertexten zu entwickeln. Die häufig sehr umfangreichen Systeme stellen den Benutzer vor das Problem der sinnvollen und effektiven Handhabung. So beschäftigt sich eine Vielzahl von Untersuchungen mit der Erprobung unterschiedlicher Designs, wie beispielsweise die Gestaltung der Oberflächen oder das Nutzen verschiedener Navigationssysteme. BURKE, ETNIER & SULLIVAN geben bei der Beschreibung ihres eigenen Forschungsvorhabens einen Überblick über die Untersuchung unterschiedlicher Navigationshilfen in hypermedialen Navigationsprogrammen (Burke, Etnier & Sullivan, 1998).

Bestimmend in der Hypertext-Forschung blieb jedoch die Frage nach den Lernvorteilen, die sich bei Verwendung von Hypertextsystemen im Vergleich zu herkömmlichen Texten ergeben. In der besonderen Struktur der Hypertexte verbirgt sich die Hoffnung, eine Wissensrepräsentationsform zu finden, die selbstgesteuertes und problemorientiertes Lernen ermöglicht oder fördert. Dabei werden Begründungen genannt, die jeweils einer der folgenden drei Ebenen zugeteilt werden können und im Folgenden vorgestellt werden: (1) *Ebene des Lernenden*, (2) *Ebene lerntheoretischer Erkenntnisse*

(3) *Ebene des Lerngegenstandes.*⁴ Jede der drei folgenden Abschnitte beginnt mit einer zusammenfassenden These, die anschließend näher erläutert wird.

1.2.1 Ebene des Lernenden

Durch explizite Definition von Verweisstrukturen in einem Hypertext/Hypermediasystem soll dem Lernenden das selbstgesteuerte und interessengeleitete Auswählen individueller Lernpfade ermöglicht werden.

Als wichtige Eigenschaft des Hypertextes hebt Nielsen hervor: „True hypertext should (...) make users feel that they can move freely through the information according to their own needs“ (Nielsen, 1990, S.298). Das Lernen basiert vor allem bei Erwachsenen auf Vorwissen und eigenen Erfahrungen. Es werden individuelle Interessen und Ziele aufgebaut, die ein selbstgesteuertes Lernen leiten können. Hierfür nennt TERGAN Beispiele konkreter Anforderungssituationen, die zu bewältigen wären: (1) Die Vertiefung und Auffrischung von Wissen in einzelnen Inhaltsbereichen, (2) den schnellen Zugriff auf Informationen, die für das Lösen eines konkreten Problems, eine Entscheidung, ein besseres Verständnis eines einzelnen Sachverhalts bedeutsam sind, (3) die kurze theoretische Einführung in neue Sachverhalte einschließlich deren Modellierung, (4) die realitätsnahe Veranschaulichung komplexer und dynamischer Zusammenhänge unter Einbeziehung von Animationen, Simulationen und Video, (5) das probeweise Durchführen einer komplexen Tätigkeit am simulierten Modell (6) die Zusammenstellung vorliegender Informationen in Form von (multimedialen) Dokumenten (Tergan, 1997, S.129f.).

Es wird angenommen, dass Hypertext- und Hypermediasysteme für das selbstgesteuerte Lernen in diesen Situationen vergleichbar oder besser geeignet sind als traditionelle Medien. Sie unterstützen ein exploratives Lernen: Eingebunden aus der eigenen Perspektive folgt der Lernende seinen Interessen und Vorzügen, das Erkunden und Entdecken wird ermöglicht und somit das Lernen verbessert (vergl. Unz & Hesse, 1999).

1.2.2 Ebene der lerntheoretischen Erkenntnisse

Durch den Einsatz von Hypertext- und Hypermediasystemen lassen sich kognitive und situative Bedingungen erfolgreichen Lernens realisieren.

Erkenntnisse der Kognitionspsychologie begründeten lerntheoretische Modelle wie den Konstruktivismus und pädagogisch-methodische Konzepte wie das Kontextgebundene oder Kooperatives Lernen. Die erkenntnistheoretische Grundlage des Konstruktivismus, dass alles Wissen im Akt der Erkenntnis konstruiert werde und nicht unabhängig vom erkennenden Subjekt existiere, hat auch Einfluss auf die Entwicklung und Gestaltung von Lernszenarien mittels neuer Medien. Entgegen den ursprünglich durch behavioristische und später instruktionalistische Ansätze geprägten Lernprogrammen wie Drill-and-practice- oder Tutoriellen Programmen soll mithilfe des Computers der Lernende und seine aktive selbstbestimmte Aneignung von Wissen stärker im Vordergrund stehen. Hypertext-Forscher sehen gerade in der besonderen Struktur der Hypertextsysteme

⁴ Diese Dreiteilung gilt der Übersichtlichkeit. Zusammenhänge oder Überlappungen der einzelnen Begründungen werden damit nicht ausgeschlossen.

Potentiale zur Realisierung von Situationen, die aus kognitionspsychologischer Sicht erfolgreiches Lernen ermöglichen. TERGAN nennt fünf Bedingungen erfolgreichen Lernens die im Zusammenhang mit dem Einsatz von Hypertextsystemen diskutiert werden: (1) *Kognitive Plausibilität*, (2) *Konstruktives Lernen*, (3) *Kontextgebundenes Lernen*, (4) *Kognitive Flexibilität* und (5) *Kooperatives Lernen* (Tergan, 1997, S.130f.).

zu (1) *Kognitive Plausibilität*: Der Begriff der kognitiven Plausibilität wird in der Hypertext-Forschung verwendet, wenn ein Zusammenhang der Repräsentation von Wissensstrukturen zwischen System und Nutzer sowie der Rezeption von Informationen des Systems durch den Nutzer hergestellt werden soll. Ein informationsvermittelndes System gilt demnach als kognitiv plausibel, wenn zwischen der Repräsentation im System und der Repräsentation im Rezipienten möglichst wenig Umformungsprozesse erforderlich sind. Je weniger Umformungsprozesse möglich sind, umso besser sei die Informationsaufnahme. Grundlage ist dabei die Idee, das menschliche Gedächtnis entspräche einer Organisationsstruktur in der Form eines semantischen Netzwerkes. Von Hypertextsystemen wird angenommen, dass ihr netzwerkartiger Aufbau dem semantischen Netzwerk sehr nahe kommt und somit ein Einbinden der Knoteninhalte in das Langzeitgedächtnis erleichtere. Die ursprüngliche Annahme von BUSH (1940), dass ein solches System der Organisation des menschlichen Gedächtnisses sogar entspreche, wird schon aufgrund der Reichhaltigkeit der semantischen Beziehungen und ihrer Verschiedenheit in Abhängigkeit individueller Lebenserfahrungen angezweifelt. Auf die Hypothese zur kognitiven Plausibilität wird in Abschnitt 2.2 näher eingegangen.

zu (2) *Konstruktives Lernen*: Konstruktivisten gehen davon aus, dass Wissen durch einen dynamischen Erkenntnisprozess entstehe und somit auch nicht an andere ohne eigene Rekonstruktion übermittelt werden könne (Papert, 1992). Ein effektiver Wissenserwerb setzt also kognitiv aktives und konstruktives Lernen voraus. Von Hypertextsystemen wird wegen der vernetzten Struktur und der grundsätzlich möglichen Veränderbarkeit der dargebotenen und angelegten Datenbasis angenommen, dass sie konstruktives Lernen geeignet unterstützen (Tergan, 1997).

zu (3) *Kontextgebundenes Lernen*: Mit der Bestimmung der Wissensaneignung als einen dynamischen Erkenntnisprozess erlangt für die Konstruktivisten das aktive Handeln des Lernenden im Lernprozess eine zentrale Bedeutung. Handeln ereignet sich immer in einer sozialen Situation, die somit Einfluss auf den Erkenntnisprozess hat. Denken und Kognition sind situativ und kontextuell gebunden (Schulmeister, 1997). Von Hypertextsystemen wird angenommen, dass mit ihnen realitätsnahe Erfahrungen gemacht werden können, die das Aneignen situierten Wissens unterstützen. Ferner spricht man ihnen die Möglichkeit zu, durch das Anbieten unterschiedlicher Lernszenarien zu einem Gegenstandsbereich das erworbene Wissen in unterschiedlichen Kontexten anwenden zu können. Hier gibt es Überschneidungsbereiche zur Begründung des sinnvollen Einsatz von Hypertextsystemen nach der Theorie zur kognitiven Flexibilität. (Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1991).

zu (4) *Kognitive Flexibilität*: Der Begriff der kognitiven Flexibilität geht auf SPIRO ET AL. zurück und bezeichnet die Fähigkeit, vorhandene Wissensstrukturen in Reaktion auf unvertraute Situationen oder veränderte Bedingungen bekannter Situationen spontan zu rekonstruieren. Kognitive Flexibilität lässt sich ihrer Meinung nach nur fördern, wenn Wissen in vielfältiger Weise dargestellt und in Form komplexer Schemata und Szenarien präsentiert wird (Spiro, Coulson, Feltovich & Anderson, 1988; Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1991; Spiro & Jengh, 1990). SPIRO & JENGH selbst präsentieren mit einem Hypertextsystem zum Film *Citizen Kane*, dass eine enge Verbindung ihrer Flexibilitätstheorie zur Hypertext-Idee bestehe.

zu (5) *Kooperatives Lernen*: Da Lernen im Sinne der konstruktivistischen Lerntheorien immer auch durch die soziale Situation mitbestimmt wird, erlangt in der Lehr- und Lernforschung ebenfalls der Einfluss kooperativen Lernens auf die Wissensaneignung Aufmerksamkeit. Lernen mit Kooperationspartnern verlangt das Auseinandersetzen des Lernenden mit unterschiedlichen Sichtweisen und fördert somit ein vertieftes Verständnis des betreffenden Gegenstandsbereiches. Auch hier werden Hypertextsystemen wegen ihrer prinzipiellen Veränderbarkeit von Elementen der Datenbasis über Autorenkomponenten und ihrer Integrationsmöglichkeit in kollaborative Lernumgebungen – unter anderem auch durch den Einsatz moderner Telekommunikationstechniken – Potentiale zugesprochen, kooperatives Lernen geeignet zu unterstützen (Tergan, 1997).

1.2.3 Ebene des Lerngegenstandes

Einem Hypertextsystem wird aufgrund seiner besonderen Struktur die Möglichkeit zugesprochen, komplexe Gegenstandsbereiche effizient darzustellen.

Komplexe Sachverhalte lassen sich oft nur durch Betrachtung aus unterschiedlichen Perspektiven, beispielsweise aus verschiedenen Fachdisziplinen, genügend darstellen. Für diese Teilbereiche ist oft eine Reihenfolge der Bearbeitung nicht zu rechtfertigen. Sie sind in ihrer Notwendigkeit zur Beschreibung des Sachverhaltes als gleichwertig anzusehen (z.B. Themen wie das System *Erde*, ökologische oder klimatische Themen, das Auto usw.). Neben der Präsentation von Informationen in Textform sind häufig weitere Präsentationsformen wie Tabellen, Grafiken, Ton oder Bilddokumente sinnvoll und notwendig. Hypertext und Hypermediasystemen werden die Eigenschaft zugesprochen, eine adäquate Darstellung und Bearbeitung komplexer Themenstellungen gerecht zu werden. Diese Systeme bieten auch die Möglichkeit, verschiedene Kodierungsformen zu kombinieren und zu integrieren.

1.3 Derzeitiger Forschungsstand zur Lernwirksamkeit von Hypertext

Zur Lernwirksamkeit von Hypertext sind zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Sie beschäftigen sich hauptsächlich damit, Nutzpotentiale der vernetzten Textformen zu erschließen (Kuhlen, 1991). Der Einfluss unterschiedlicher Textstrukturen auf das Lernen wurde jedoch in nur wenigen Untersuchungen empirisch überprüft. HASEBROOK nennt bei einer Besprechung von Meta-Analysen zum Thema ‚Lernen mit Multimedia‘ zwei Studien, die systematisch die Lernwirksamkeit unterschiedlicher Textformen untersuchen (Hasebrook, 1995b): RETTERER überprüfte mit 36 Studierenden der Erziehungswissenschaften den Wissenszuwachs beim Lesen eines Textes in drei unterschiedlichen Präsentationsformen: Ein politischer Text mit einer Länge von vier Seiten wurde als Papiausdruck und als Computertext mit und ohne Hyperlinks, die Informationen zu den im Text erwähnten Namen und Städten erhielten, gelesen. Die Probanden mit der verlinkten Struktur erzielten in diesem Test die besten Ergebnisse (Retterer, 1991). In einer Studie von LACHMAN wurde von 32 Studierenden der Psychologie ein zehneitiger Text über Gedächtnispsychologie mit zwei unterschiedlichen Glossarformen gelesen. Ein Glossar enthielt Erläuterungen lediglich zu Fremdwörtern, das andere zu den wichtigsten Begriffen. Im zweiten Text wurden die

betreffenden Erklärungen aus dem Lehrtext entfernt. Die Gruppe, die mit der zweiten Glossarform lernte, erzielte anschließend die besseren Behaltensleistungen (Lachman, 1989). HASEBROOK bemängelt an diesen und anderen Einzelstudien, dass sie generell zu geringe Informationsmengen untersuchten. Außerdem würden mehrere Maßnahmen miteinander vermischt, so dass nicht entschieden werden könne, auf welche der Maßnahmen der gemessene Lernunterschied zurückzuführen ist. Unvollständige Angaben über den Lernprozess lassen darüber hinaus den erreichten Wissensstand nicht am Lernaufwand relativieren (Hasebrook, 1995b). Unvollständige Darstellungen in vorgenommenen empirischen Untersuchungen bemängelt auch GERDES bei einer Zusammenstellung von Studien zum Lernen mit Hypertext (Gerdes, 1997). So untersuchten GORDON ET AL. die Auswirkungen der Variation von Textinhalten (allgemeines Interesse vs. Sachtext) und Textstruktur (linear vs. Hypertext), stellen in ihrer Veröffentlichung jedoch nicht eindeutig den Vernetzungsgrad des Hypertextes dar (Gordon, Gustavel, Moore & Hankey, 1988). Es wird somit nicht deutlich, ob es sich um einen unstrukturierten oder einen hierarchisch strukturierten Text handelt. GERDES selbst beschreibt zwei Studien zum Vergleich der Lernwirksamkeit von Hypertext und traditionellen linearen Texten und stellte generell einen größeren Wissenszuwachs fest, wenn mit dem linearen Text gelernt worden war. Zusätzlich fand sie jedoch eine Interaktion von Vorwissen und der Textart. Bei niedrigem Vorwissen konnte nach dem Lesen des vernetzten Hypertextes wesentlich weniger reproduziert werden als nach dem Lesen des linearen Textes. Mit zunehmendem Vorwissen führt das Lernen mit dem vernetzten Text zu immer besseren Lernergebnissen im Vergleich zum linearen Text. Einen moderierenden Effekt auf das Lernen mit linearen oder vernetzten elektronischen Texten beobachteten auch SCHNOTZ & ZINK durch die Vorgabe einer Zielorientierung: In einer Untersuchung mit 60 Studierenden zum Thema „Zustandekommen von Zeit- und Datumsunterschieden auf der Erdoberfläche“ wurde überprüft, inwiefern sie sich anhand eines linearen oder vernetzten elektronischen Dokumentes Wissen über einen ihnen nahezu unbekanntem komplexen Sachverhalt erwerben können. Der einen Hälfte wurde dabei eine spezifische Zielorientierung in Form bestimmter Lernaufgaben und der anderen keine spezifische Zielorientierung gegeben. Ihren Ergebnissen zufolge scheinen vernetzte Hypertexte für einen Wissenserwerb mit Zielorientierung besser geeignet zu sein. Lineare Texte sind hingegen für einen Wissenserwerb ohne spezifische Zielorientierung besser geeignet (Schnotz & Zink, 1997).

1.4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Vielzahl der Begründungen für das Lernen mit Hypertextsystemen erklärt die anfängliche Euphorie, mit der zahlreiche Projekte in der Hypertext-Forschung angegangen wurden. Die ersten Ergebnisse empirischer Studien zum Einsatz von Hypertext als Lernmedium lassen noch keine generalisierenden Aussagen zu. Schon KUHLEN merkt an, dass der theoretische und kognitive Status von Hypertext noch in vieler Hinsicht offen sein mag (Kuhlen, 1991). Die Studien von GERDES und SCHNOTZ & ZINK deuten an, dass der Lernerfolg bei unterschiedlichen Textformen von personenspezifischen und instruktionalen Merkmalen beeinflusst sein kann. Die vermuteten Potentiale vernetzter Systeme gründen überwiegend auf der Idee, flexiblen Zugriff auf Wissen zu ermöglichen. Dies setzt das Anbieten der Informationen als nicht-lineares Medium voraus. In der Hypertext-Literatur wird dabei oft auf die Hypothese der *Kognitiven Plausibilität* verwiesen. Diesbezüglich gibt es ebenfalls keine empirischen Befunde, die eine generalisierende Aussage stützen könnten. In Abschnitt 2.2 wird die Theorie der Kognitiven Plausibilität ausführlicher diskutiert.

Ausblick: Forschungsvorhaben zum Thema Lernen über das Medium Hypertext und Hypermedia werden derzeit maßgeblich durch Fragen nach dem Design von Textkomponenten oder nach der Integration anderer Kodierungsformen von Informationen bestimmt. Die internetbasierte Lernumgebung *ChemNet* setzt zunächst den Schwerpunkt in der Vermittlung von Sachverhalten durch Texte. Andere Komponenten wie Tabellen, Grafiken, Ton- und Bilddokumente, Animationen und Simulationen ergänzen die Informationen sinnvoll. Es wird davon abgesehen, die Nutzer der Lernumgebung durch ein Überangebot an unterschiedlichen Kodierungsformen zu einem Gegenstandsbereich kognitiv zu belasten. Multikodalität bewirkt nicht unbedingt ein höheres Verständnis. Untersuchungen haben gezeigt, dass das Anbieten von Informationseinheiten für unterschiedliche Sinneskanäle eine zusätzliche Belastung für den Leser bedeuten kann (Sweller, 1988; Sweller, Chandler, Tierney & Cooper, 1990). Besondere kognitive Leistung wird dem Leser dann abverlangt, wenn zwischen den unterschiedlich kodierten Informationseinheiten keine direkte Verbindung besteht und diese erst selbst hergestellt werden muss. Studien zur unterschiedlichen, behaltensfördernden Wirkung von Bildern wurden zum Beispiel von MAYER ET AL. (Mayer & Anderson, 1991; Mayer & Gallini, 1990) durchgeführt und deren Ergebnisse im Allgemeinen basierend auf dem Modell der doppelten Enkodierung von PAIVIO erklärt (Paivio, 1971; Paivio, 1986). Gute Text-Bild-Kombinationen haben demnach eine klare Struktur und zeigen Beziehungen zwischen den Elementen auf. Außerdem spielt die optische Präsentation eine Rolle, die sich durch eine räumliche Nähe oder sogar durch eine direkte Verknüpfung von Text und Bild verbessern lässt (Mayer, 1994). Bei der Implementation von Grafiken, Fotos oder Videos in die Textkomponenten von *ChemNet* wird eine optische und inhaltliche Nähe berücksichtigt.

Ein Schwerpunkt der dieser Arbeit zugrunde liegenden Studie ist die Untersuchung der Lernwirksamkeit von Hypertexten bei Variation der Textgestaltung und der Zielorientierung. Bei dem Vergleich der Lernwirksamkeit verschiedener Textstrukturen könnte der Eindruck entstehen, es handle sich um die Frage, ob das untersuchte Medium in der Lage sei, die Aufgaben der herkömmlichen Medien besser zu erfüllen. Bietet Hypertext zum Beispiel die Möglichkeit einer effektiveren Wissensvermittlung als konventionelle gedruckte Materialien wie Bücher oder Zeitschriften? Diese sicher nicht uninteressante Frage soll nicht untersucht werden. Hypertext soll nicht andere Medien ersetzen. Er bietet jedoch besondere Eigenschaften, die einen Einsatz in speziellen Situationen günstig erscheinen lassen. Diese Einsatzmöglichkeiten gilt es zu untersuchen und zu spezifizieren. So beschäftigt sich die Studie zu dieser Arbeit auch in keiner Weise mit dem Vergleich eines elektronischen und eines gedruckten Mediums, sondern mit dem Vergleich unterschiedlicher Textgestaltungsmerkmale *eines* Mediums. Es werden vergleichbare Inhalte zum einen in einer linear basierten Struktur und zum anderen in einer stärker vernetzten Struktur angeboten. Die Systeme zu beiden Strukturen sind als Hypertextsysteme zu bezeichnen, da sie als elektronische Texte in ein Navigationssystem eingebettet und dessen Knoten über Verknüpfungen und über das Navigationssystem zu erreichen sind. Die lineare Struktur ist jedoch streng hierarchisch aufgebaut und gestattet innerhalb der Textbasis das Navigieren nur von einer Seite auf die nächste bzw. auf die vorhergehende.

Für das Herausarbeiten von Einflussgrößen auf das Lernen mit unterschiedlichen Hypertextstrukturen werden in Kapitel 2 Erkenntnisse über den Wissenserwerb mit Texten näher betrachtet. Die Knoten beider Hypertextsysteme bestehen aus mindestens einem Textabsatz. Es wird angenommen, dass für die Wissensaneignung von Informationen aus solchen Textformen die Erkenntnisse der Textforschung übertragen werden können.

2 Wissensvermittlung mit Hypertexten

Texte werden von Autoren mit dem Ziel verfasst, Wissen an andere zu vermitteln. Wissen ist über eine längere Zeit verfügbar, wenn es im Langzeitgedächtnis gespeichert wird. Hinsichtlich der Organisation des Langzeitgedächtnisses besteht weitgehend die Auffassung, dass abstrakte Konzepte netzwerkartig gespeichert sind (semantische Netze). Das Verfassen eines Textes erfordert die Repräsentation dieser Wissensstruktur in Textform. Das Lernen mittels eines Textes verlangt wiederum das Einbauen der Textinformationen in die bereits vorhandene Wissensstruktur. SCHNOTZ sieht den Vorgang der mentalen Kohärenzbildung für die Wissensvermittlung sowohl beim Autor als auch beim Leser für unbedingt erforderlich (Schnotz, 1994). Der Begriff *Kohärenz* wird auch in einem anderen Kontext verwendet. So gilt ein Text als kohärent, wenn in ihm die inhaltlich-semantischen Zusammenhänge deutlich werden. Beide Kohärenz-Begriffe sind bedeutsam für die Wissensvermittlung durch Texte. Sie werden daher ausführlicher in Abschnitt 2.1 betrachtet.

Die umstrittene Metapher von vernetzten Hypertexten als Abbild des semantischen Netzes (kognitive Plausibilität) bestimmt die Diskussion um Hypertext als Medium zum erfolgreichen Lernen (2.2). Zahlreiche Untersuchungen beschreiben mögliche Lernschwierigkeiten im Umgang mit Hypertextsystemen (2.3). Es wird vermutet, dass Lernen mit einer bestimmten Zielorientierung in vernetzten Hypertexten ein erfolgreiches Lernen ist. In (2.4) wird die Annahme begründet und der Begriff der Zielorientierung inhaltlich von dem aus der Motivationspsychologie abgegrenzt. Die Forschung zum Textverständnis erkennt verschiedene Faktoren als Einflussgrößen auf das Textverständnis an. In 2.5 wird das Situationsmodell von VAN DIJK & KINTSCH vorgestellt, um anhand dieses Modells zu begründen, dass diese Einflussgrößen auch den Erfolg beim Lernen mit Hypertexten unterschiedlicher Struktur beeinflussen können.

2.1 Kohärenz

Einleitend wird in 2.1.1 der Begriff Kohärenz und seine Bedeutung für das Textverständnis vorgestellt. In 2.1.2 werden Konsequenzen für die Gestaltung elektronischer Dokumente in unterschiedlicher Textstruktur abgeleitet.

2.1.1 Der Kohärenz-Begriff

Die inhaltlich-semantische Kohärenz

Die Wissensvermittlung mit einem Text basiert darauf, dass der Leser dem Text eine Bedeutung zumessen kann. Der Leser kann diese Bedeutung dem Text jedoch nicht einfach entnehmen, er dient ihm als Grundlage für einen mentalen Konstruktionsprozess, mit dem Ziel, eine entsprechende Wissensstruktur aufzubauen. Voraussetzung dafür ist nach Erkenntnissen der Textforschung ein kohärenter Text.

Unter Kohärenz wird die inhaltlich-semantische bzw. kognitive Strukturiertheit eines Textes verstanden (Freisler, 1997): Der erste Verstehensprozess beim Lesen eines Textes ist die Worterkennung und Begriffsaktivierung. Durch Rekonstruktion von Wissen werden die Begriffe eines Satzes oder einer Aussage dann in eine inhaltliche Beziehung gebracht. Das Verstehen längerer Textpassagen setzt das Verbinden der inhaltlichen

Beziehungen über mehrere Sätze hinweg voraus. Dabei werden vorhandene Begriffe modifiziert oder neue in den Wissensfundus integriert. Schreitet dieser Prozess ohne Abbruch voran, so entsteht ein kontinuierlicher Sinnfluss, der als Kohärenz bezeichnet wird (Ballstaedt, 1997). Ein Text ist also kohärent, wenn die in ihm enthaltenen Informationen so aufeinander bezogen sind, dass beim Leser keine Informationslücken entstehen.

BALLSTAEDT führt mit der *syntaktischen* und der *semantischen* Kohärenz zwei Kohärenzmittel auf (Ballstaedt, 1997). Kohärenz entsteht einerseits durch Beachtung der syntaktischen Regeln eines korrekten Satzbaus. Aus der unregelmäßigen Wortfolge (*Wie seien Hans in der Schule*) ist ein eindeutiger Sinnzusammenhang nicht zu erkennen. Sowohl (*Wie ist Hans in der Schule?*) als auch (*Wie? Ist Hans in der Schule?*) wären zwei Möglichkeiten mit unterschiedlicher Bedeutung. Erst durch die formalen Mittel der Grammatik entsteht der Zusammenhang. Diese direkte sprachliche Verknüpfung wird auch als Kohäsion bezeichnet. Andererseits können auch ohne syntaktische Mittel Beziehungen zwischen Satzteilen oder Sätzen durch semantische Brücken hergestellt werden. Die Sätze (*Hans ging in die Schule. Im Schulranzen fehlte der Taschenrechner. Der Lehrer vergab eine Strafarbeit. Der Nachmittag war verdorben*) (Ballstaedt, 1997 S. 35) wird Kohärenz erst durch das Vorwissen über Schule hergestellt. Die Bedeutungsgehalte der einzelnen Sätze, verknüpft mit dem Vorwissen über Schule, bewirken eine Kohärenz, die BALLSTAEDT als semantische Kohärenz bezeichnet.

Die mentale Kohärenz

SCHNOTZ sieht in der Kohärenz eine Eigenschaft, die sich nicht nur auf die Strukturiertheit des Textes beschränkt, sondern sich durch den gesamten Kommunikationsprozess zwischen Autor und Leser hindurch zieht und in unterschiedlicher Form realisiert: Soll ein Sachverhalt durch einen Text dargestellt werden, muss der Autor ihn inhaltlich durchdrungen haben. Der Sachverhalt muss also in Form einer kohärenten Wissensstruktur mental präsent sein. Aufgabe des Autors ist es dann, diese Wissensstruktur durch Zerlegung in Informationseinheiten zu externalisieren und daraus einen inhaltlich-semantisch strukturierten also kohärenten Text zu formen. Dieser Text dient dem Leser als Grundlage zum Aufbau einer eigenen Wissensstruktur. Die mentale Kohärenzbildung wird dabei im Wesentlichen durch den Aufbau des Textes angeleitet, unter der Voraussetzung, dass er in der vorgegebenen Abfolge gelesen wird. Für SCHNOTZ existiert Kohärenz nicht an sich, sondern nur im Rahmen einer Kommunikation zwischen Autor und Leser (Schnotz, 1994).

Der Zusammenhang beider Kohärenz-Begriffe

Wird berücksichtigt, dass semantische Kohärenzmittel vom Autor im Hinblick auf die Zielgruppe eingesetzt werden, so sind der Kohärenzbegriff von Ballstaedt, unter Hinzunahme der semantischen Kohärenzmittel und der mentale Kohärenzbegriff von SCHNOTZ miteinander vereinbar. Solange das Verstehen eines Textes vom Wissensstand des Lesers abhängig ist, existiert Kohärenz nur als Kommunikationsprozess zwischen Autor und Leser. Im Folgenden wird unter der *Kohärenz eines Textes* die inhaltlich-semantische Kohärenz verstanden. Eine *kohärente Wissensstruktur* bezeichnet die mentale Kohärenz.

Bietet ein Text als Ganzes oder in größeren Textabschnitten Kohärenz, so spricht man auch von einer *globalen Textkohärenz*. Für eine globale Textkohärenz werden auch Strukturierungsmittel wie Aufzählungen, Nummerierungen oder Absätze und Formatierungsmittel wie Hervorhebungen eingesetzt. Formulierungen wie „erstens, zweitens“, „Wie im vorangehenden Abschnitt gezeigt“, „Jetzt...“ verknüpfen Abschnitte inhaltlich miteinander und sorgen somit ebenfalls für globale Kohärenz. *Lokale*

Textkohärenz liegt vor, wenn semantische Zusammenhänge zwischen aufeinanderfolgenden Sätzen bestehen.

2.1.2 Kohärenz elektronischer Dokumente

Eine streng hierarchisch aufgebaute Texteinheit entspricht der Struktur konventioneller Texte und gewährleistet daher einen kohärenten Textaufbau, der den Leser im Prozess der Wissensaneignung anleitet. Eine Hypertextbasis in ihrer ursprünglichen vernetzten Form verlangt jedoch die Sequenzierung in möglichst kleine Informationseinheiten, die in sich semantisch und syntaktisch abgeschlossen sein müssen, wenn dem Leser ein Zugriff in beliebiger Reihenfolge möglich sein soll. Innerhalb der Knoten ist lokale Textkohärenz möglich. Durch die Sequenzierung und Abgeschlossenheit der Knoten wird die globale Textkohärenz jedoch aufgelöst, sofern nicht eine streng hierarchische Form in der Anordnung der Knoten beibehalten wird. Solange es dem Leser freigestellt ist, welchen Knoten er als nächstes wählt, ist es dem Autor nahezu unmöglich, alle Knoten so zu gestalten, dass eine beliebige Anordnung der Knoten immer auch eine globale Textkohärenz gewährleistet.

Die Typisierung der Verknüpfungen ist ein mögliches knotenübergreifendes Kohärenzmittel. Der Leser hat dann die Möglichkeit, Zugriff auf die seinem Bedarf entsprechende Informationseinheit zu nehmen. Nach WELLER & WHALLEY stößt ein solcher flexibler Zugriff auf Informationen dort an seine Grenzen, wo das Verständnis einer Einheit das Verständnis anderer Einheiten voraussetzt. Eine fehlende Struktur erschwert es dem Leser, zu erkennen, welche Textabschnitte voraussetzungsgebunden sind. Treten Verständnisschwierigkeiten auf, so möchte sich der Leser wieder stärker vom Text leiten lassen. Bei einer fehlenden Strukturierung wird ihm dies jedoch erschwert. Der zunächst als Vorteil empfundene freie bedarfsmäßige Zugriff auf Informationen wird dann nur noch eingeschränkt genutzt und beeinträchtigt den Lernprozess (Waller & Whalley, 1987).

2.1.3 Zusammenfassung

Kohärenz ist ein Kommunikationsprozess zwischen Autor und Leser. Ein Text wird immer mit Blick auf die Zielgruppe geschrieben und entsprechende Kohärenzmittel eingesetzt. Für den Aufbau einer hierarchischen Hypertextbasis stehen dem Autor Kohärenzmittel zur Verfügung, die denen eines konventionellen, gedruckten Textes vergleichbar sind. Je mehr auf globale Kohärenzmittel verzichtet wird und je mehr die einzelnen Knoten syntaktisch und semantisch abgeschlossen sind, um so eher ist ein Aufrufen der Knoten in einer beliebigen Reihenfolge möglich. Knoten vernetzter Hypertextdokumente sollten daher syntaktisch und semantisch möglichst abgeschlossen und außerdem nicht voraussetzungsgebunden sein.

2.2 Kognitive Plausibilität

Der Begriff Kognitive Plausibilität stammt aus der Forschung zur künstlichen Intelligenz und kennzeichnet dort den Anspruch, dass die Algorithmen von Programmen der Struktur menschlicher Denkprozesse entsprechen sollen (Hammwöhner, 1993). In der Hypertext-Forschung wird dieser Begriff verwendet, wenn ein Zusammenhang zwischen der Struktur einer Hypertextbasis und der mentalen Repräsentation von Wissen hergestellt werden soll. Ein informationsvermittelndes System gilt demnach als kognitiv

Plausibel, wenn zwischen der Repräsentation im System und der Repräsentation im Rezipienten möglichst wenig Umformungsprozesse notwendig sind. Je weniger Umformungsprozesse erforderlich sind, umso besser sei die Informationsaufnahme.

Die getroffenen Plausibilitätsannahmen wurden zunächst scheinbar ohne große Einschränkungen akzeptiert, zuletzt jedoch sehr kritisch durchleuchtet. Die These zur kognitiven Plausibilität ist in drei Teilthesen zu formulieren (vergleiche Gerdes, 1997), wobei die Teilthesen zwei und drei Parallelen zu den unterschiedlichen Aspekten der mentalen Kohärenzbildung von SCHNOTZ aufweisen. These 2 greift den Externalisierungs- und These 3 den Internalisierungsaspekt auf.

THESE 1: Die vernetzte Hypertextstruktur eines Gegenstandsbereiches entspricht der vernetzten Struktur der mentalen Wissensrepräsentation über diesen Gegenstandsbereich (Analogiethese, Netzwerkmetapher).

THESE 2: Die vernetzte Hypertextstruktur ermöglicht es dem Autor, seine mentale Wissensstruktur über einen Gegenstandsbereich, die als vernetzt angenommen wird, direkt als Hypertext abzubilden, ohne den traditionellen Umweg über die Linearisierung der Informationseinheiten zu einem kohärenten Text gehen zu müssen (Externalisierungsthese).

THESE 3: Die vernetzte Hypertextstruktur ermöglicht es dem Leser, das Abbild der mentalen Wissensstruktur des Autors direkt in seine bereits vorhandene Wissensstruktur einzubauen, ohne den traditionellen Umweg über die Delinearisierung gehen zu müssen (Internalisierungsthese).

Die zweite und die dritte These beruhen auf der Gültigkeit der ersten These und sollen verdeutlichen, dass sich die Hypertext-Forscher vom Hypertext gerade für den Prozess der Wissensrepräsentation und der Wissensaneignung viel versprochen haben. Abbildung 4 veranschaulicht schematisch die drei Thesen und deren Zusammenhang. Im Folgenden werden Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen und Diskussionen zu den einzelnen Thesen aufgezeigt.

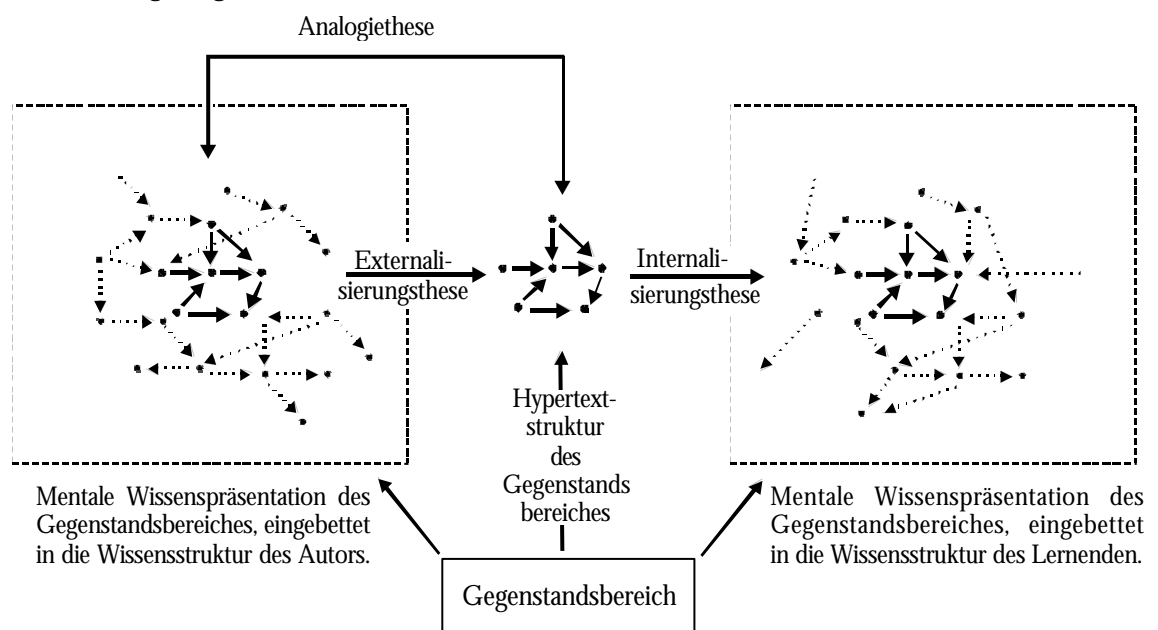


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Thesen zur kognitiven Plausibilität

2.2.1 Zur Analogiethese

Grundlage der Analogiethese sind Erkenntnisse der Kognitionspsychologie, wonach Wissen in semantischen Netzen repräsentiert ist. „Because hypertext is a node-link system based upon semantic structures, it can map fairly the structure of knowledge it is presenting.“ (Jonassen, 1988, S.13). Der Begriff *semantische Netzwerke* ist im Zusammenhang mit Erklärungsmodellen zur Repräsentation konzeptuellen Wissens verwendet worden. Konzeptuelles Wissen ist das Resultat eines Abstraktionsprozesses, bei dem von spezifischen Erfahrungen abgesehen wird. Nur die Merkmale und Kennzeichen der Erfahrungsklasse werden kategorisiert und gespeichert. Konzeptuelles Wissen ist also bedeutungsbezogenes Wissen, welches unabhängig von den Erfahrungen repräsentiert ist, die zum Aufbau des Wissens geführt haben (Anderson, 1996).

Nach QUILLIAN werden Informationen über unterschiedliche Kategorien wie beispielsweise (Tiere), (Fische), (Vögel) oder (Kanarienvögel) in einer hierarchisch angeordneten Netzwerkstruktur gespeichert (Quillian, 1966). (Tiere) ist eine Kategorie, die den Kategorien (Fische), (Vögel) und (Kanarienvögel) übergeordnet ist. (Fische) und (Vögel) sind auf derselben Hierarchieebene angeordnet, eine Verbindung dieser Kategorien besteht indirekt über die übergeordnete Kategorie (Tiere). Die Kategorie (Kanarienvögel) ist der Kategorie (Vögel) untergeordnet. Jede Kategorie verfügt über mehrere Informationen wie Merkmale oder Eigenschaften, die direkt für die betreffende Kategorie zutreffen. Jede Information einer höheren Hierarchieebene gilt auch für die darunterliegenden Ebenen. Die Eigenschaft {kann sich bewegen} für die Kategorie (Tier) gilt somit auch für die Kategorien (Vögel) und (Fische) und für die Kategorie (Kanarienvögel) (siehe Abbildung 5).

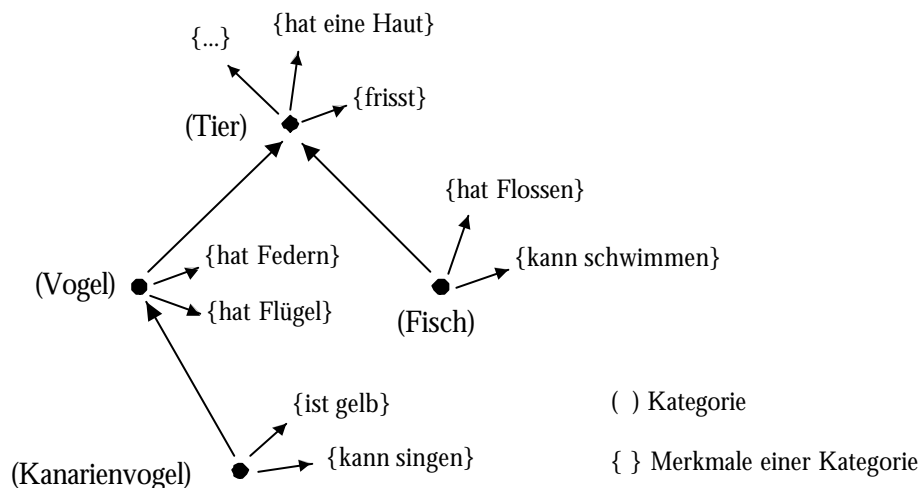


Abbildung 5: Hypothetische Gedächtnisstruktur einer Hierarchie (nach Collins & Quillian, 1969), vergl. (Anderson 1996, S. 148).

COLLINS & QUILLIAN nehmen diesen hierarchischen Aufbau aufgrund der Ergebnisse ihrer Untersuchung zum Erschließen von Informationen für die Beurteilung von Aussagen über Konzepte an. Sie stellten fest, dass für den Abruf von Informationen aus dem Gedächtnis umso mehr Zeit erforderlich war, je mehr Hierarchieebenen des angenommenen Netzwerkes für den Abruf erschlossen werden mussten. So wurde

weniger Zeit für die Bestätigung der Aussage (Kanarienvögel können singen) benötigt als für die Aussage (Kanarienvögel haben Federn), welche wiederum schneller bestätigt wurde als die Aussage (Kanarienvögel haben eine Haut) (Anderson, 1996; Collins & Quillian, 1969, S. 147 f).

Zur Strukturierung größerer Wissensgebiete können Netzwerkrepräsentationen dieser Art auch in entsprechend größere Strukturen wie Schemas und Skripts eingebaut werden, die ihrerseits wiederum untereinander vernetzt werden können (Kuhlen, 1991, S.182).

Zahlreiche weiterführende Untersuchungen lieferten zwar Hinweise, dass das hierarchische Modell des semantischen Gedächtnisses von COLLINS & QUILLIAN viel zu einfach und zu logisch ist (siehe zum Beispiel Kintsch, 1982; Loftus & Suppes, 1972; Rips, Shoben & Smith, 1973; Smith, Shoben & Rips, 1974; Wilkins, 1971), da es unter anderem nicht berücksichtigt, dass häufig verwendete Aussagen schneller verifiziert werden können als seltene Aussagen, die jedoch einer vergleichbaren Kategorie angehören. WILKINS zeigte, dass die Aussage (Ein Rotkehlchen ist ein Vogel) wesentlich schneller verifiziert werde als die Aussage (Eine Gans ist ein Vogel). (Wilkins, 1971). Das Rotkehlchen gilt nach den Normen von BATTIG & MONTAGUE im amerikanischen Sprachraum als eine häufigere Antwort für Vogel als die Gans (Battig & Montague, 1969). In alternativen Netzwerkmodellen wie dem Merkmalmodell wird dennoch angenommen, dass in einer zweiten Stufe der Verifikation einer Aussage für Schlussfolgerungen das hierarchische Modell herangezogen wird (Kintsch, 1974; Kintsch, 1982). In der ersten Stufe wird eine semantische Distanz zwischen Subjekt und Prädikat der Aussage berechnet. Bei einer sehr großen oder sehr geringen semantischen Distanz (z.B. (Eine Tasse ist ein Kaffee) oder (Eine Kuh ist ein Tier)) wird schnell eine Antwort gegeben, obwohl im ersten Beispiel die Informationen über mehrere Hierarchieebenen getrennt sind. Liegt die Distanz dazwischen, erfolgt eine weitere Verarbeitung über Schlussfolgerungen, für die sich das hierarchische Modell heranziehen lässt.

Das Modell des semantischen Netzwerkes als Repräsentation konzeptuellen Wissens schließt die Situation, in der das Wissen angeeignet wird, aus. Konzeptuelles Wissen ist demnach kontext- und situationsunabhängig. Andere konstruktivistische Lerntheorien berücksichtigen die Auswirkungen der individuellen Lernsituation auf die mentale Repräsentation von Wissen und beschreiben diese Repräsentation in komplexeren jedoch ebenfalls netzwerkartigen Modellen.

Ganz unabhängig davon, wie haltbar die Netzwerkmetapher ist und ob die kognitionspsychologische Annahme vom semantischen Netz im Kopf nicht durch komplexere Modelle erweitert oder ersetzt werden muss, ist in Frage zu stellen, ob es überhaupt eine objektive Repräsentation bestimmter Wissensbereiche gibt. FREISLER nennt mit dem *Metawissen*, dem *Vergessen*, dem *Kontext* in dem Wissensaneignung geschieht und der *Relevanz* von Wissen Eigenschaften, in denen sich ein semantisches Netz von den elektronischen Netzen grundlegend unterscheidet und erachtet es als völlig sinnlos, „derartig simple Technologien mit solch komplexen menschlichen Fähigkeiten der Gedächtnisleistung zu vergleichen.“ (Freisler, 1994, S.45):

Menschen haben ein diachronisch orientiertes Metawissen über frühere Zustände ihres Netzes. Sie wissen, was sie vorher mal nicht wussten. Elektronische Hypertexte existieren in einem Ist-Zustand. Sie sind zwar ständig veränderbar, die ursprünglichen Zustände werden damit jedoch gewöhnlich gelöscht. Menschen können außerdem vergessen. Gesicherte Daten sind jedoch über beliebig lange Zeiträume hinweg jederzeit abrufbar. Wissensaneignung steht häufig in einem Kontext. Ein Gegenstandsbereich kann in unterschiedlichen Kontexten erfahren werden und wird somit flexibel auf unterschiedliche Situationen anwendbar. Informationseinheiten im Hypertext werden

häufig nur in einem Kontext oder sogar isoliert von Kontexten angeboten. Die Lernsituation beeinflusst – wie auch andere Kontexte – die Relevanz von Wissen. Durch das Anbieten der Wissens Elemente in unterschiedlichen Kontexten in einer umfangreich gestalteten Hypertextbasis kann das Lernen in unterschiedlichen Situationen begünstigt werden. Es wird jedoch kaum möglich sein, dass das System eine Entscheidung über die Relevanz der Information für den jeweiligen Lernenden treffen kann.

2.2.2 Zur Externalisierungsthese

Es ist nun schwer, entscheidende Argumente für die Externalisierungs- oder die Internalisierungsthese zu finden, beruhen sie doch auf der wenig überzeugenden Analogiethese. Es gibt jedoch Argumente, die nicht zwingend einer Bestätigung der Analogiethese bedürfen.

Wird davon ausgegangen, dass das zu kommunizierende Wissen beim Autor netzwerkartig in Form komplexer Wissensstrukturen vorliegt, so unterliegt dem Autor im Prozess des Schreibens die Aufgabe der Entscheidung über die Anordnung der einzelnen Informationen zu einem kohärenten Ganzen: „Der Autor hat eine Wissensstruktur im Kopf. Man kann sich seine Wissensstruktur anschaulich als ein vielfältig verknüpftes Netz vorstellen. (...) Das Netzwerk wird in eine Sequenz von Sätzen überführt, wobei die Verbindungen im Netz nicht verloren gehen.“ (Ballstaedt, Mandl, Schnotz & Tergan, 1981, S.170). Das konventionelle und für die Wissensvermittlung immer noch dominierende lineare Textdokument erfordert Entscheidungen über eine Abfolge der Informationen: Welches Argument wird als erstes angeführt, welches als zweites? Womit wird der Text beendet? usw. Bei einer vernetzten Anordnung würde dem Autor dieser Entscheidungsprozess erspart bleiben: „The author has a particular chunk of information he wishes to communicate to the reader. This information exist in the author's head as a network of related points. (...) For a hypertext the author is not obliged to cut all the network links to form a strict hierarchy, and then lay out the hierarchy in a linear form. Instead, the information can be put into the hypertext in the same structure as it is in the author's head.“ (Baird & Percival, 1989, S. 81, s.a. Streitz, 1990). Es ist jedoch genauso fraglich, ob es für den Autor einfacher ist, einen vernetzten Text zu schreiben als einen linearen Text. Das Erstellen syntaktisch und semantisch abgeschlossener sowie voraussetzungsfreier Informationseinheiten und das Anbieten dieser Informationen in einem sinnvoll aufgebauten Netzwerk erfordert ein hohes Maß „kompositorischer“ Fähigkeiten. Während sich das Schreiben linearer Texte über Jahrhunderte entwickelt hat, ist für das Komponieren von Hypertextbasen auf einen Erfahrungsschatz von nur wenigen Jahrzehnten zurückzugreifen. Die individuelle Wissensrepräsentation des Autors ist außerdem noch kein Garant dafür, dass Lernende dieses Wissen in der gleichen Form aufnehmen können. Der Autor hat also die Aufgabe, die Informationseinheiten so zu repräsentieren, dass sie nicht an die Voraussetzungen seiner individuellen Lernsituation gebunden sind, was von ihm mit Sicherheit eine große kognitive Leistung erfordert. Darüber hinaus muss gefragt werden, ob durch ein Hypertextsystem alle Relationen adäquat ausgedrückt werden können, die die Elemente einer mental repräsentierten Wissensstruktur zueinander in Beziehung setzen und ihr somit Kohärenz verleihen.

2.2.3 Zur Internalisierungsthese

Das Zitat von BALLSTAEDT ET AL. aus dem Abschnitt zur Externalisierungsthese soll hier weitergeführt werden: „(...) Die Aufgabe des Lesers besteht nun darin, aus der linearen Sequenz im Text wieder eine netzartige Wissensstruktur in seinem Kopf zu konstruieren.“ (Ballstaedt, Mandl, Schnotz & Tergan, 1981, S.170). BALLSTAEDT ET AL.

formulieren als allgemeines Prinzip, dass die Textinformationen so zu sequenzieren sind, dass der Umstrukturierungsaufwand möglichst gering gehalten und der erforderliche Integrationsprozess somit erleichtert wird. Viele Fürsprecher des Hypertextsystems sehen hierfür in der Struktur des Hypertextes Stärken für das Lernen (vergl. Gloor & Streit, 1990; Jonassen, 1986; Jonassen, 1988; Streit, 1990). Bisher ist es jedoch nicht erwiesen, dass eine extern gegebene Informationsstruktur direkt in eine interne, mental repräsentierte Wissensstruktur überführt werden kann. Wird der Lernvorgang mithilfe eines Hypertextsystems näher betrachtet, so ist der Schluss sogar zulässig, dass die Struktur für den Leser zunächst keine Bedeutung besitzt: Das Lesen ist ein zeitabhängiger sequentieller Prozess. Auch die Knoten einer Hypertextbasis werden nacheinander gelesen. Die Reihenfolge wird im Gegensatz zu linearen Texten allerdings vom Leser bestimmt. Es können jedoch nie mehrere Knoten oder gar Teile des Netzwerkes zeitgleich verarbeitet werden. Solange sich der Leser also kein Bild von der Gesamtheit der Informationseinheiten mit ihren Verknüpfungen macht oder machen kann, wird er sich ihrer strukturellen Anordnung auch nicht bewusst. Nicht die strukturellen Aspekte des Textes allein stehen beim Lernen im Vordergrund. Der Prozess der Wissensaufnahme darf nicht vernachlässigt werden.

Anmerkung: Eine oben dargestellte Sequenzierung verläuft nicht immer gleich. Je nach Zielen und Bedürfnissen wählt jeder Leser für sich einen eigenen Lernpfad. Bei einem zweiten Durchgang haben sich eventuell die Ziele und Bedürfnisse verändert, so dass derselbe Leser nun ebenfalls einen andern Lernpfad wählt. Es wird hier die treffende Terminologie von GERDES aufgegriffen, um diese Lesevorgänge zu beschreiben: Das Lesen vernetzter Hypertexte führt zu intraindividuellen Lernpfaden – bei jedem Lesevorgang wird ein anderer Weg genommen – und zu interindividuellen Lernpfaden – jeder Leser geht einen anderen, seinen Bedürfnissen und Zielen entsprechenden Weg (vergl. Gerdes, 1997, S. 61f).

2.2.4 Zusammenfassung

Nicht nur diese ausführliche Diskussion sondern auch Diskussionen an andern Orten und teilweise widersprüchliche Ergebnisse von Untersuchungen zur Wirksamkeit von Hypertextsystemen (siehe Freisler, 1994; Hasebrook, 1995a; Kuhlen, 1991; Schulmeister, 1997; Tergan, 1997) zeigen, dass in der Philosophie des Hypertextes Potentiale für das Lernen mit diesen Systemen stecken, die bisher jedoch besonders im Hinblick auf die lernpsychologischen Erkenntnisse noch nicht ausreichend erforscht wurden. Zu schnell wurden Pauschalannahmen getroffen, die allein auf einer strukturellen Ähnlichkeit zwischen dem System und eines *Modells* zur mentalen Repräsentation von Wissen basieren. Der Lernende selbst ist nach den kognitiven Lerntheorien als Individuum zu betrachten, das sich aktiv und selbstgesteuert mit seiner Lernumgebung auseinandersetzt. Er steht dabei neuen Lernsituationen nie unvoreingenommen gegenüber. Einstellungen, Ziele, Vor- und Hintergrundwissen, Erfahrungen oder Lernstrategien sind Einflussgrößen des Lernerfolgs. Diese Erkenntnisse stehen nicht direkt im Widerspruch zu den getroffenen Annahmen. Es ist jedoch notwendig, bei der Gestaltung eines Hypertextsystems die erkannten Einflussgrößen des Lernens zu beachten. Im Mittelpunkt von Untersuchungen und Hypertextentwicklungen sollte also nicht die Struktur allein stehen. Die Strukturvielfalt der Hypertextsysteme sollte für das Erstellen einer der Zielgruppe entsprechenden Lernumgebung genutzt werden. Damit ergibt sich aus der Diskussion zu den Annahmen der kognitiven Plausibilität eine Begründung für vernetzte Hypertextsysteme: Das Lesen von Hypertexten führt zu intraindividuellen und zu interindividuellen Lernpfaden, was somit das selbstgesteuerte Lernen unterstützen kann.

2.3 Lernprobleme bei der Nutzung von Hypertext

Untersuchungen zur Lernwirksamkeit von Hypertextsystemen haben unter anderem Lernschwierigkeiten im Umgang mit den Systemen festgestellt. CONKLIN fasst diese in einer Analyse empirischer Befunde unter den Begriffen *lost in hyperspace* und *cognitive overload* zusammen. Sie betreffen die Gefahr der Desorientierung beim Lesen eines vernetzten Textes sowie die kognitive Zusatzbelastung, die vernetzte Texte aufgrund ihrer besonderen Struktur für Lernende haben können (Conklin, 1987). Beide Phänomene werden größtenteils auf strukturelle Merkmale von Hypertext-Dokumenten zurückgeführt. Danach haben sich zahlreiche Untersuchungen speziell mit der Gestaltung von Hypertextsystemen beschäftigt. Im Folgenden sollen die Lernschwierigkeiten und ihre Ursachen aufgeführt werden, um daraus Konsequenzen für die Gestaltung eines Systems abzuleiten.

2.3.1 Problem der Desorientierung (lost in hyperspace)

Als eine herausragende Eigenschaft der Hypermediasysteme wird die Freiheit des Benutzers in Auswahl und Reihenfolge der Informationseinheiten angesehen. Je nach Umfang des Systems kann eine derartige Entscheidungsfreiheit jedoch auch dazu führen, dass der Benutzer die Übersicht über die Informationen verliert. Fragen wie „Welche Seiten brauche ich nun?“, „Welche Seiten habe ich bereits gesehen?“ oder „Wo befinde ich mich überhaupt?“ sind treffend für den Beginn einer Desorientierung. CONKLIN prägte für dieses Phänomen den Begriff *lost in hyperspace* und beschreibt damit die Unsicherheit des Benutzers über seinen momentanen Standort im Informationsnetz und die Unsicherheit über den zu einem bestimmten Zielknoten einzuschlagenden Weg (Conklin, 1987). Hier lässt sich auch die Unsicherheit über die Vollständigkeit der Informationsaufnahme als einen weiteren Aspekt der Desorientierung hinzufügen. Ursachen dafür können einerseits struktureller Art, andererseits jedoch auch konzeptueller oder semantischer Art sein (Blumstengel, 1998; Tergan, 1997).

Strukturelle Ursachen äußern sich in Fragestellungen wie „Wo bin ich? Woher komme ich? Auf welchem Weg bin ich hierher gelangt? War ich hier schon einmal? Welche Alternativen habe ich von diesem Punkt aus? Gibt es mehr Informationen zum aktuellen Thema? Wie komme ich zu einem Punkt, der eine Übersicht bietet?“ oder „Wie finde ich eine bestimmte Information wieder?“. Durch derartige Fragestellungen wird deutlich, dass der Benutzer die Übersicht über die Organisationsstruktur der Hypertextbasis verloren hat oder dass er generell Schwierigkeiten hat, sich eine Vorstellung davon zu machen. Die Probleme wachsen mit zunehmendem Grad der Unstrukturiertheit und mit steigender Komplexität des Systems.

Konzeptuelle Desorientierung entsteht, „wenn Hypertext/Hypermedia-Nutzer nicht in der Lage sind, die semantische Bedeutung der aufgesuchten Informationen in die eigene Wissensstruktur zu integrieren und eine kohärente Wissensrepräsentation aufzubauen.“ (Tergan, 1997, S.133). Der Leser kann zum Beispiel den inhaltlichen Zusammenhang der gerade aufgenommenen Information mit den zuvor gelesenen nicht herstellen oder weiß nicht, auf welchen der ihm angebotenen Knoten er als nächstes Zugriff nehmen soll. Ursachen für eine konzeptuelle Desorientierung können unzureichendes Vorwissen sein oder die Wahl eines ungünstigen Einstiegspunktes bzw. Lernpfades. Ungünstige Einstiege oder Lernpfade führen besonders dann zu einer Desorientierung, wenn sie voraussetzungsgebunden sind und diese Voraussetzungen bisher vom Lernenden noch nicht erarbeitet wurden.

Als eine Alternative zum *lost in hyperspace* wird auch der *Serendipity-Effekt* gesehen. Dieser Effekt beschreibt das Abweichen des Lernenden von seinem ursprünglichen Ziel, wenn er auf der Suche nach relevanten Informationen auf andere interessante Informationen stößt. Diese nehmen ihn dann so in Anspruch, dass das ursprüngliche Ziel für ihn irrelevant oder vergessen wird (Kuhlen, 1991). Dieser Effekt unterscheidet sich insofern vom *lost in hyperspace*, als dass der Leser zwar inhaltlich von seinem Ziel abgelenkt wird, sich jedoch immer noch in einem Prozess der Informationsaufnahme, also auch in einem Lernprozess, befindet. Das Gefühl des Verlorengehens tritt dagegen auf, wenn für den Lernenden nach einer Kette von aufgerufenen Seiten der Anreiz für das Aufrufen weiterer Seiten stark nachgelassen hat. KUHLEN sieht in dem *Serendipity-Effekt* Kennzeichen kreativen Informationsverhaltens, auch wenn „die Grenzen zum unproduktiv chaotischen Verhalten fließend sind“ (Kuhlen, 1991, S. 131).

2.3.2 Problem der kognitiven Überlastung (cognitive overload)

Die Vielfalt der Entscheidungsmöglichkeiten des Benutzers in einem Hypertextdokument kann zu einem weiteren Problem führen: Nach dem Lesen eines Knotens ist immer die Entscheidung für eine neue Alternative zu treffen. Die Alternativen, von denen der Leser sich ebenfalls wichtige Informationen verspricht, muss der Leser im Gedächtnis behalten, um sie zu einem späteren Zeitpunkt aufrufen zu können. Wird die relativ geringe Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses in Betracht gezogen, so bedeutet dies eine nicht unerhebliche kognitive Zusatzbelastung. Damit stehen weniger Ressourcen für den Verstehensprozess zur Verfügung. *Cognitive overload* bezeichnet jede kognitive Anstrengung, die über die eigentliche Leseanstrengung hinausgeht. Damit sind auch die Begriffe *Desorientierung* und *cognitive overload* voneinander nicht zu trennen: Jede konzeptuelle oder strukturelle Desorientierung belastet den Verstehensprozess im Leseprozess zusätzlich. Ursachen einer kognitiven Überlastung sind also auch ein unkomfortables Navigationssystem oder sie sind semantischer Art, wenn dem Text lokale oder globale Kohärenz fehlt.

2.3.3 Gestaltungsmöglichkeiten zur Reduzierung von Lernschwierigkeiten

Orientierungsprobleme werden in der Hypertext-Forschung primär als Navigationsprobleme interpretiert. Als Lösungsmöglichkeiten werden grafische Übersichten, vorgeschlagene Pfade, vernetzte Sichten (web views), geführte Untersuchungen (guided tours) oder Suchfunktionen eingesetzt (Blumstengel, 1998; Burke, Etnier, & Sullivan, 1998; Kuhlen, 1991; Möller & Müller-Kalthoff, 2000; Nielsen, 1990; Paechter & Weidemann, 1997). In einem Vergleich von Untersuchungen über die Wirksamkeit strukturierter und textueller Navigationsübersichten stellten CHEN & RADA heraus, dass die strukturierten Navigationshilfen den rein textuellen überlegen sind (Chen & Rada, 1996). Beasley & Waugh präzisieren, dass besonders hierarchisch strukturierte Navigationshilfen zu einer reduzierten Wahrnehmung der Desorientierung zu führen scheinen (Beasley & Waugh, 1995). Andere Untersuchungen ergaben im Gegenteil, dass durch bereitgestellte Orientierungs- und Navigationsmöglichkeiten die bestehenden Probleme noch verstärkt werden können (Tergan, 1997). Der Hauptgrund wird in der Verunsicherung gesehen, die bei einem Angebot mehrerer Navigationsmöglichkeiten auftreten können. Zusätzlich entscheiden sich die meisten Leser für vorgegebene Lernpfade und nutzen so den Vorteil des Systems nur eingeschränkt. Die Anzahl möglicher Hilfen sollte daher auf ein notwendiges Maß an funktionalen Optionen beschränkt werden. Graphische Strukturierungshilfen gewährleisten eine Reduzierung der kognitiven Zusatzbelastung bei der Wissensaneignung durch Lernen. Fehlt der

Hypertextbasis jedoch eine Vorstrukturierung oder globale Textkohärenz, so sind die dadurch hervorgerufenen Probleme der strukturellen Desorientierung auch durch gute Hilfen schwer zu bewältigen. Ein wichtiges Element erfolgreichen Lernens ist das Ausmaß, in dem es dem Lernenden gelingt, das Lernmaterial zu organisieren und Informationseinheiten semantisch miteinander zu verknüpfen. Das konventionelle Gestaltungsmittel der Linearisierung einzelner Informationseinheiten nimmt dem Lernenden einen Großteil an kognitiver Arbeit ab. Die Hypertext-Idee des flexiblen Informationszugriffes kann in dieser Form schwer realisiert werden, da ein linear aufgebaute Text gewöhnlich das Verfolgen seiner Struktur verlangt und nur so globale Textkohärenz gewährleisten kann.

Ein in dem Test-Kapitel der Lernumgebung ChemNet realisiertes Gestaltungsmittel ist das Anbieten der Informationseinheiten in einer linear aufgebauten Grundstruktur: Eine Inhaltsübersicht stellt die einzelnen Themenschwerpunkte in einer linearen Abfolge dar. Hinter jedem Themenschwerpunkt verbergen sich untereinander vernetzte Knoten auf die der Leser einen flexiblen Zugriff hat. Die Knoten sind also in einem vernetzten System angelegt und entsprechend der Forderung für vernetzte Dokumente inhaltlich abgeschlossen. Dieses System ist daher als vernetzte Hypertextbasis anzusehen. Die lineare Grundstruktur bietet darüber hinaus ein globales Kohärenzmittel, welches es dem Lernenden erlaubt, sich bei einer auftretenden Desorientierung über seinen Standort in der Kapitelübersicht zu informieren. In Abschnitt 3.2.2 wird diese Struktur ausführlicher dargestellt und gegen eine lineare Struktur abgegrenzt.

In Abschnitt 2.5 zum Situationsmodell von VAN DIJK & KINTSCH werden im Zusammenhang mit der Beschreibung der Einflussgrößen auf das Lernen mit Hypertext die beschriebenen Lernschwierigkeiten erneut aufgegriffen und auf der Basis des Situationsmodells diskutiert.

2.4 Zielorientierung beim Lesen elektronischer Texte

Eine vernetzte Textstruktur bietet dem Leser eine Vielzahl möglicher Lernpfade. Damit soll das selbstgesteuerte Lernen genauso ermöglicht werden, wie ein Stillen individueller Informationsbedürfnisse. Das Einschlagen eines individuellen Pfades wird maßgeblich von der Absicht mitbestimmt, die dem Leseprozess unterliegt. Als Analogie wird die Orientierung in einer neuen Umgebung aufgegriffen: Städte bieten durch markante Orte und ihre Straßensysteme dem Hypertext vergleichbare Strukturen. Beim Erkunden einer Stadt nutzt ein Besucher konkrete Hinweise, um zu einem bestimmten Ziel zu gelangen. Einen belebten Platz vermute er zum Beispiel in einer belebten Umgebung. Hat der Besucher kein bestimmtes Ziel, so lässt er sich von den gegenwärtigen Eindrücken leiten und wählt einen ihm interessant erscheinenden Weg. Einen Wegweiser im Sinne einer Sightseeing Tour würde er sehr begrüßen. In Abschnitt 2.4.1 wird das Lernen mit elektronischen Dokumenten als zielorientierter Prozess beschrieben. Der gewählte Begriff der Zielorientierung wird in 2.4.2 von dem motivationspsychologischen Begriff der Zielorientierung abgegrenzt.

2.4.1 Wissensvermittlung als Prozess zielorientierter Kooperation

SCHNOTZ sieht in der Wissensvermittlung mit Texten einen Prozess, bei dem ein Autor in der Funktion des Lehrers dem Lesenden in der Funktion als Lernenden durch einen geeigneten Text Informationen über einen Sachverhalt vermittelt, die dem Lernenden zum Aufbau einer kohärenten Wissensstruktur verhelfen soll (vergl. Schnotz, 1994; Schnotz & Zink, 1997). Bei diesem Prozess bedarf es das Treffen instruktorischer

Entscheidungen in einer Kooperation zwischen dem Lehrenden und dem Lernenden. Der Autor fällt zum Beispiel Entscheidungen über die Textform (elektronischer Text oder gedruckter Text? vernetzte oder lineare Anordnung der Textbausteine? usw.). Abhängig von diesen Entscheidungen sind dann weitere hinsichtlich der Auswahl und Sequenzierung von Informationen vom Autor oder vom Leser vorzunehmen. Dabei ist es nach SIMONS für den Lernerfolg nicht so wesentlich, wer diese Entscheidungen fällt. Es ist wichtig, dass sie getroffen werden und dass es sich dabei um adäquate Entscheidungen handelt (Simons, 1992). SCHNOTZ & ZINK betonen, dass gerade für vernetzte und lineare Texte hinsichtlich der instruktionalen Entscheidungen ein großer Unterschied bestehe (Schnotz & Zink, 1997).

Während ein linearer Text primär für eine systematische sequentielle Verarbeitung konzipiert ist, die es dem Leser gestattet, sich durch einen didaktisch wohldurchdachten Textaufbau zum systematischen Aufbau einer kohärenten Wissensstruktur anleiten zu lassen, bietet ein vernetzter Text, je nach Verknüpfungsstruktur des betreffenden Netzwerkes, unterschiedliche Möglichkeiten des Vorgehens. Die instruktionale Entscheidung betreffend der Auswahl und Sequenzierung von Informationen werden bei einer linearen Textform im Wesentlichen vom Autor getroffen. Überschriften und andere Hervorhebungen oder ein Index bieten dem Leser zwar die Möglichkeit einer eigenen Auswahl oder Sequenzierung der Information. Dieser Vorgang erscheint bei linearen Texten jedoch relativ aufwendig und unökonomisch (Waller & Whalley, 1987) da die Informationen wieder aus dem kohärenten Gefüge isoliert werden müssen. Durch die Möglichkeit der intra- und interindividuellen Gestaltung von Lernpfaden bei vernetzten Texten verbleibt ein Teil der instruktionalen Entscheidungen bezüglich Auswahl und Sequenzierung von Informationen beim Lernenden. Der andere Teil ist vom Autor zu bewältigen, da die einzelnen Textsegmente so vorzustrukturieren sind, dass sie unabhängig von dem gewählten Lernweg verständlich bleiben. Gelingt dies nicht, so besteht die Gefahr, dass ungünstige Lernpfade gewählt werden. Diese zeichnen sich durch einen gering kontinuierlichen Sinnfluss aus, die den Aufbau kohärenter Wissensstrukturen erschweren (Foltz, 1996; Freisler, 1994; Hammwöhner, 1993; Kuhlen, 1991; Schnotz & Zink, 1997).

Die Aufgabe für den Lernenden, selbst Entscheidungen über die Auswahl und Sequenzierung der Inhalte zu treffen, erfordert von ihm „eine hinreichend klare Vorstellung des anzueignenden Wissens, um eigene Wissenslücken zu erkennen“ (Schnotz & Zink, 1997, S. 97). Während der Leser eines linearen Textes sich ohne eigene Zielorientierung der Sequenzierung des Autors anvertrauen kann, sind beim Lesen eines vernetzten Textes vom Lernenden Ziele zu spezifizieren. Darüber hinaus müssen die für das Erreichen des Ziels notwendigen Informationen gesucht und als relevant erkannt werden.

2.4.2 Abgrenzung des Begriffes Zielorientierung von dem Begriff der Motivationspsychologie

Der Begriff der Zielorientierung von SCHNOTZ & ZINK ist von dem gleichnamigen Konstrukt der Motivationspsychologie abzugrenzen. Dort wird die Orientierung auf Ziele als ein habituelles oder dispositionales Personmerkmal aufgefasst. Als habituelles Merkmal wird die Orientierung an Zielen kategorisiert, wenn eine Person ihr Verhalten über einen längeren Zeitraum auf ein Ziel hin ausrichtet. Als dispositionales Merkmal bedeutet Zielorientierung, dass eine Person Ziele relativ dauerhaft in ihrem kognitiven System repräsentiert hat. Dispositionale Zielvorstellungen haben eine Wertigkeit. Eine Person erachtet die intendierten Zielzustände als anstrebenswert und subjektiv wertvoll

(vergl. Köller & Schiefele, 1997). Diese Art von Zielorientierung ist dem Lernkontext und der Situation, in der sich ein Lernender gerade befindet, übergeordnet.

In der vorliegenden Arbeit werden Zielorientierungen als situationsspezifische und kontextabhängige Ziele angesehen. Eine bestimmte Zielorientierung liegt vor, wenn der Lernende ein Medium nutzt, mit der Absicht, eine Frage oder ein Problem zu lösen, einen Begriff zu lernen oder Hilfestellung für eine Aufgabe zu bekommen. Der Lernende ist davon überzeugt, dass er die gesuchten Informationen in dem betreffenden Medium findet. Eine unbestimmte Zielorientierung liegt vor, wenn der Lernende ein Medium ohne bestimmte Zielorientierung nutzt. Der Lernende hat die Absicht, sich generell über ein oder das Thema, das ihm das Medium anbietet, zu informieren. Eine Motivation für diese Absicht kann intrinsisch sein, durch ein Interesse an dem Thema oder das Erkennen einer Wissenslücke, die es aufzufüllen gilt, ohne dass Informationsziele hinreichend genau spezifiziert werden können. Oder sie ist extrinsisch, wenn eine Instruktion einer Lehrenden Autorität vorliegt, sich über ein betreffendes Thema zu informieren, um für eine Lerneinheit oder eine Prüfung vorbereitet zu sein.

2.5 Das Situationsmodell von van Dijk & Kintsch zur Begründung von Einflussgrößen auf das Lernen mit Hypertext

In diesem Abschnitt wird das durch empirische Studien gut belegte theoretische Modell zum Textverstehen von VAN DIJK & KINTSCH vorgestellt und anhand dieses Modells begründet, warum Größen wie Vorwissen, Textkohärenz, Lesefertigkeiten und -strategien einen Einfluss auf das Lernen mit linearen und vernetzten Textstrukturen haben.

2.5.1 Das Situationsmodell

Der Alltag ist geprägt durch das Vermitteln sprachlicher Informationen. Diese Informationen werden zwar selten in wörtlicher Form im Gedächtnis abgespeichert, der Gehalt der Information kann jedoch selbst nach einer längeren Zeit wiedergegeben werden. Auch bei Verstehens- und Lernprozessen durch das Lesen von Texten wird in der Kognitionspsychologie davon ausgegangen, dass die Textinformationen nicht in der genauen Reihenfolge im Gedächtnis abgespeichert werden. Es werden kleinste Informationseinheiten, sogenannte Propositionen angenommen.

2.5.1.1 Das Propositionsmodell

Propositionen bestehen aus mindestens zwei Elementen: Relationen – Verben, Adjektive oder Konjunktionen – und Argumente – Subjekte oder Objekte. KINTSCH nennt als Beispiel für den Satz „The Greeks loved beautiful art.“ die Umsetzung des Satzinhaltes in die beiden Proposition (LOVE, GREEK, ART) und (BEAUTIFUL, ART) (Kintsch, 1982). Die erste Proposition besteht aus den beiden Argumenten GREEKS und ART sowie aus der zweistelligen Relation LOVE. Die zweite Proposition enthält ein Argument (ART) und eine einstellige Relation (BEAUTIFUL). Durch die Großschreibweise soll verdeutlicht werden, dass nicht die Worte selbst als Elemente der Propositionen abgespeichert werden, sondern die dahinter liegenden Konzepte bzw. Bedeutungen (Schiefele, 1996). Nach dem Propositionsmodell von KINTSCH wird die Bedeutungsstruktur eines Textes als Liste von Propositionen dargestellt (Kintsch, 1974). KINTSCH & VAN DIJK nennen diese Liste Textbasis und nehmen ihre Konstruktion als

ersten Lernprozess an. Eine solche Basis enthält nur die Informationen des Textes und ist ausreichend zur Wiedergabe des Inhalts.

In der modernen Textforschung herrscht Einigkeit darüber, dass Textverständnis und Textlernen konstruktiv durch weitere vom Lernenden aktiv zu vollziehende Schritte geschieht (Kintsch & van Dijk, 1978; Mandl, Ballstaedt, Schnotz & Tergan, 1980; Schiefele, 1996; van Dijk & Kintsch, 1983). Dafür spricht allein die Tatsache, dass nicht alle Informationen eines Textes im Gedächtnis abgespeichert werden. Der Leser behält nur die für ihn wichtigsten Gedanken, wobei diese Verdichtung der Textbasis durch sein Vorwissen beeinflusst wird. KINTSCH & VAN DIJK beschreiben in ihrem Modell zum Textverständnis drei mentale Komponenten, die beim Leser im Verlauf des Textlernens simultan vorhanden sind: Eine Abbildung der Textoberfläche (wörtliche Repräsentation), die Verarbeitung der Bedeutung der Textoberfläche (propositionale Repräsentation, Textbasis) und die generelle Bedeutung dessen, was in dem Text beschrieben wird, unter Beachtung des Vorwissens des Lesers (situative Repräsentation, Situationsmodell) (Foltz, 1996; Schiefele, 1996).

2.5.1.2 Wörtliche Repräsentation

Das Abbilden der Textoberfläche geschieht durch Buchstaben und Worterkennung, eventuell auch durch syntaktische Verarbeitung einzelner Wörter (Erkennen der Wortfunktionen – beispielsweise Subjekt oder Artikel – und eventueller Interrelationen). Ist dem Leser eine solche Textoberfläche repräsentiert, geht sie dennoch sehr schnell wieder verloren (Bransford & Franks, 1971), sofern keine weiteren Verarbeitungsschritte der Informationen erfolgen. Wird zum Beispiel ein Text gelesen, der in einer dem Leser völlig fremden Sprache geschrieben wurde, so kann der Leser dem Text keine weitere Bedeutung als die bloße Textoberfläche zumessen. Er wird den Text sehr schnell wieder vergessen.

2.5.1.3 Propositionale Repräsentation

Erfolgt jedoch eine semantische Verarbeitung einer Information aus der Textoberfläche, so wird diese Information als Proposition in die Textbasis aufgenommen. Diese propositionale Repräsentation entspricht der hinter der Textoberfläche liegenden Bedeutung des Textes. Die Propositionen werden untereinander verknüpft. Dies geschieht zum Beispiel, wenn zwei Propositionen semantisch verwandt sind oder wenn sie sogar gemeinsame Argumente haben, wie im obigen Beispiel die beiden Propositionen (LOVE, GREEK, ART) und (BEAUTIFUL, ART). Die Anzahl und die Art der Verknüpfungen sind ein Merkmal für die Kohärenz des Textes. Je mehr Verknüpfungen zwischen Propositionen eines Textes bestehen, um so kohärenter ist der Text.

2.5.1.4 Situative Repräsentation

Unter der situativen Repräsentation verstehen VAN DIJK & KINTSCH nun das Abbild der im Text beschriebenen Sachverhalte und Ereignisse, verbunden mit dem Vorwissen des Lesers. Hier wird nicht mehr eine Repräsentation des Textes aufgebaut, sondern auch Repräsentationen dessen, was der Text beschreibt. Mit den gebildeten Propositionen können auch Analogien oder bildhafte Bestandteile verknüpft sein.

Die Komponenten wörtliche, propositionale und situative Repräsentation beschreiben, wie der Text beim Leser mental temporär vorliegt. Weitere Prozesse durch Differenzierung in verschiedenen Bedeutungsebenen – der Mikro- und Makrostruktur – und die prozessbeschreibenden Inferenzen ergeben ein Modell für die Textverarbeitung und das Speichern von Textinformationen im Langzeitgedächtnis. Bei der aktiven

Wiedergabe von Textinhalten finden außerdem konstruktive bzw. rekonstruktive Prozesse statt, die einen nicht unwesentlichen Einfluss auf das Verstehen haben (Kintsch, 1982). In der dieser Arbeit zugrundeliegenden Untersuchung werden jedoch keine Reproduktionen verlangt, so dass hier nicht weiter darauf eingegangen wird.

2.5.1.5 Mikro- und Makrostrukturen

Wird ein Text in seine propositionale Struktur zerlegt, ist das Ergebnis seine *Mikrostruktur*. Das Arbeitsgedächtnis verfügt jedoch über beschränkte Kapazitäten, so dass nur eine gewisse Anzahl von Propositionen abgespeichert werden können. Es werden die Propositionen weggelassen, die für das Verständnis anderer Propositionen nicht notwendig sind oder es werden mehrere Propositionen zu einer verallgemeinert. Eine so entstehende reduzierte Struktur bezeichnen VAN DIJK & KINTSCH als *Makrostruktur* (Kintsch & van Dijk, 1978; van Dijk & Kintsch, 1983). Semantische Kohärenz kann in beiden Strukturen repräsentiert sein, sowohl in der Mikro- als in der Makrostruktur des Textes.

Wegen der begrenzten Kapazität des Gedächtnisses nehmen KINTSCH & VAN DIJK an, dass ein Text in mehreren Zyklen verarbeitet wird, wobei die Propositionen hinsichtlich ihrer Kohärenz geprüft und hierarchisch geordnet werden: Propositionen einer hohen Hierarchieebene werden als übergeordnete Propositionen repräsentiert. Diese sind mit Propositionen einer niedrigeren untergeordneten Ebene verbunden. Beim Erinnern von Propositionen werden häufiger diejenigen erinnert, die aus den höheren Hierarchieebenen stammen oder die zuletzt dem Text entnommen wurden (Kintsch & Keenan, 1973).

2.5.1.6 Inferentielle Verarbeitung

Die Prozesse, deren Ergebnisse die Mikro- und die Makrostruktur sind, werden in der modernen Textforschung auch als *Inferentielle Verarbeitung* bezeichnet (Schiefele, 1996). Inferenzen sind Schlussfolgerungen, die durch den Text ausgelöst werden. Das Bilden der Mikrostruktur wird hauptsächlich durch *intendierte* Inferenzen unterstützt: Sie sind vom Autor beabsichtigt und bewirken, dass der Leser die Informationen ergänzt, „von denen der Textautor annehmen konnte, daß sie jedem Leser prinzipiell bekannt sind.“ (Schiefele, 1996, S. 101). Durch intendierte Inferenzen erhält die Textoberfläche die dahinter liegende Bedeutung und werden Verknüpfungen zwischen Propositionen gebildet. Die Mikrostruktur eines Textes umfasst also die Textbasis und die intendierten Inferenzen. Die Makrostruktur umfasst die aufgrund *reduktiver* Inferenzen gebildeten Makropropositionen. Eine dritte Art der Verarbeitung wird durch *elaborative* Inferenzen beschrieben. Elaborative Schlussfolgerungen gehen über die Textinhalte hinaus. Sie verbinden die Textinformationen mit vorhandenen Wissensbeständen. Diese Inferenzen sind für das Textverständnis nicht erforderlich, bewirken aber als kreativer Anteil des Lesens, dass jeder Lesende je nach Vorwissen den Text anders verarbeitet und versteht. Außerdem spricht man ihnen zu, dass durch sie die im Text enthaltenen Informationen im Gedächtnis des Lesers stärker verankert werden. Vor allem die elaborativen Inferenzen sind für das Bilden der situativen Repräsentation von Bedeutung.

Durch alle Arten der Inferenzen entsteht aus der Textbasis das Situationsmodell, welches schon zu Beginn des Verstehensprozesses entwickelt und dann während des Textlesens fortlaufend revidiert wird. „Entscheidend ist dabei die Annahme, daß das Situationsmodell eine wesentliche Funktion bei der Steuerung des Verstehensprozesses einnimmt, indem es z.B. zu Erwartungen über die noch folgenden Textteile führt und dadurch das Verstehen erleichtert.“ (Schiefele, 1996, S. 107).

2.5.2 Einflussgrößen für das Verstehen von Hypertext

Hypertext unterscheidet sich von konventionellen Texten durch seine Flexibilität in der Informationsauswahl. Insbesondere vernetzte Hypertexte sollen das Finden relevanter Informationen vereinfachen. Das wesentliche Ziel bleibt jedoch beiden Textformen, ob vernetzt oder linear, gemeinsam: Es soll Wissen vermittelt werden. Die Forschung zum Textverständnis erkennt verschiedene Faktoren wie die *Kohärenz eines Textes*, das *Vorwissen des Lernenden*, *kognitive Fähigkeiten* oder *Lesestrategien des Lernenden* (Foltz, 1996) als Einflussgrößen für das Textverständnis konventioneller Texte an. SCHNOTZ & ZINK erachteten bereits die *Zielorientierung* als eine Größe mit moderierendem Effekt für das Lesen vernetzter Texte (Schnotz & Zink, 1997). Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, inwiefern die anderen Faktoren auch das Verständnis vernetzter Hypertexte beeinflussen. Als Grundlage dafür soll das Situationsmodell dienen.

2.5.2.1 Kohärenz im Hypertext

Mentale Kohärenz entsteht beim Lesen eines Hypertextes, wenn Propositionen in die Textbasis eingebunden werden können. Dies geschieht zum Beispiel, wenn zwei Propositionen gemeinsame Argumente haben oder semantisch eng miteinander verbunden sind. Besitzt die aktuell gebildete Proposition keine derartige Gemeinsamkeit mit anderen im Kurzzeitgedächtnis vorhandenen Propositionen, müssen Inferenzen vom Leser gebildet werden, um weiterhin mentale Kohärenz zu gewährleisten (Kintsch & van Dijk, 1978). Für diese Inferenzen benötigt der Leser Wissen aus seinem Situationsmodell. Autoren setzen häufig voraus, dass die potentiellen Leser das nötige Hintergrundwissen besitzen, um die erforderlichen Inferenzen zu leisten. Leser mit genügend Hintergrundwissen stellen erforderliche Inferenzen größtenteils automatisch her. Für Leser ohne dieses nötige Vorwissen bedeutet das Herstellen von mentaler Kohärenz mittels Inferenzen jedoch eine zusätzliche Anforderung, was bei einer Häufung zu einem geringeren Textverständnis führen kann (Kintsch & Vipond, 1979).

In einem linearen Text wird der gewissenhafte Autor der Zielgruppe entsprechend kohärente Argumente berücksichtigen. Auf einer lokalen Ebene werden Referenzen zwischen Worten und Sätzen gesetzt. Auf einer globalen Ebene werden ganze Abschnitte in einen kohärenten Fluss gebracht. Dies hilft dem Leser, die aktuellen Informationen auf der lokalen Ebene zu strukturieren, um sie in die Struktur des vorher Gelesenen einzubauen. Bei einer fehlenden lokalen oder globalen Textkohärenz ist das Vorwissen des Lesers für das Schließen der Lücken erforderlich.

Ein Hypertext besteht aus miteinander verknüpften Texteinheiten. Die ursprüngliche Idee des Hypertextes setzt atomisierte Informationseinheiten – jeder Knoten umfasst *eine* Information – voraus, die jeweils miteinander verknüpft sind. Derzeit behandeln Knoten für gewöhnlich einen Sachverhalt, der aber aus weitaus mehr als einer Information bestehen kann. In einem Hypertext gilt daher auf den einzelnen Textseiten bezüglich der lokalen Textkohärenz vergleichbares wie bei linearen Texten. Wie sieht es jedoch mit der globalen Textkohärenz aus? Unterschiedliche Sachverhalte werden auf mehrere Knoten verteilt. An jedem aktuellen Knoten sollte der Leser die Möglichkeit haben, über Verknüpfungen zu anderen Knoten zu kommen. Für den Autor ist es unmöglich, vorherzusehen, welche Verknüpfung der Leser von einem Punkt aus nutzt. Daher ist es schwer, eine globale Textkohärenz zu präsentieren. Nicht-kohärente Verknüpfungen bedürfen Inferenzen von Seiten des Lesers, um die Informationen des neuen Knotens mit dem des vorhergehenden zu verbinden. Dies kann zu Verständnisschwierigkeiten führen, sollte der Leser diese Inferenz nicht leisten können. Für das Erstellen eines Hypertextes ist es daher notwendig, nur Verknüpfungen zu setzen, welche die globale Textkohärenz garantieren oder Inferenzen erfordern, die die Zielgruppe leisten kann.

Dem Autor stehen hierfür als stilistische Hilfsmittel typisierte Verknüpfungen zur Verfügung (siehe 1.1.1.3).

2.5.2.2 Vorwissen beim Lesen von Hypertext

Das Herstellen von Kohärenz in einem Text und das Einbauen von Inferenzen in seine Wissensbasis während des Textlesens erfordert vom Leser ein hohes Maß an kognitiver Leistung und gelingt dem Leser mit hohem Vorwissen leichter als dem Leser mit geringem Vorwissen. Ein gutes Vorwissen erleichtert es dem Leser nicht nur, mittels intendierter Inferenzen Lücken zwischen nicht oder wenig kohärenten Textpassagen zu schließen, sondern erlaubt außerdem reduktive und elaborierte Inferenzen, was das Bilden von relevanten Makropropositionen gewährleistet. Daraus resultiert eine bessere Textrepräsentation, ein positiver Einfluss auf das Situationsmodell und das Einbetten relevanter Informationen in den Wissensbestand des Langzeitgedächtnisses.

Für das Lesen in Hypertextseiten gilt ebenfalls, dass Leser mit hohem Vorwissen die besseren Voraussetzungen für das Herstellen von mentaler Kohärenz und das Einbetten neuer Informationen in die bisherige Wissensstruktur besitzen. Ein Leser mit geringem Vorwissen wird beim Lesen einer stark vernetzten Hypertextbasis im Vergleich zum Lesen eines linearen Textes zusätzliche Schwierigkeiten besitzen. Er hat die Aufgabe, selbst die für ihn relevanten Verknüpfungen zu wählen, um eine global kohärente Textrepräsentation aufzubauen. Ihm fehlt außerdem ein genügendes Situationsmodell zum Schließen von Kohärenzlücken, die durch referentielle Verknüpfungen entstehen können. In der in 1.2.4 erwähnten Studie von GERDES werden Lernenden in zwei Experimenten eine lineare (kohärente) und eine vernetzte (inkohärente) Textform präsentiert. In beiden Untersuchungen ist eine Interaktion von Vorwissen und Textart zugunsten der vernetzten Textform bei zunehmendem Vorwissen nachgewiesen worden. GERDES kommt daher zu folgendem Schluss: „Das schon vorhandene Wissen auf Seiten der Lernenden erleichtert die Kontextualisierung, Strukturierung und Relationierung der neuen Inhalte.“ (Gerdes, 1997, S. 212).

2.5.2.3 Lesefähigkeit des Lernenden

Unabhängig vom Vorwissen eines Lesers hat seine allgemeine Lesefähigkeit einen Einfluss auf das Textverständnis. Lernende mit guten Lesefähigkeiten haben die Tendenz, mehr Zusammenhänge der Textoberfläche oder inhaltlicher Art zu erkennen. Nach einer Studie von PERFETTI & ROTH können Leser mit guten Fähigkeiten bessere Annahmen über Wortbedeutungen treffen (Perfetti & Roth, 1981). MEYER ET AL. erkannten, dass Lernende mit guten Lesefähigkeiten schneller auf die rhetorische Struktur eines Textes ansprachen bzw. mit ihr vertraut wurden (Meyer, Brandt & Bluth, 1980). Diese Fähigkeiten bewirken positive Effekte auf das Bilden von Kohärenz im Text. Leser mit geringen Lesefähigkeiten haben größere Schwierigkeiten in der Erkennung der Wortbedeutung. Sie müssen durch Testen verschiedener Annahmen die Bedeutung unbekannter Worte herausfinden und sind somit stärker auf den Kontext angewiesen. Diese Belastung wird verstärkt, wenn eine Kohärenzbildung zusätzlich dadurch erschwert wird, dass der Leser die rhetorische Struktur des Textes nicht erkennt.

Hypertext hält durch das Aufteilen der Informationen auf mehrere Knoten noch weniger kontextuelle Hilfen bereit. ASTLEITNER & LEUTNER beschreiben erfolgreiches Lernen in einer hypermedialen Lernumgebung durch die Fähigkeit des Lernenden, zum richtigen Zeitpunkt den richtigen Knoten anzuwählen (Astleitner & Leutner, 1995). Einem erfolglosen Lernenden gelingt es seltener, den Knoten anzuwählen, der ihm die richtigen Hinweise gibt, um den Prozess, zur Aufnahme der gewünschten Information zu gelangen, erfolgreich abzuschließen. Es ist anzunehmen, dass ein Leser, der Erfahrungen

im Umgang mit Hypertext besitzen, den Prozess besser bewältigen kann. Erkennt er die rhetorische Struktur der betreffenden Hypertextbasis, so wird er weniger Schwierigkeiten haben, kontextuelle Zusammenhänge zu finden und den richtigen Knoten zum richtigen Zeitpunkt anwählen können. Studien von ROUET bestätigen, dass unerfahrene Nutzer größere Navigationsschwierigkeiten im Hypertext besitzen. Das Lesen von Hypertext bedarf einer Lernphase, die in einfach aufgebauten Hypertextsystemen bereits durch bloße Praxis abgelegt werden kann (Rouet, 1990). Ein gut strukturierter linearer Text sollte einen Lernenden mit geringen Hypertext-Lesefähigkeiten weniger Verständnisschwierigkeiten bereiten als eine vernetzte Hypertextbasis vergleichbaren Inhalts (Foltz, 1996).

2.5.2.4 Strategien beim Lesen von Hypertext

Das Situationsmodell von VAN DIJK & KINTSCH löst die Vorstellung ab, Textverarbeitung sei ein statischer Prozess, welcher exakten mechanischen Regeln folge. VAN DIJK & KINTSCH nehmen dagegen einen variablen und strategischen Prozess an. Bewusst oder unbewusst verwendet ein Leser in Abhängigkeit seiner Zielsetzung unterschiedliche Strategien, die außerdem von Faktoren wie das Vorwissen, seine Fähigkeiten und der Charakteristik des Textes beeinflusst werden (Foltz, 1996; Schiefele, 1996; van Dijk & Kintsch, 1983). Die bisherigen Untersuchungen zur Strategie beim Lesen von Hypertextseiten haben sich überwiegend auf Suchstrategien konzentriert, wobei das Hypertextsystem als Informationsretrieval diene. FOLTZ schreibt dazu:

„Because hypertext provide additional navigational flexibility to readers, one could expect that readers would employ a variety of strategies. As evident from the Goldman and Saul (1990) study, readers use a variety of strategies in order to maintain coherence in a linear text. It is expected that readers of hypertexts would do the same, as they must maintain coherence in order to develop a coherent mental representation of the text.“ (Foltz, 1996, S.120, Goldman & Saul, 1990).

Hypertext-Entwickler sprechen dem vernetzten System die Stärke zu, dass der Leser über das System effizienter an gewünschte Informationen herankommt als in einem linearen System. Dieser Aspekt wird bei der Entwicklung von Hypertextsystemen bevorzugt berücksichtigt. „For this reason it is expected that the strategies of the reader can depend greatly on what mechanisms are implemented in the hypertext.“ (Foltz, 1996, S.120). Wird beispielsweise ein System mit einer komfortablen Suchmaschine versehen, dann wird vornehmlich die Suchstrategie des Lesers unterstützt und somit die Lesestrategie beeinflusst. Dies muss jedoch auch mit den Zielen des Lesers vereinbar sein.

Es wird vermutet, dass das Lernen mit einer klaren Zielorientierung vornehmlich durch Suchstrategien bestimmt und somit durch ein vernetztes System besser unterstützt wird als durch ein lineares System.

2.5.2.5 Zielorientierung des Lernenden beim Lesen von Hypertext

Auch die bereits in Abschnitt 2.4 beschriebene Größe der Zielorientierung soll an dieser Stelle noch einmal aufgegriffen werden: Wenn der Lernende einen Hypertext – linear oder verzweigt – nutzen möchte, um ein bestimmtes Ziel zu verfolgen, so muss er Prozesse bewältigen, die ein Teil seiner kognitiven Ressourcen im Lernvorgang beanspruchen. Zunächst ist das Ziel als solches zu spezifizieren. Ist die gesuchte Information nicht genau genug spezifiziert, fällt es dem Lernenden schwer, zu entscheiden, welche der ihm dargebotenen Informationen relevant sind. Bei einer zu genauen Spezifikation besteht die Gefahr, dass relevante Informationen übersehen werden. Auch dürfen nicht zu viele Ziele gleichzeitig gesetzt werden, da sie, in

Anbetracht der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, den Lernprozess ebenfalls zu stark beeinträchtigen können (vergl. Schnotz & Zink, 1997). Während des Suchvorganges ist es notwendig, dass der Lernende die gefundenen Informationen auf ihre Relevanz hin bewertet. Dabei darf er sich durch eine eventuelle Vielfalt der Informationen nicht von seinem Ziel ablenken lassen (Serendipity-Effekt, siehe 2.3.1). Auch diese Prozesse gehen zu Lasten des Arbeitsgedächtnisses.

Eine vernetzte Hypertextversion bietet dem Lernenden in sich abgeschlossene Informationseinheiten an und erleichtern ihm somit das Finden relevanter Informationen. In einem linearen Text sind dieselben Informationen für gewöhnlich in die kohärente Struktur eines größeren Textabschnittes eingebunden. Dies macht es dem Lernenden zum einen schwerer, die gesuchte Information zu finden und zum anderen muss ein größerer Aufwand getrieben werden, eine Information aus dem Sachzusammenhang des Textes zu isolieren, um sie dann bezüglich ihres Nutzens zu bewerten.

SCHNOTZ & ZINK haben in der in 1.2.4 erwähnten Studie die Abhängigkeit des Lernerfolgs von den instruktionalen Maßnahmen Zielorientierung (spezifisch – nicht spezifisch) und Textform (vernetzt – linear) geprüft. Ihren Ergebnissen zufolge scheinen vernetzte Hypertexte für einen Wissenserwerb mit Zielorientierung besser geeignet zu sein. Es werden wenig kognitiven Ressourcen für die Informationssuche benötigt und der Lernende kann sich in höherem Maße auf die zielrelevanten Informationen konzentrieren. Lineare Texte sind hingegen für einen Wissenserwerb ohne spezifische Zielorientierung besser geeignet. Der Leser kann sich von der vom Autor durchgeführten Sequenzierung der Inhalte leiten lassen. Ihm stehen somit mehr Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses für das Herstellen eines kohärenten mentalen Modells zur Verfügung (Schnotz & Zink, 1997).

2.6 Zusammenfassung

Im ersten Kapitel wird als Begründung zum Lernen mit Hypertexten die Möglichkeit der multikodalen Darstellung besonders komplexer Sachverhalte in realitätsnahen und unterschiedlichen Kontexten sowie der flexible Zugriff auf ihre Information herausgehoben. Hierdurch werde den Lernenden die Möglichkeit gegeben, sich im selbstgesteuerten Lernprozess situiertes und flexibles Wissen anzueignen. Das zweite Kapitel hat verstärkt aus Sicht der Kognitionspsychologie das Lernen mit elektronischen Textdokumenten betrachtet. Die These, dass das Anbieten der Informationen in einer netzwerkartigen Struktur das Lernen erleichtere, mag sich durch bisherige Untersuchungen nicht uneingeschränkt bestätigen. Die Kognitive Plausibilitätsannahme erweist sich in ihrer ursprünglichen Form als wenig haltbar, da sie zu wenig die Lernenden als Individuum beachtet, welche mit immer anderen Lernvoraussetzungen und -bedingungen eine Lernumgebung nutzen. Das Lernen mit Hypertexten führt so zu intraindividuellen und interindividuellen Lernpfaden. Diese Konsequenzen können ein selbstgesteuertes Lernen zwar begünstigen, verursachen jedoch auch Lernprobleme, die sich zum Beispiel in einer Desorientierung (lost in hyperspace, Serendipity-Effekt) oder in einer kognitiven Überlastung (cognitive overload) bemerkbar machen. Navigationshilfen unterschiedlicher Art können eventuell auftretende Lernprobleme vermeiden oder mindern. Sie sind jedoch bewusst und sparsam einzusetzen. Gerade für unerfahrene Benutzer können sie eine zusätzliche Belastung bedeuten. Außerdem kann durch Navigationshilfen das Hypertextsystem in seiner ursprünglichen Idee stark eingeschränkt werden, wenn sie nämlich steuernd wirken und so das Wählen individueller Lernpfade unterdrücken. Eine erfolgversprechende Instruktion wäre das Anbieten einer

hierarchischen Grundstruktur (etwa als Inhaltsverzeichnis), die dem Lernenden bei einer Desorientierung oder bei Verständnisproblemen einen Hinweis über seinen momentanen Standort oder eine Anleitung über weiter einzuschlagende Lernwege gestatten würde. Unter Berücksichtigung des Situationsmodells zum Textverständnis von VAN DIJK & KINTSCH wird deutlich, dass der lineare Aufbau eines Textes nicht nur pragmatische Gründe haben muss. Mit ihm sind auch zahlreiche sinnvolle Gestaltungsmöglichkeiten verbunden, die zu einer nachhaltigen mentalen Textverarbeitung verhelfen. So gilt besonders die Möglichkeit, den Lernenden anzuleiten, um ihn Gedankengänge des Autors nachvollziehen zu lassen, als inhaltliches Merkmal eines linearen Textes. Damit verbunden sind der Einsatz von Kohärenzmitteln, die der Autor in Bezug auf seine Zielgruppe wählt. Die moderne Textforschung beschreibt neben der semantischen Kohärenz mit dem Vorwissen, der Lesefähigkeit und der Lesestrategie weitere Einflussgrößen beim Lernen mit Texten, die sich mithilfe des Situationsmodells erklären lassen. Obwohl lineare Texte und vernetzte Hypertexte strukturelle Unterschiede besitzen, wird erwartet, dass Größen wie Vorkenntnisse oder Lesefähigkeiten und -strategien ebenfalls einen Einfluss auf das Verstehen vernetzter Hypertexte haben. Die inhaltliche Abgeschlossenheit von Knoten vernetzter Hypertexte bedingt einen Verzicht auf Gestaltungsmittel, die beispielsweise für das Herstellen einer globalen Textkohärenz zuständig wären. Lernende mit gutem Vorwissen sollten besser in der Lage sein, durch Inferenzen eine mentale Kohärenz herzustellen. Einen entsprechenden Einfluss könnten die Lesefähigkeiten und -strategien haben, die bei zunehmender Praxis im Umgang mit Hypertexten besser ausgebildet werden sollten.

Als weitere Einflussgröße für das Lernen mit vernetzten Texten gilt außerdem die Zielorientierung, die für die empirische Untersuchung zu dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielt. Die Existenz einer bestimmten Zielorientierung sollte das Lernen mit vernetzten Hypertexten begünstigen während das Lernen ohne bestimmte Zielorientierung mit einem linearen Text besser gelingen sollte. In der Untersuchung von SCHNOTZ & ZINK besaßen die Lernenden ein vergleichbar geringes Vorwissen über das Lernthema. Ein mehr oder weniger umfassendes Vorwissen ist bereits in Abschnitt 2.5.2.2 als Einflussgröße beim Lernen mit elektronischen Texten beschrieben worden. Auch im Hinblick auf die Zielorientierung ist das Vorwissen als Einflussgröße zu betrachten: Das selbstständige Bilden und Präzisieren einer bestimmten Zielorientierung gelingt dem Lernenden zum Beispiel umso leichter, je größer das Vorwissen über den betreffenden Sachverhalt ist. Außerdem ist ein gutes Vorwissen hilfreich, wenn es darum geht, Information auf ihre Zielrelevanz hin zu untersuchen. Lernenden mit wenig Vorwissen sollten daher mehr kognitive Ressourcen für das Erreichen eines bestimmten Zieles zur Verfügung stehen.

Ausblick: Diese kurz zusammengefassten Ergebnisse zum gegenwärtigen Forschungsstand über die Wissensvermittlung mit elektronischen Texten werden im Folgenden zum einen bei der Gestaltung einer Lerneinheit für das System ChemNet und zum anderen für die Planung, Durchführung und Auswertung der empirischen Untersuchung beachtet, die zur Klärung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Fragestellungen dient.

3 Das Säure-Base-Kapitel von ChemNet

Das Kapitel zu dem Thema *Säuren und Basen* der Lernumgebung ChemNet wurde für die Evaluation speziell entwickelt. Das Thema wurde gewählt, da es inhaltlich relativ unabhängig von den anderen bisher ausgearbeiteten Themen von ChemNet ist und so die Entwicklung einer in sich geschlossenen Hypertextbasis gewährleistet.

Dieser Abschnitt ist zweigeteilt und beschäftigt sich mit den Besonderheiten des Untersuchungsmediums: Zunächst wird auf fachdidaktische Aspekte zum Thema Säuren und Basen eingegangen. Diese Betrachtungen dienen dazu, eine tragfähige Terminologie für das Säure-Base-Kapitel zu finden. Anschließend werden die inhaltlichen Merkmale und das Design des Kapitels vorgestellt, wobei zwischen der linearen und der vernetzten Hypertextstruktur unterschieden wird. Einen Großteil der Begründungen für die Gestaltung der jeweiligen Hypertextbasis liefern die Betrachtungen des vorangegangenen Kapitels.

3.1 Eine fachdidaktische Betrachtung zum Säure-Base-Begriff

Der Säure-Base-Begriff hat neben der fachwissenschaftlichen auch eine große gesellschaftliche Bedeutung. Säuren und Basen werden als wässrige Lösungen zum Beispiel im Haushalt oder in der technischen Berufswelt als Reinigungs- oder Lösemittel eingesetzt. Dort ist der Begriff Lauge für die Lösung einer starken Base geläufig. Gelegentlich wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff Alkalie verwendet. Säuren sind außerdem für den Stoffwechsel notwendige Bestandteile unseres Körpers und werden den Nahrungsmitteln und Getränken als Gewürz oder zur Qualitätsverbesserung zugegeben. Dennoch wird mit dieser Stoffgruppe immer etwas Ätzendes und Gefährliches verbunden. Tatsächlich können besonders die Reinigungs- oder Lösemittel bei unsachgemäßer Verwendung für den Organismus und die Umwelt schädlich sein. Damit hat das Vermitteln grundlegender Kenntnisse über Säuren und Basen neben der Berechtigung aus fachwissenschaftlicher Perspektive auch eine gesellschaftliche Berechtigung.

In der Fachdidaktik wird auf mögliche Lern- und Verständnisschwierigkeiten durch die Verwendung mehrerer Begriffe für gleiche Sachinhalte hingewiesen. So bezeichnen die Begriffe Lauge, Alkalie, basische Lösung und alkalische Lösung dieselbe Stoffgruppe. WENZEL kritisiert außerdem, dass eine konsequente Unterscheidung zwischen reinen Stoffen und ihren wässrigen Lösungen besonders bei Säuren im Kommunikationsprozess zwischen Lehrern und Schülern oder zwischen den Schülern untereinander durch umgangssprachliche Gepflogenheiten erschwert würde.

„So ist es üblich, eine Lösung von Chlorwasserstoffsäure in Wasser als Chlorwasserstoffsäure oder Salzsäure zu bezeichnen, obwohl sowohl die Definition von Arrhenius als auch nach der von Brönstedt der Chlorwasserstoff die Säure ist. (...) Die Verwischung des Unterschieds zwischen reinen Stoffen und deren wässrigen Lösungen ist jedoch nicht nur ein Verstoß gegen das Prinzip der Wissenschaftlichkeit. Die Folgen sind weitreichend und erstrecken sich von der falschen Vorstellung, Säuren wären aus Ionen aufgebaut, bis zu Schwierigkeiten in der Anwendung der chemischen Zeichensprache“ (Wenzel, 1982, S. 371).

Schließlich bereitet der Säure-Base-Begriff das Problem, dass er mehrere theoretische Konzepte beinhaltet, die auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen wirken oder mit

verschiedenen Definitionsmerkmalen versehen sind (vergl. Pfeifer, Häusler & Lutz, 1997, S. 56ff). Neben der Definition nach Boyle auf der stofflichen Ebene existieren weitere Definitionen, die bereits die Ebene des Diskontinuums mit einschließen oder nur dort zu verwenden sind, wie zum Beispiel die Begriffe nach Arrhenius, Brønsted/Lowry oder Lewis. Alle genannten Begriffe unterscheiden sich nicht unwesentlich voneinander in ihren Inhalten. Die geschilderten Lern- und Verständnisprobleme sind auf die Begriffe Säure und Base selbst zurückzuführen: Auf ihre Eigenschaft, *homonyme* Bedeutungen und *synonyme* Entsprechungen zu besitzen sowie auf den Anspruch, als *antonyme* Begriffe zu gelten. Homonyme oder homonyme Begriffe sind gleichlautende Worte mit unterschiedlichen Bedeutungen. Dem Säure-Base-Begriff werden je nach der ihr zugeordneten Abstraktionsebene – beispielsweise boylesches oder brønstedisches Konzept – unterschiedliche Inhalte zugeschrieben. Homonyme sind ganz streng zu trennen von Synonymen – unterschiedlichen Worten mit identischer Bedeutung. Beispiele für Synonyme wären die Begriffspaare Säureanhydrid – saures Oxid, konjugiertes Säure-Base-Paar – korrespondierendes Säure-Base-Paar oder – wie oben geschildert – alkalische Lösung und Alkalie. Die Verwendung zweier Begriffe als Synonyme kann zu Verständnisschwierigkeiten führen, wenn die Begriffe nicht in allen inhaltlichen Merkmalen übereinstimmen. Antonyme sind Begriffe mit entgegengesetzter Bedeutung. In den Naturwissenschaften werden die entgegengesetzten Bedeutungen auf ihre charakteristischen Eigenschaften bezogen. Anion und Kation sind beispielsweise Antonyme in Bezug auf ihre charakteristische Eigenschaft, elektrisch geladene Teilchen zu sein. Während Anionen immer negativ geladen sind, weisen Kationen immer eine positive Ladung auf. Durch den Anspruch, als Antonyme zu gelten, sind die Inhalte des Base-Begriffes abhängig vom gewählten Säure-Begriff und umgekehrt. AEBLI weist darauf hin, dass es im Unterricht Aufgabe jedes Lehrenden sei, sich Rechenschaft über das System der Begriffe abzulegen, das er in seinen Fächern vermittele. „(...) Begriffe sind nicht einfach Inhalte des geistigen Lebens. Begriffe sind seine *Instrumente*. Mit ihrer Hilfe arbeiten wir. Indem wir sie auf neue Erscheinungen anwenden, werden diese gefaßt, und sie ordnen sich in unserem Geiste.“ (Aebli, 1997, S. 245). Nach einer Vorstellung unterschiedlicher historischer Säure-Base-Definitionen (3.1.1) wird – unter Beachtung der oben geschilderten und in Abschnitt 3.1.2 vertieft erörterten möglichen Lernschwierigkeiten bei der Einführung mehrerer Säure-Base-Begriffe – eine begründete Begriffswahl vorgenommen, die tragfähig und verträglich mit der Terminologie einschlägiger Fach- und Schulbuchliteratur ist (3.1.3).

3.1.1 Säure-Base-Begriffe

Im Folgenden wird die Entwicklung des Säure-Base-Begriffs aufgezeigt. Diese Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden wichtige Entwicklungen berücksichtigt. Für eine vertiefte Lektüre sei auf Hammer, 1995; Reuber, 1972 und Häusler, 1987 verwiesen.⁵ Diese Literatur wurde, ergänzt durch weitere Fachliteratur (Cotton, Wilkinson & Gaus, 1990; Hollemann, 1995; Mortimer, 1996), auch für die Inhalte dieses Abschnittes herangezogen.

3.1.1.1 Vorwissenschaftliche Säure-Base-Vorstellungen

Die einzige im Altertum bekannte Säure war der Essig, das Gärungsprodukt alkoholhaltiger Flüssigkeiten. Die Begriffe *Essig* und *sauer* stehen in einer engen

⁵ REUBER ET AL. zeigen beispielsweise in ihrer chronologischen Übersicht zum Werdegang der Begriffe Salz, Säure und Base dreißig Beiträge auf.

Beziehung. Das griechische Wort für Essig heißt *oxos* und für sauer *oxys*, im Lateinischen heißt Essig *acetum* und sauer *acidus*. Die englische Bezeichnung *acid* und die französische *l'acide* für Säure lassen sich auf dessen lateinische Bedeutung zurückführen. Es ist nicht auszuschließen, dass auch andere Naturprodukte wie unreife Früchte oder die saure Milch dazu geführt haben, Stoffe zu einer Gruppe zusammenzufassen, die sich aufgrund ihres ihnen gemeinsamen sauren Geschmacks identifizieren lassen. Wichtig war die Feststellung, dass sich diese Stoffe mit anderen zu Salzen zu verbinden vermögen. Außerdem wurde schon sehr früh die auflösende Kraft der Säuren erkannt und zusätzlich zur Klassifizierung herangezogen.

Die einzige zu dieser Zeit bekannte Stoffgruppe, die mit Säuren Salze bilden und somit eine aufhebende Wirkung der Säuren besitzen, waren die Alkalien. Hierunter verstand man Stoffe, die man aus der Asche gewinnen konnte, die durch Verbrennung von Pflanzen entsteht. Es handelte sich um die Carbonate des Kaliums (Pottasche) und, bei Meerespflanzen, des Natriums (Soda). Der Name Alkalie sollte noch bis in das 18. Jahrhundert für die Stoffe stehen, die durch ihre im Vergleich zu den Säuren gegensätzlichen Eigenschaften von den Säuren abgegrenzt wurden.

Mit der Entdeckung der ersten Mineralsäuren auch in höherer Konzentration war es sinnvoll, eine andere Indikationsmethode als den Geschmack zu finden, um nicht die eigene Gesundheit oder gar das Leben zu gefährden.

3.1.1.2 Eigenschaftsbezogene Kennzeichnung der Säuren und Alkalien nach Robert Boyle

Robert Boyle (1627-1691) erkannte weitere Eigenschaften der Stoffgruppen: Säuren verwandeln die blaue Farbe vieler Pflanzen rot. Durch Alkalien lässt sich die ursprüngliche Farbe wiederherstellen. Alkalien verwandeln die blaue Farbe vieler Pflanzen in grün. Auch hier lässt sich nun durch Säuren die ursprüngliche Farbe wiederherstellen⁶. Johann Baptist van Helmont formulierte als erster die Beziehung zwischen Säuren und einer Stoffgruppe mit der ihnen entgegengesetzten Wirkung: Durch Vereinigung von Säuren und Alkalien und umgekehrt verlieren die Stoffe ihre besondere Eigenschaft und es entstehen *Salze*. Für Boyle gelten auch die auflösenden Kräfte der Stoffe als weiteres Merkmal der Säuren: Säuren lösen einige feste, wasserunlösliche Stoffe auf, etwa Marmor oder Zink.

3.1.1.3 Korpuskular-Vorstellung nach Lemery

Bisher beschränkten sich die Aussagen der Säuren und Alkalien auf Phänomene. Nicolas Lemery (1645-1715) lieferte in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts den ersten Erklärungsversuch für das Phänomen des sauren Geschmacks. „Es beruhen die säuerliche Schärfe einer Flüssigkeit in seinen spitzigen Teilen, welche in Bewegung sind (...) es verursacht auf der Zunge solche Stiche, welche man von ganz scharfen zugespitzten Materialien empfängt.“ Wegen der aufhebenden Wirkung der Säure-Eigenschaft durch die Alkalien, schrieb Lemery diesen Teilchen Poren zu, winzige Löcher, in die die Spitzen der Säureteilchen eingefügt werden können und so nicht mehr wirksam sind (Abbildung 6).

⁶ Boyle hat für seine Experimente Papier in Pflanzensaft getränkt und dieses Papier als Anzeiger für Säuren und Alkalien benutzt. Er ist somit Begründer des Indikatorpapiers.

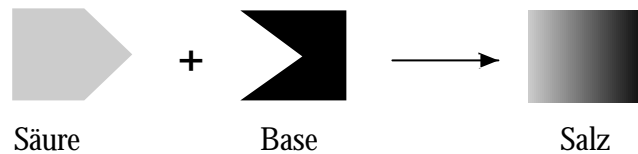


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Säure-Teilchen und denen der Alkalien nach Lemery

Dieses Konzept ist insofern bemerkenswert, als dass Eigenschaften der Stoffe durch entsprechende Eigenschaften in der für die Menschen sinnlich nicht wahrnehmbaren Teilchenwelt erklärt wurden. Hier wurde den Teilchen Eigenschaften zugesprochen, die aus der den Sinnen zugänglichen Welt vertraut sind.

3.1.1.4 Säurevorstellung der Phlogistiker (Stahl)

In der im frühen 18. Jahrhundert vorherrschenden Phlogistontheorie blieb man wie auch heute noch dem Vorgehen treu, Eigenschaften der Stoffe auf ihre Teilchen zurückzuführen. Das Phlogiston wurde als Stoff aus feinsten Partikeln angesehen, welches den Sinnen nicht erfahrbar sein sollte. Kohle fasste Georg Ernst Stahl (1660-1734) als nahezu reines Phlogiston auf, das mit Metallkalk (Metalloxyd) vereinigt das entsprechende Metall ergab. Beim Erhitzen des Metalls sollte das Phlogiston dem „zusammengesetzten Stoff“ Metall entweichen.

Stahl sah in der Schwefelsäure die sogenannte Ursäure. Alle Säureeigenschaften sind auf die ihnen gemeinsame Ursäure zurückzuführen. So ist zum Beispiel die Salpetersäure zusammengesetzt aus der Ursäure und einem geringen Anteil an Phlogiston. Diese Interpretation mag ihre Ursache in der Beobachtung haben, dass die Schwefelsäure andere Säuren aus Salzen auszutreiben vermag.

3.1.1.5 Das Sauerstoff-Konzept (Lavoisier)

Die Widersprüche, die sich aus der Theorie und den analytischen Beobachtungen ergaben, ließen die Phlogiston-Theorie zwar wanken, jedoch durch weitere Zusatzhypothesen namhafter Chemiker wie Lomonossov, Scheele, Cavendish oder Priestley nicht einstürzen. So wurde die Gewichtszunahme eines Metalls bei der Reaktion zum Metallkalk dadurch erklärt, dass das dem Metall entweichende Phlogiston eine negative Masse besitze. Der Umstand, dass in dieser Zeit gasförmige Reaktionsprodukte noch nicht Gegenstand chemischer Untersuchungen waren, gab der Theorie zusätzlichen Halt. Mit der Entdeckung des Sauerstoffs im Jahre 1774 durch Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) und Joseph Priestley (1733-1804) gewann man einen realen Gegenpol zu dem phantastischen Phlogiston. Damit brach das derzeitige Theoriesystem zusammen und es erforderte ein neues Erklärungsmodell. In dieser Zeit lieferten qualitative und quantitative Untersuchungen brauchbare Werte über die Zusammensetzung von Stoffen. Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) beobachtete, dass durch Verbrennen von Nichtmetallen wie Kohlenstoff, Phosphor oder Schwefel an der Luft Gase entstehen, die mit Wasser Kohlensäure, Phosphorsäure bzw. Schwefelsäure bilden. Diese Beobachtung gab dem verbrennungsfördernden Anteil der Luft den Namen *gaz oxygène* (säurebildendes Gas).

Lavoisier sprach allen Säuren die gemeinsame Eigenschaft zu, aus Nichtmetall und Sauerstoff zusammengesetzt zu sein. Sauerstoff sei für die Säuremerkmale verantwortlich. Metalloxyde oder Stoffe, die mit Säuren Salze bilden, wurden als salzbildende Grundstoffe oder Basen (von Basis) bezeichnet. Zu dieser Gruppe wurden die Alkalimetalle (damals

als Alkalien bekannt), die Erdalkalimetalle (Erden) und die Metalloxide als zugehörig gezählt.

3.1.1.6 Das Wasserstoff-Konzept (Liebig)

Auch das Sauerstoffkonzept hielt nicht lange Bestand, da es nicht allgemeingültig für Säuren war. Mit der Erkenntnis, dass Chlorwasserstoff eine sauerstofffreie Säure ist, schien die Annahme erschüttert, dass Säuren überhaupt durch eine Gemeinsamkeit in ihrer Zusammensetzung zu charakterisieren seien. Selbst als Humphry Davy (1778-1829) den Wasserstoff als weiteres Element entdeckte und diesen auch als Bestandteil des Chlorwasserstoffs nachweisen konnte, hielt man an dem Sauerstoffkonzept fest und sah in den Halogenwasserstoffsäuren nur eine Ausnahme der Regel. Die Erkenntnis der Zusammensetzung weiterer sauerstofffreier Säuren wie Blausäure (Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850)) im Jahre 1814/15 führte zur Ablösung der bisherigen Säuredefinition. Davys Definition beruhte wieder auf einer Gemeinsamkeit der Zusammensetzung der Säuren: Säuren sind Stoffe, die aus einem oder mehreren Nichtmetallen und Wasserstoff bestehen. Wasserstoff bestimmt die gemeinsame Eigenschaft der Säure. Diese Definition hatte ihre Schwachstelle darin, dass die Umkehrung selten zutraf. Es waren schon Stoffe bekannt, die aus Nichtmetallen und Wasserstoff zusammengesetzt sind und keine Säureeigenschaften aufzeigten.

Justus von Liebig (1803-1873) definierte 1838 in einer pragmatischen Lösung Säuren als Stoffe, die Wasserstoff enthalten, der durch Metall ersetzbar ist. Liebig's Definition war eine Beobachtung von Joseph Griffin (1802-1877) vorausgegangen, nach der die durch Reaktion von Säuren mit Metallen entstandenen Salze sich von der Säure dahingehend unterscheiden, dass die Salze anstelle des Wasserstoffs entsprechende Metalle enthielten. Liebig fügte der Definition eine weitere nun operationale Definition hinzu: Stoffe gehören nur dann zur Gruppe der Säuren, wenn sie als „verdünnte Säuren“ mit unedlen Metallen Wasserstoff freisetzen.

3.1.1.7 Das Konzept der elektrolytischen Dissoziation (Arrhenius)

Die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts war geprägt von neuen Entwicklungen. Die Strukturtheorie erbrachte Modellvorstellungen für die Konstitution von Kohlenstoffverbindungen. Das Übertragen dieser Theorie auf andere zusammengesetzte Stoffe war schwierig, da sie nicht im Einklang blieb mit den Größen wie osmotischer Druck, Siedetemperaturerhöhung oder Gefriertemperaturerniedrigung, die alle allein von der Teilchenzahl abhängen (kolligative Eigenschaften).

Die Vorstellung von Svante Arrhenius (1859-1927), dass es sich hier um Stoffe handelt, dessen Teilchen beim Lösen in Wasser in entgegengesetzt geladene Ionen zerfallen, schien diesen Widerspruch aufzuklären. Die Theorie der elektrolytischen Dissoziation wurde auf die Säure-Definition übertragen. Demnach sind Arrhenius-Säuren Stoffe, die in wässriger Lösung in Wasserstoff-Ionen (Kationen) und Säurerest-Ionen (Anionen) dissoziieren. Der Säurecharakter ist bedingt durch das Wasserstoff-Ion. Arrhenius-Basen sind Stoffe, die in wässriger Lösung in Hydroxid-Ionen (Anionen) und Metall-Ionen (Kationen) dissoziieren. Der Basencharakter ist bedingt durch Hydroxid-Ionen. Zum ersten Mal wurden die Gegenspieler der Säuren in einer analogen Definition mit einbezogen. Außerdem wird die Definition aus dem phänomenalen Bereich in die submikroskopische Welt der Modellvorstellungen verlegt.

3.1.1.8 Das Protonen-Donator-Akzeptor-Konzept (Lowry/Brønsted)

Neuere differenzierte Vorstellungen über den Bau der Atome sowie die Entwicklung der Elektronentheorie der Valenz (Walther Kossel (1888-1956), Gilbert Newton Lewis (1875-1946)) erforderte eine Modifikation des Säure-Base-Konzeptes nach Arrhenius. Die Wasserstoff-Ionen müssen als Wasserstoffkerne, sogenannte Protonen, interpretiert werden. Es gab jedoch keine experimentellen Anhaltspunkte über die Existenz freier Protonen in wässriger Lösung. Vieles sprach dafür, dass sich die Protonen mit Wassermolekülen zum Hydroxonium-Ion (H_3O^+) vereinigen.

Unabhängig voneinander definierten Thomas Martin Lowry (1874-1936) und Johannes Nicolaus Brønsted (1879-1947) im Jahre 1923 die sogenannten Brønsted-Säuren als Stoffe, deren Moleküle an die Moleküle des Lösungsmittels Protonen abgeben können. Brønsted-Basen sind Stoffe, deren Partikel von den Molekülen des Lösungsmittels Protonen aufnehmen können. Hier ist nicht die Bildung von Hydroxonium- oder Hydroxid-Ionen entscheidend, sondern der Übergang von Protonen. Mit der Bezeichnung Lösungsmittel anstelle von Wasser (ursprüngliche Definition von Brønsted/Lowry) ist dieses Konzept auch auf andere Lösungsmittel übertragbar. So werden zum Beispiel flüssiger Ammoniak, flüssiger Schwefelwasserstoff oder wasserfreie Schwefelsäure, dessen geringe Leitfähigkeit ebenfalls auf eine Autoprotolyse der Moleküle hinweist, mit einbezogen. In einer weiteren Verallgemeinerung wird sogar die Einschränkung auf ein Lösungsmittel ganz aufgegeben. Eine Säure-Base-Reaktion nach Brønsted zeichnet sich wie beschrieben durch einen Übergang von Protonen aus. Insofern definiert man Brønsted-Säuren als Protonendonatoren und Brønsted-Basen als Protonenakzeptoren. Diese Definition ist nun eindeutig nur auf Teilchen und auf einen aktiven Vorgang bezogen. Will man Stoffe mit dieser Definition beschreiben, so ist zu beachten, dass die Teilchen eines Stoffes nur potentiell eine Säure- oder Base-Eigenschaft besitzen. Stoffe wären dann Säuren, wenn deren Teilchen Protonen abgeben können oder besser: Die Teilchen eines Stoffes können als Brønsted-Säure oder -Base *wirken*.

Die folgenden Säure-Base-Definition halten an dem Donator-Akzeptor-Konzept fest und lassen sich als Verallgemeinerungen des brønstedschen Konzeptes verstehen.

3.1.1.9 Das Elektronen-Donator-Akzeptor-Konzept (Lewis)

Gleichzeitig mit Brønsted und Lowry beschrieb Gilbert Newton Lewis ein Säure-Base-Konzept, das noch stärker die Elektronentheorie der Valenz nutzt. Lewis-Säuren und Basen sind nicht mehr Substanzen zugeordnet, sondern ausschließlich auf Teilchen und deren Reaktionsverhalten oder sogar auf bestimmte Positionen innerhalb der Teilchen beschränkt. Für Lewis stand eine Elektronenpaar-Lücke oder ein Elektronenpaar in der äußersten Sphäre eines Atoms im Vordergrund. Der erste Fall beschreibt eine Lewis-Säure, wenn in diese Lücke ein Elektronenpaar aufgenommen werden kann und somit eine Bindung entsteht. Der zweite Fall beschreibt eine Lewis-Base, wenn das freie Elektronenpaar für eine Elektronenpaar-Bindung zur Verfügung gestellt werden kann. Die Funktion eines Teilchens als Lewis-Base setzt also die Anwesenheit einer Lewis-Säure voraus und umgekehrt. Das Lewis-Konzept ist, vergleichbar dem Brønsted-Konzept, ein Donator-Akzeptor-Konzept: Lewis-Säuren sind Elektronenpaar-Akzeptoren, Lewis-Basen sind Elektronenpaar-Donatoren. In beiden Fällen werden Teilchen beschrieben, die zur Bildung einer neuen Elektronenpaar-Bindung Anlass geben.

Bezieht man die zu dieser Zeit geprägte und heute noch gültige Terminologie der Kohlenstoff-Chemie auf diesen Sachverhalt, so sind Lewis-Säuren elektrophile (elektronophile) – also Elektronen oder negative Ladung liebende – Teilchen und Lewis-Basen nucleophile, d.h. Kern- oder positive Ladung liebende Teilchen.

Im Vergleich zum Brønsted-Konzept lässt sich feststellen, dass Brønsted-Basen auch Lewis-Basen sind, da diese ein freies Elektronenpaar zur Bindung eines Protons zur Verfügung stellen. Brønsted-Säuren sind nun keine Lewis-Säuren. Lediglich das Proton selbst, das von einer Brønsted-Säure zur Verfügung gestellt wird, geht eine Bindung ein und wirkt daher als Lewis-Säure. Umgekehrt ist nicht jede Lewis-Base eine Brønsted-Base. Eine Bindung muss nicht unbedingt mit einem Proton eingegangen werden. Das Lewis-Konzept begnügt sich nicht mehr damit, die klassischen Säuren und Basen, die phänomenologisch nach dem Boyle-Konzept mit der Indikator-Methode identifiziert werden können, begrifflich zu fassen. Im Falle der Basen kann man von einer Begriffserweiterung sprechen, im Falle der Säuren sogar von einer Verschiebung des Geltungsbereiches, da durch den Lewis-Begriff keine der ursprünglichen Säuren gefasst wird.

3.1.1.10 Das umfassende Säure-Base-Konzept (Ussanovich)

Das wohl umfassendste aller Säure-Base-Konzepte ist das von Michail Iljich Ussanovich (1939). Er schließt nicht nur die zuvor behandelten funktionellen Säure-Base-Konzepte (Brønsted und Lewis) mit ein, sondern beschreibt die Übertragung jeglicher geladener Teilchen, einschließlich Elektronen als Säure-Base-Reaktionen. Ussanovich betrachtet also auch Redox-Vorgänge. Demnach sind Ussanovich-Säuren Stoffe, dessen Teilchen in der Lage sind, a) Protonen abzugeben oder b) beliebige Kationen abzugeben oder c) Elektronen aufzunehmen oder d) beliebige Anionen aufzunehmen. Ussanovich-Basen sind Stoffe, dessen Teilchen in der Lage sind, a) Protonen aufzunehmen oder b) beliebige Anionen abzugeben oder c) Elektronen aufzunehmen oder d) beliebige Kationen abzugeben. Nur einer der Fälle a)-d) muss eintreten, damit ein Stoff als Ussanovich-Säure oder -Base gilt.

Der Begriff von Ussanovich lässt sich als übergeordneter Begriff des Donator-Akzeptor-Konzepts auffassen. So beeindruckend es ist, dass es gelingt, eine Klassifikation zu finden, die die engeren Definitionen umfasst und die Redox-Theorie in einer Analogie mit einbindet, so wenig hilfreich scheint sie jedoch für eine Anwendung zu sein. Der Hinweis darauf, dass zum Beispiel ein Stoff als Ussanovich-Säure wirke, gibt noch wenig Auskunft über die Wirkung der Teilchen im submikroskopischen Bereich – es kann Fall a, b, c oder d zutreffen.

3.1.1.11 Harte und weiche Säuren und Basen (Pearson)

Nach dem Lewis-Konzept können die Zentral-Ionen eines Metallkomplexes als Säuren und die Liganden als Basen angesehen werden. Die zentralen Metallkationen treten aufgrund ihrer positiven Ladung mit freien Elektronenpaaren anderer Teilchen in Wechselwirkung. Dabei besitzen unterschiedliche Komplexe eine unterschiedliche Stabilität. Fluoride der Alkalimetall-Ionen sind beispielsweise stabiler als die Iodide. Die meisten Übergangsmetall-Ionen bilden dagegen mit dem Iodid festere Bindungen als mit dem Fluorid. R.G. Pearson erkannte aus empirischen Befunden ein Prinzip, nach dem die Teilchen bezüglich ihrer Affinität gegenüber anderen Teilchen einzuordnen waren. Metall-Ionen, die klein, kompakt und wenig polarisierbar sind, binden bevorzugt kleine, kompakte und wenig polarisierbare Liganden. Diese Metall-Ionen bezeichnete Pearson als harte Säuren und die Liganden als harte Basen. Größere und leichter polarisierbare Metalle bilden dagegen mit größeren und leichter polarisierbaren Liganden stabilere Komplexe. Derartige Metall-Ionen und Liganden wurden von ihm als weiche Säuren bzw. Basen bezeichnet. Pearson formulierte folgende empirische Beziehungen: Harte Säuren bevorzugen harte Basen und weiche Säuren bevorzugen weiche Basen. Kombinationen der Regel hart-hart oder weich-weich sind meistens stabiler als die

Kombination hart-weich. Die Alkalimetall-Ionen können zu den harten Säuren gezählt werden. Sie bilden daher mit der harten Base Fluorid stabilere Verbindungen als mit der weichen Base Iodid.

Diese Säure-Base-Definition ist als eine Möglichkeit zur Klassifizierung der Lewis-Säuren und Basen anzusehen. Es ermöglicht eine einfache und schnelle Vorhersage über die Stabilität der Bindung. Leider beschränkt sich die Klassifizierung vornehmlich auf die Hauptgruppenelemente. Bei den Übergangsmetallen gibt es eine Vielzahl von Grenzfällen, die weder zu den harten noch zu den weichen Säuren zu zählen sind.

Abschließend soll der Absatz von REUBER ET AL. zitiert werden, mit dem ihre chronologische Darstellung der wichtigsten Säure- und Base-Begriffe endet:

„Keine der Säure-Base-Theorien kann als die ‚einzig richtige‘ angesehen werden. Jede von ihnen kann – jeweils unter anderen Gesichtspunkten – besonders geeignet sein, bestimmte Arten und Reaktionen verständlich zu machen und als Ordnungsprinzip für die betrachteten Stoffe zu dienen. Wichtig ist, daß stets angegeben wird, in welchem Sinn die Bezeichnungen ‚Säure‘ oder ‚Base‘ gemeint sind. Statt schlechthin ‚Säure‘ oder ‚Base‘ sollte also immer angegeben werden: ARRHENIUS-Säure oder -Base, BRÖNSTED-Säure oder -Base, LEWIS-Säure oder -Base usw.“ (Reuber, 1972, III/25)

3.1.2 Didaktische und methodische Konsequenzen bei der Einführung eines tragfähigen Säure-Base-Begriffes

Die vorangegangene Darstellung verschiedener Säure-Base-Konzepte gibt einen Überblick über die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der Begriffe Säure und Base. Einleitend wurde bereits darauf hingewiesen, dass im Verlauf des Chemieunterrichts in der Schule verschiedene Säure-Base-Begriffe verwendet werden. Einschlägige Schul- und Lehrbücher führen neben einen Begriff auf der phänomenologischen Ebene – angelehnt an die Indikationsmethode nach Boyle – weitere Begriffe nach Arrhenius und Brønsted/Lowry ein. Zumindest in den Lehrbüchern wird außerdem der Lewis-Begriff und vereinzelt der Pearson-Begriff verwendet (vergl. z.B. Asselborn, Jäckel, & Risch, 1998; Atkins, 1998; Cotton, Wilkinson, & Gaus, 1990; Eisner, Gietz, Justus, Schierle & Sternberg, 1995; Mortimer, 1996). Für eine Vermittlung mehrerer Begriffe lässt sich eine didaktische Begründung anführen: Im Schulunterricht wird für gewöhnlich beginnend auf der Ebene der Phänomene mit zunehmenden Erkenntnissen eine Theorie über den Aufbau der Stoffe entwickelt. Begleitend dazu sollte auch der Säure-Base-Begriff in seinen Inhalten diesen Erkenntnissen angeglichen werden. Der boylesche Begriff lässt sich bereits auf der phänomenalen Ebene verwenden. Nach der Erkenntnis über den Aufbau der Stoffe können dann die Stoffgruppen Säuren und Basen oder deren wässrige Lösungen auf ihre gemeinsamen Bestandteile hin untersucht und der Arrhenius-Begriff entwickelt werden. Die Suche nach gemeinschaftlichen Prinzipien in einer Reaktion führt dann zum Brønsted- oder sogar zum Lewis-Begriff. Mit diesem Vorgehen sind jedoch auch Konsequenzen verbunden, die in die ebenfalls einleitend beschriebenen Lern- und Verständnisschwierigkeiten münden. Die Begriffe Säure und Base unterliegen dem Problem homonyme, synonyme und antonyme Eigenschaften zu besitzen. Die folgenden Abschnitte betrachten diese Probleme näher und liefern Forderungen, die für ein tragfähiges Säure-Base-Konzept zu erfüllen sind. Im Anschluss daran wird das Säure-Base-Konzept für die Lernumgebung ChemNet vorgestellt. Wenn sich dieses Konzept auch nicht von denen geläufiger Konzepte unterscheidet – auch in diesem Konzept wird neben einem phänomenologischen Begriff der Brønsted- und der Lewis-Begriff verwendet – so hat die jetzt folgende ausführliche Betrachtung insofern eine Berechtigung, als dass sie darüber aufklärt, in welcher Beziehung die verschiedenen

Begriffe der ausgewählten Säure-Base-Terminologie zueinander stehen sollten, um Lern- und Verständnisschwierigkeiten möglichst zu vermeiden.

3.1.2.1 Konsequenzen bei der Einführung eines homonymen Begriffes

Um die vielfältige und nicht eindeutige Verwendung des Säure-Base-Begriffes in der Chemie und im Alltag zu verdeutlichen soll dieser Abschnitt mit vier Zitaten beginnen:

- A „Säureregen über Deutschland. Wir wissen: Nichtmetalloxide ergeben zusammen mit Wasser Säuren. Dies ist nicht nur im Labor so, sondern auch in der freien Natur. Im Regenwasser lösen sich Schwefeldioxid und die Stickstoffoxide, aber auch Kohlenstoffdioxid; es bilden sich Schweflige Säure, Schwefelsäure, Salpetersäure und etwas Kohlensäure. Dieses Säuregemisch fällt dann als ‚Saurer Regen‘ auf uns herab. Freytag, Glaum & Thomas, 1996, S. 153)“
- B „Bei den Säure-Base-Titrationen finden Protonenübertragungen zwischen den Reaktionspartnern statt. Sie dienen zur Bestimmung von Säuren oder Basen. Man setzt dabei entweder eine saure Probelösung mit einer äquivalenten Stoffmenge an Base um, indem man mit einer die Base enthaltenden Maßlösung titriert (Alkalimetrie), oder man ermittelt umgekehrt die unbekannte Stoffmenge einer Base durch Titration mit einer Säuremaßlösung (Acidimetrie). (Jander & Jahr, 1989, S. 67)“
- C „Löst man eine beliebige Säure HA in Wasser, so läuft die folgende Protolysereaktion ab:
- $$\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^-$$
- (Flörke & Wolff, 1992, S.82)“
- D „Wenn man eine Carbonsäure und einen Alkohol in Gegenwart einer Mineralsäure (HCl oder H₂SO₄) als Katalysator erhitzt, bildet sich ein Ester und Wasser (Hart, 1989, S.258)“

Alle Zitate beschreiben chemische Sachverhalte, in denen Säuren eine wesentliche Rolle spielen. Es fällt nicht schwer zu erkennen, dass es sich nicht immer um den selben Säure-Begriff handelt. Die Autoren bedienen sich des Begriffes mit den für ihren Kontext passenden Inhalten. Neben den schon erwähnten – in der Schule üblichen – Bedeutungen werden auch andere eingesetzt. DE VOS stellt bei einer Analyse des niederländischen Zentralabiturprogramms (Syllabus) fest, dass von dem Säure-Base-Begriff in vielen unterschiedlichen Kontexten Gebrauch gemacht wird. DE VOS geht davon aus, dass sich dieses Phänomen nicht auf den niederländischen Sprachbereich begrenzt, „da es sich ja sowohl um ein curriculares und begriffshistorisches als auch ein begriffshistorisches Problem handelt, das eng mit der Geschichte der Chemie als Wissenschaft zusammenhängt.“ (de Vos, 1999, S. 225). Er sieht eine Reihe von Lernschwierigkeiten darin begründet, dass zum Beispiel ein Wort in einem Kontext eingeführt, später aber in einem anderen Kontext verwendet werde. Dort habe es eine andere Funktion oder bedeute sogar etwas anderes, ohne dass auf den Unterschied aufmerksam gemacht werde, sowohl im traditionellen Unterricht, wie auch im Syllabus selbst oder in Schulbüchern. Zum Beispiel werden in einem *Zubereitungskontext*, der die Herstellung der Säuren aus ihren Salzen oder anderen Stoffen behandelt (Salzsäure aus Salz, Salpetersäure aus Salpeter usw.), häufig nur die wässrigen Lösungen betrachtet, was durch die Namen Salzsäure oder Natronlauge angedeutet werde. Dieser Kontext ruft auch die von WENZEL angesprochene Gleichsetzung von Säuren oder Basen und ihren wässrigen Lösungen hervor. Eindrucksvoll wird ein vergleichbarer Zubereitungskontext im Zitat A demonstriert: Das Schulbuch, aus dem dieses Zitat entstammt, fasst Säuren konsequent als wässrige Lösungen auf. Salzsäure entsteht aus dem Salzsäuregas

Chlorwasserstoff und Wasser. Sauerstoffsäuren können aus entsprechenden Nichtmetalloxiden und Wasser hergestellt werden. In diesem Konzept werden konzentrierte von verdünnten Säuren unterschieden. Das Zitat B zur Beschreibung der Volumetrischen Titration von JANDER macht deutlich, dass in einem anderen Kontext, welcher von DE VOS *Analyse-Kontext* genannt wird, sehr wohl Säuren von ihren wässrigen Lösungen unterschieden werden. Für das Verständnis des Prinzips einer Titration ist diese Trennung sogar unerlässlich. Der Säuregehalt in einer Lösung kann schlecht bestimmt werden, wenn die Lösung bereits selbst als Säure verstanden wird. In einem *physikalisch-chemischen Kontext*, der nun nicht mehr wie im Zubereitungs-Kontext das Individuelle eines jeden Stoffes betont, sondern das Gemeinsame zu erfassen versucht, ist auch der Brønsted-Begriff zu sehen. Dieser verlagert nun die Sicht ausschließlich auf die Ebene der Teilchen. Hier werden die Teilchen des vorher als Lösungsmittel betrachteten Stoffes Wasser selbst zu Säuren oder Basen. Das Zitat C setzt zumindest das Reaktionsschema in diesem Kontext ein. Durch den einleitenden ersten Teil des Zitats „Löst man eine beliebige Säure HA in Wasser...“ kann Verwirrung auftreten, wenn diese Beschreibung als Anleitung auf stofflicher Ebene oder im Zubereitungskontext interpretiert wird. Für diejenigen, die den Brønsted-Begriff beherrschen, bedeutet dieser Ebenensprung allerdings keine Probleme. Das Zitat D ist als Beschreibung der Reaktion zweier Stoffe zu verstehen. Soll nun jedoch der Reaktionsablauf erklärt werden und insbesondere die katalytische Eigenschaft der Säure, so gelingt dies nur in einem physikalisch-chemischen Kontext. Genau genommen müsste der elektrophile Angriff des Protons als Säure-Base-Reaktion im Sinne von Lewis gedeutet werden. Welcher Säure-Begriff den Zitaten zugrunde liegt, erkennt ein geübter Chemiker unmittelbar aus dem Kontext, in dem er verwendet wird. Die Voraussetzung dafür ist das Verständnis der verschiedenen Inhalte zu dem Begriff, also dessen homonyme Bedeutungen.

Was geschieht nun, wenn der geübte Chemiker mit einem weniger geübten Laien über Säuren und Basen kommunizieren möchte, der Laie aber nur höchstens eine Alltagsvorstellung von diesen Begriffen besitzt? Im Alltag gelten Säuren als etwas Gefährliches und Ätzendes. Wie wird der Laie auf den Bericht *Säureregen über Deutschland* (Zitat A) reagieren? Ein Säuregemisch fällt auf ihn herab! Sofern der Chemiker den Begriff in einer der fachsprachlichen Bedeutungen verwendet, besteht zwangsläufig die Gefahr, dass er von dem Anfänger nicht verstanden wird. Verständnisschwierigkeiten beim Auftreten von Homonymen in einem Kommunikationsprozess – und dazu zählt auch die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Medien – werden von TEN VOORDE durch die Theorie der *Kluft des Nicht-verstehen-könnens* erklärt (ten Voorde, 1983a; ten Voorde, 1983b). TEN VOORDE sieht zwischen der Lehrperson und dem Lernenden im Chemieunterricht das Spannungsfeld, dass der Lehrende einerseits die Chemie mithilfe der Fachsprache dem Lernenden verständlich machen möchte, andererseits jedoch die Fachausdrücke in der Umgangssprache des Lernenden nicht verstanden werden können. Es entwickelt sich eine Kluft des Nicht-verstehen-könnens. Ein einfaches Übertragen der chemischen Begriffe und Methoden in den Anfangsunterricht, in der Annahme, dass der Lernende ihnen dieselbe Bedeutung zuweise wie der Lehrende, hält die Kluft zwischen den beiden Sprachen aufrecht. Diese Kluft kann ebenso auftreten, wenn ein Begriff in einem dem Lernenden bisher unbekanntem Kontext verwendet wird, obwohl er bereits fachchemische Kenntnisse hat oder wenn der Kontext nicht erkannt wird. Ein Lernender, der Säuren im Sinne des Zitats A versteht, wird mit der Beschreibung zur volumetrischen Titration (Zitat B) oder der Einleitung zur Protolysereaktion in Zitat C wenig anfangen können. Genauso werden Lernende, die das Zitat D auf der stofflichen Ebene interpretieren, die katalytische Wirkung der Mineralsäure nicht automatisch als Säure-Base-Reaktion erkennen können.

TEN VOORDE schlägt zur Vermeidung oder Überbrückung einer Kluft des Nicht-verstehen-könnens den Gebrauch einer eindeutigen Sprache vor: Für ihn ist es die Aufgabe der Lehrperson, sich zunächst eine didaktische Struktur zurechtzulegen. Sie soll beschreiben, „in welchem Kontext ein Begriff funktionieren kann und wie dieser Kontext sich zur Fachstruktur verhält“ (ten Voorde, 1987, S. 119). Als Fachstruktur bezeichnet TEN VOORDE den Zusammenhang der Begriffe, die Chemiker in ihrer Argumentation verwenden, in Bezug auf das Beschreiben und Erklären von Erscheinungen sowie auf das Vorhersagen eines Reaktionsverlaufs. Die Beschreibung des Atoms als *kleinstes Teilchen* wird hier nicht wie in der Umgangssprache als *Teil von* verstanden, sondern als *kleinste Einheit eines Systems*. Für diese didaktische Struktur hat TEN VOORDE in Zusammenarbeit mit DE MIRANDA ein Unterrichtsangebot entworfen, in dem die Schülerinnen und Schüler in einem dauernden Gespräch untereinander oder mit der Lehrperson in die Lage versetzt werden, aufgrund eigener Erfahrungen eine gemeinsame Sprache zu entwickeln, die es ermöglicht, Sachverhalte aus dem Chemieunterricht zu erfassen. In (ten Voorde, 1987) wird beispielsweise ein Unterrichtsangebot beschrieben, das auf die Entwicklung des Stoff-Begriffes zielt.

Das Angebot basiert auf der Niveaustufentheorie von VAN HIELE (van Hiele, 1986) und beschreibt drei Stufen der Kommunikation: Das Grundniveau, das Beschreibende und das Theoretische Niveau.

Das erste Niveau, das *Grundniveau*, beschreibt die Stufe, in der sich der Lernende zu Beginn des Chemieunterrichts befindet. Es ist gekennzeichnet durch die Handlungs-, Situations- und Anschauungsgebundenheit des Wortgebrauchs. Die Namen der Materialien sind eng mit ihrer Funktion im täglichen Leben verknüpft (Kaffeewasser, Teewasser, Schmieröl, Motoröl, Brennholz, gekochtes Ei usw.). Im Gespräch wird sich auf konkrete anweisbare Dinge bezogen (*dieser* eiserne Nagel, *der* Zuckerwürfel im Reagenzglas usw.). Auf diesem Niveau ist für den Lernenden der Kandis etwas anderes als Zucker.

Im folgenden *Beschreibenden Niveau* können Beziehungen zwischen nicht mehr anweisbaren Objekten formuliert werden. Aussagen beziehen sich nicht mehr auf das konkrete Material, mit dem experimentiert wird, sondern auf die erhaltenen Ergebnisse. Von Größe und Form der Gegenstände wird abgesehen und spezifische Eigenschaften als Gesichtspunkte gewählt. "Die Schüler können dann vereinbaren, zum Beispiel mit dem Namen *Zucker* ein Bündel spezifischer Eigenschaften (...) zu meinen. In diesem Kontext hat der Name *Kandis* keinen Platz mehr" (Vogelzang, 1988, S.237). Im beschreibenden Niveau ist zum Beispiel der Begriff *chemischer Stoff* als ein Bündel von Eigenschaften einzuführen, mit dem Merkmal, dass diese Eigenschaften bei einer chemischen Reaktion entstehen oder verschwinden können.

Im dritten *Theoretischen Niveau* wird versucht, die Beziehungen zu strukturieren, die im Beschreibenden Niveau gefunden worden sind. Dazu werden Prinzipien gesucht, mit deren Hilfe die Erscheinungen, die im zweiten Niveau beschrieben wurden, zu deuten sind. Die Beschreibungsmöglichkeit mit dem Begriff *Stoff* werden dann mithilfe des chemischen Elementes erklärt: Eine chemische Reaktion ist dann erklärbar als Umgruppierung von Elementindividualitäten.⁷

Das Schema von TEN VOORDE beschreibt die Entwicklung der Sprache im Kommunikationsprozess des Chemieanfangsunterrichts. Es soll dennoch für das Kapitel der Lernumgebung ChemNet in Betracht gezogen werden: Das Fach Chemie ist in der gymnasialen Oberstufe deutscher Schulen kein Pflichtfach. Es ist somit zu Beginn des Studiums von einem Wissensstand der abgeschlossenen zehnten Klasse auszugehen.

⁷ Der Begriff Elementindividualität wurde von TEN VOORDE gewählt. In der im Chemieunterricht deutscher Schulen üblichen Sprache wird an dieser Stelle beispielsweise von Atomsorten gesprochen.

Sollte einer der hier beschriebenen Mängel bei den Lernenden im Schulunterricht zu Verständnisschwierigkeiten, unzureichenden oder sogar falschen Begriffsbildungen geführt haben, so ist nicht auszuschließen, dass diese Schwierigkeiten bis zum Antritt des Studiums nicht beseitigt wurden. Ein Ansatz zur Vermittlung des Säure-Base-Begriffes sollte daher die fachdidaktischen Erkenntnisse aus der Schulchemie berücksichtigen.

Das Grundniveau dient dazu, die Alltagsvorstellungen der Lernenden aufzugreifen. Diese Maßnahme erachtet auch STORK für den Chemieunterricht der Sekundarstufe I als notwendig (Stork, 1988). Wird vom Lehrenden im Chemieunterricht ein Begriff eingeführt, der bereits einen homonymen Begriff in der Alltagssprache besitzt, so besteht die von TEN VOORDE beschriebene Gefahr des Auftretens einer Kluft des Nichtverstehen-könnens. Doch selbst wenn Erklärungsmuster für bereits erfahrene Phänomene bisher bei den Lernenden noch nicht begrifflich erfasst wurden, so müssen diese Erklärungsmuster im Unterricht berücksichtigt werden, wenn es darum geht, das betreffende Phänomen tragfähig zu deuten. Untersuchungen von JUNG im Physikunterricht und von PFUNDT im Chemieunterricht haben gezeigt, dass der Lernende häufig auf seine Alltagsvorstellungen zurückgreift, wenn diese nicht ausreichend thematisiert wurden und im scheinbaren Widerspruch zu dem im Schulunterricht Gelernten stehen (Jung, 1974; Pfundt, 1978). Bei der Vermittlung eines zu einem Begriff der Alltagssprache homonymen Begriffes sollte der Lehrende also immer die Inhalte des Alltagsbegriffes berücksichtigen.

Der Übergang vom Beschreibenden in das Theoretische Niveau bedeutet gleichzeitig ein Übergang vom Kontinuum in das Diskontinuum. Die Forderung von VAN HIELE und TEN VOORDE, unterschiedliche Niveaustufen durch das Verwenden einer unterscheidbaren Sprache kenntlich zu machen, ist ein nachhaltiger Prozess. Wird diese Sprache einmal entwickelt, so steht sie für die Kommunikation des gesamten Lernprozesses zur Verfügung und vermindert die Gefahr eines Missverständnisses. Auch für unterschiedliche Kontexte im theoretischen Niveau sollte die Sprache eindeutig bleiben. Bei Verwendung des Säure-Base-Begriffes im theoretischen Niveau muss deutlich werden, ob dieses beispielsweise im Sinne von Arrhenius, Brønsted oder Lewis geschieht. Damit würde der Säure-Base-Begriff seine homonyme Eigenschaft verlieren.

Die Entwicklung des Säure-Base-Begriffes soll der Verwendung einer in unterschiedlichen Abstraktionsebenen eindeutigen Sprache Rechnung tragen. Außerdem sollen die Vorkenntnisse, die die Studierenden aus dem eigenen Schulunterricht und aus Alltagserfahrungen mitbringen, genauso Berücksichtigung finden, wie das Vermeiden homonymer Begriffe.

3.1.2.2 Konsequenzen bei der Einführung antonymer und synonyme Begriffe

Ein noch älterer Stoffklassen-Begriff als Säure oder Base ist *Salz*. Ursprünglich wurden alle Stoffe, die äußere Ähnlichkeiten zum Natriumchlorid – dem Prototyp dieser Stoffklasse – besaßen, als Salz bezeichnet. Allen Salzen war die Löslichkeit in Wasser gemein, so dass lange Zeit auch Flüssigkeiten oder gut wasserlösliche Gase wie das Ammoniak zu den Salzen gezählt wurden (Reuber, 1972). Van Helmont (1577-1644) und Glauber (1604-1668) waren die ersten, die einen Zusammenhang zwischen Säuren, Basen und Salzen beschrieben. Van Helmont beobachtete beim Vermischen saurer und alkalischer Lösungen⁸ das Verschwinden ihrer typischen Eigenschaften und das Entstehen salzartiger Substanzen, die er als neutrales Salz (*sal salsum*) bezeichnete. Glauber

⁸ Zu van Helmonts Zeit wurden alkalische Lösungen noch als Alkali bezeichnet.

analysierte aus dem Salmiak mit Chlorwasserstoff und Ammoniak eine Säure und eine Base und stellte die These auf, Salze seien Stoffe die einen sauren und einen alkalischen Bestandteil enthielten. Er verlieh dieser These Gewicht, indem er anschließend eine Vielzahl von Salzen aus sauren und alkalischen Lösungen herstellte, wie beispielsweise den künstlichen Salpeter. Die Bezeichnung Base⁹ wurde erstmals für Stoffe verwendet, die als Grundlage (Basis) für die Salzbildung mit Säuren dienten. Zu ihnen zählten Metallhydroxide, -oxide und -carbonate. Es sollte noch mehr als zwei Jahrhundert dauern, bis Säuren und Basen in einen funktionalen Zusammenhang gebracht wurden. Lowry (1874-1936) gelang dies mit der Theorie des Protonenübergangs. Fortan wurden in den Begriffen Säuren und Basen Antonyme gesehen. Die antonyme – beide voneinander unterscheidbare – Eigenschaft war abhängig von der jeweiligen Theorie. Wie Brønsted/Lowry beschreiben auch Lewis und Ussanovich Donator-Akzeptor-Konzepte mithilfe des Säure-Base-Begriffs. Lewis betrachtete den Elektronenpaarübergang und Ussanovich jeden Übergang geladener Teilchen. Rückblickend wurden nun ebenfalls andere Säure-Base-Begriffe antonym aufgefasst. Der boylesche Begriff mit der Indikationsmethode behielt in der Lehre und in der Laborpraxis seine Bedeutung. Er bietet eine gute Unterscheidung von Säuren und Basen auf phänomenaler Ebene, die zum Beispiel mit dem Arrhenius- oder Brønsted-Begriff verträglich ist, sofern eine Beschränkung auf wässrige Lösung beachtet wird.

Es ist also kein Zufall, dass die Stoffgruppen *Säuren* und *Basen* in einem Atemzug genannt und auch im Unterricht auf gemeinsame und unterschiedliche Eigenschaften hin untersucht werden. Die Chemiker beschäftigte seit jeher das Phänomen, dass die Wirkung der sauren und alkalischen Lösung sich gegenseitig aufheben kann und damit die Frage nach der wesentlichen Eigenschaft, die einen Stoff eine Säure oder eine Base sein lässt. Auch im Unterricht werden Säuren und Basen trotz vieler Gemeinsamkeiten immer durch mindestens eine gegensätzliche Eigenschaft voneinander abgegrenzt. Es wäre im Sinne TEN VOORDES für eine eindeutige und verständliche Sprache und im Sinne AEBLIS für eine Ordnung im Geiste hilfreich, wenn diese Abgrenzung über mehrere Niveaustufen und Konzepte hinweg beachtet werden könnte.

Die Begriffe Säure und Base sollten in jedem Kontext Antonyme sein.

Die Forderung nach einer konsequenten Verwendung der Begriffe Säure und Base als Antonyme wirkt sich unmittelbar für den Gebrauch von Synonymen aus. Gerade im Alltag oder in der technischen Berufswelt sind historische Begriffe wie Alkalie oder Lauge immer noch üblich. Diese sollten im Unterricht aufgegriffen und in das jeweilige Säure-Base-Konzept eingeordnet werden. Zwei Begriffe sollten jedoch nur dann synonym verwendet werden, wenn deren Inhalte identisch sind. Wenn im Unterricht eingangs die Stoffgruppen Basen und Laugen synonym eingeführt würden, so wäre die Säure – das Antonym zur Base – als wässrige Lösung im Sinne des von FREYTAG ET AL. vertretenden Zubereitungskontexts zu verstehen. Soll jedoch entsprechend der Empfehlung von WENZEL eine strikte Trennung zwischen Säuren bzw. Basen und deren sauren Lösungen beachtet werden, so kann Lauge kein Synonym für Base sein, da Laugen grundsätzlich als wässrige Lösungen aufgefasst werden.

Bei der Einführung zweier Begriffe als Synonyme sollte beachtet werden, dass sie inhaltlich in jedem Merkmal übereinstimmen.

⁹ Wie in 3.1.1.5 bereits erwähnt gewann dieser Begriff erst im 18. Jahrhundert zunehmende Bedeutung.

3.1.3 Zur Terminologie im Säure-Base-Konzept

Es wird nun eine tragfähige und mit der Lehr- und Schulbuchliteratur verträgliche Terminologie vorgestellt, die außerdem die vorangegangenen Betrachtungen berücksichtigt. Das Konzept soll konsequent das Auftreten von Homonymen vermeiden und dennoch den Gebrauch des Säure-Base-Begriffes auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen erlauben. Säuren und Basen werden von Beginn an als Antonyme voneinander abgegrenzt. Alltagsvorstellungen der Lernenden werden berücksichtigt und Begriffe mit verwandter Bedeutung auf ihre Funktion als Synonyme geprüft.

Zur Klassifizierung von Stoffen als Säuren oder Basen soll ein Definition benutzt werden, die auch auf der Ebene des Kontinuums tragfähig ist. Die ursprünglich namengebende Eigenschaft des sauren Geschmacks für eine Säure scheint, in Anbetracht der ätzenden Wirkung konzentrierter Stoffportionen von Säuren oder Basen, ungeeignet. Die von Boyle beschriebene Eigenschaft aller Stoffe, bestimmte Indikatoren charakteristisch zu färben, ist dagegen gefahrlos zu testen. Diese operationale Definition soll mit einer präzisierenden Modifikation übernommen werden. Boyle unternahm keine begriffliche Trennung der Säuren und Basen von ihren wässrigen Lösungen. Säuren bzw. Basen und ihre wässrigen Lösungen zeigen jedoch unterschiedliche Eigenschaften: Eine erfolgreiche Indikation von Säuren und Basen erfordert immer die Anwesenheit von Wasser. Salzsäure, die wässrige Chlorwasserstoff-Lösung, färbt den Pflanzenfarbstoff Lackmus rot. Chlorwasserstoff selbst jedoch ebenso wenig wie auch die Reinstoffe Citronen-, Essig- oder Schwefelsäure. Nur wässrige Lösungen der Säuren haben die Eigenschaft, Indikatoren charakteristisch zu färben. Im Allgemeinen werden diese Lösungen saure Lösungen genannt. Für eine direkte Analogie wäre der Begriff *basische Lösung* als wässrige Lösung einer Base geeignet. Leider hat sich diese Bezeichnung in der Literatur nicht etablieren können. Um die Lernenden also nicht mit einem zusätzlichen Begriff zu belasten, soll der in der Literatur übliche Begriff alkalische Lösung eingeführt werden. Als Definition für Säuren und Basen sowie ihre wässrigen Lösungen wird präzisiert:

Säuren und Basen sind Stoffe, dessen wässrige Lösungen Indikatoren charakteristisch färben. Die wässrige Lösung einer Säure heißt saure Lösung. Die wässrige Lösung einer Base heißt alkalische Lösung.

Mit dieser Definition ist es möglich, Stoffe experimentell einer der Stoffgruppen Säure oder Base zuzuordnen. Sie umfasst nicht nur die Stoffe, die schon durch ihre Namengebung als Säuren identifiziert werden, sondern auch saure oder alkalische Oxide und Salze schwacher Säuren und starker Basen bzw. starker Säuren und schwacher Basen, die mit Wasser durch Hydrolyse eine alkalische oder saure Lösung bilden¹⁰.

Diese Definition betrachtet nur Stoffeigenschaften und bietet noch keine Erklärung für vergleichbares Verhalten unterschiedlicher Stoffe. Mit zunehmenden Kenntnissen über ihren Aufbau erweist sich eine Definition über gemeinsame Eigenschaften der Teilchen von Säuren oder Basen als sinnvoll. Um einen möglichst tragfähigen Begriff einzuführen empfiehlt es sich, auf Definitionen zu verzichten, die nur einen Teil der Säuren oder Basen als solche klassifizieren. Daher wird auf die unvollständigen Konzeptionen von Lavoisier oder Stahl genauso wenig zurückgegriffen wie auf die nach heutigen Erkenntnissen wenig tragfähigen Theorien von Lemery oder Stahl. Als

¹⁰ Die Schwierigkeit der Bezeichnung Salzsäure für eine saure (Chlorwasserstoff-) Lösung muss hier als Ausnahme akzeptiert werden: Chlorwasserstoff ist eine Säure und Salzsäure ihre saure Lösung. Um Verständnisschwierigkeiten möglichst vorzubeugen, wird diese Ausnahme im Testkapitel explizit erwähnt.

Übergangshypothese ist die Theorie von Arrhenius zwar ausreichend (Arrhenius-Säuren sind Stoffe, deren Moleküle in wässriger Lösung in Wasserstoff- und Säurerest-Ionen dissoziieren. Arrhenius-Basen sind Stoffe, deren Moleküle in wässriger Lösung in Hydroxid-Ionen und Metall-Ionen dissoziieren). Nach diesem Begriff sind jedoch Stoffe, dessen Teilchen durch Aufnahme von Protonen der Wasser-Moleküle zur Bildung von Hydroxid-Ionen beitragen, keine Basen, da hier beim Lösen des Stoffes in Wasser keine Dissoziation ihrer Moleküle stattfindet. Ammoniak wäre also keine Base. Eine wässrige Ammoniak-Lösung wird jedoch von jedem Säure-Base-Indikator als alkalische Lösung identifiziert. Auch der Arrhenius-Begriff ist also nicht umfassend genug.

Als zweiter Säure-Base-Begriff wird in ChemNet der Säure-Base-Begriff nach Brønsted/Lowry eingeführt. Der Begriff von Brønsted/Lowry berücksichtigt die Base-Wirkung von Stoffen, dessen Teilchen in Wasser durch Aufnahme von Wasserstoff-Ionen zur Bildung einer alkalischen Lösung beitragen. Um eine deutliche Trennung dieses – allein auf der Teilchenebene anwendbaren – Konzeptes von dem ersten Säure-Base-Begriff zu gewährleisten und somit die Gefahr möglicher Verständnisschwierigkeiten durch das Auftreten von Homonymen zu verringern, werden diesen Säuren und Basen entsprechend der oben zitierten Empfehlung von REUBER ET AL. der Name Brønsted vorangesetzt:

Brønsted-Säuren sind Teilchen, die gegenüber anderen Teilchen als Protonendonatoren wirken und Brønsted-Basen sind Teilchen, die gegenüber anderen Teilchen als Protonenakzeptoren wirken.

An dieser Stelle wird deutlich, dass der Zubereitungs-kontext auf phänomenologischer Ebene nicht verwendet werden kann, sondern zwischen Säuren bzw. Basen und deren wässrigen Lösungen zu unterschieden ist. Durch die Bezeichnung von Reinstoffen als Säuren können direkte Bezüge zu den Brønsted-Säuren hergestellt werden. Die Teilchen einer Säure im Sinne von Boyle können nämlich gegenüber Wasser als Brønsted-Säure wirken. Der Säure-Base-Begriff nach Brønsted/Lowry hat den Vorteil, dass sich unter Einbindung des chemischen Gleichgewichtes das Phänomen einer starken oder schwachen Säure oder Base oder auch die alkalische oder saure Wirkung der Salze schwacher Säuren und starker Basen wie zum Beispiel Natriumacetat oder starker Säuren und schwacher Basen wie das Ammoniumchlorid erklären lässt. Natürlich soll an dieser Stelle nicht verschwiegen werden, dass der Begriff auch Nachteile hat:

- Das Konzept ist nicht *vollständig* verträglich mit der anschauungsgebundenen Definition. Natriumhydroxid ist nach Brønsted keine Base. Allenfalls das „Hydroxid“ ist eine Brønsted-Base, da die Hydroxid-Teilchen in der Lage sind, Protonen aufzunehmen und bei Berücksichtigung des chemischen Gleichgewichtes ein solches von Wassermolekülen auch akzeptieren werden.
- Außerdem ist es nicht möglich, mithilfe dieses Konzeptes eine zufriedenstellende Antwort auf die Fragen ‚Was *ist* eine Säure?‘ oder ‚Was *ist* eine Base?‘ zu geben. Der Begriff der Brønsted-Säuren und -Basen ist kein absoluter sondern ein relativer Begriff: Der Vorgang einer Protonenabgabe oder -aufnahme ist abhängig von den gegebenen Versuchsbedingungen. In Gegenwart einer stärkeren Säure werden Essigsäure-Moleküle ihre Protonen nicht an Wasser-Moleküle abgegeben. Die Säurerest-Ionen bereits dissoziierter Essigsäure-Moleküle nehmen fast sämtlich im Sinne einer Brønsted-Base Protonen von den Teilchen der stärkeren Säure auf. Die Essigsäure-Moleküle bleiben bei Anwesenheit einer stärkeren Säure nahezu vollständig undissoziiert und verlieren somit die Eigenschaften einer Brønsted-Säure.

Teilchen können gar keine Protonendonatoren oder -akzeptoren *sein*, sie können nur systemabhängig als solche *wirken*.

Diese Konsequenzen des Säure-Base-Begriffes nach Brønsted/Lowry sind vergleichbar mit den Konsequenzen, die sich bei der Einführung der Begriffe Oxidation und Reduktion in zwei unterschiedlichen Ebenen ergeben. Wird Oxidation in der Ebene des Kontinuums als Sauerstoff-Aufnahme eingeführt, so gilt diese Reaktion im Diskontinuum – wenn Oxidation als Elektronen-Abgabe und Reduktion als Elektronen-Aufnahme definiert wird – bereits als vollständige Redoxreaktion. Außerdem ist der Begriff Oxidationsmittel immer ein relativer Begriff. Ein Stoff kann nur gegenüber schwächeren Oxidationsmitteln oxidierend wirken. Derartige Schwierigkeiten lassen sich nur schwer vermeiden. Sie müssen jedoch zur Kenntnis genommen werden und werden daher im Kapitel der Lernumgebung ChemNet explizit thematisiert.

In der Alltags- sowie in der Fachsprache wird für wässrige Lösungen starker Basen auch der Begriff *Lauge* verwendet (Wasch- oder Seifenlauge bzw. Natron- oder Kalilauge) und gelangt sogar durch den Titel *Säuren und Laugen* in die Unterrichtseinheit einiger didaktischer Konzeptionen (vergl. Freytag, Glaum, & Thomas, 1996; Häusler & Pavenzinger, 1992). Die Gefahr, Basen und Laugen synonym zu verwenden, ist recht groß und – wie oben bereits angesprochen – nicht unproblematisch. Laugen sind nach der von uns gewählten Terminologie wässrige Lösungen von Basen. Der Einsatz des Begriffes Lauge bietet neben den bestehenden Schwierigkeiten auch den Nachteil, dass es für saure Lösungen keine begriffliche Entsprechung zur Lauge gibt. Um der Forderung nachzukommen, eventuelle Alltagskenntnisse zu berücksichtigen, wird in ChemNet zwar der Begriff Lauge im Zusammenhang mit der Definition alkalischer Lösung erklärt und von anderen Begriffen abgegrenzt; im weiteren Verlauf des Kapitels wird er jedoch nicht weiter verwendet.

Für die Ausbildung der Diplomchemiker bietet der Säure-Base-Begriff nach Lewis eine brauchbare Klassifikation, wenn es beispielsweise erforderlich ist, in der Komplexchemie oder in der organischen Chemie Wechselwirkungen und Reaktionsmechanismen zu beschreiben. Aus diesem Grund wird auch dieser Begriff in dem Säure-Base-Kapitel mit aufgenommen. Um ihn von dem Boyle-Begriff und dem Brønsted-Begriff namentlich abzugrenzen, werden diese Säuren und Basen – wie in der Fach- und Schulbuchliteratur üblich – Lewis-Säuren und Lewis-Basen genannt.

Die Begriffe nach Ussanovich und Pearson sind für ein vertieftes Verständnis der Chemie von besonderem Interesse: Der Ussanovich-Begriff ist ein ordnendes Element, welcher verschiedene Donator-Akzeptor-Konzepte wie die Redox-Theorie und die Säure-Base-Theorie nach Lewis miteinander in Beziehung setzt. Das Pearson-Konzept klassifiziert Lewis-Säuren und -Basen und klärt über einen Zusammenhang der Größe eines Teilchens, ihre Polarisierbarkeit und die Fähigkeit, eine koordinative Bindung in einem Komplex einzugehen, auf. Für eine Erarbeitung der Begriffe ist ein Bezug zu anderen Themengebieten der Chemie wie die Redox-Theorie, der Aufbau der Atome oder die Komplexchemie sinnvoll. Damit würde jedoch die Abgeschlossenheit des gesamten Kapitels gefährdet. Im Hinblick auf eine Untersuchung ist es notwendig, dass die Teilnehmer ausschließlich mit dem Säure-Base-Kapitel lernen. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, diese Begriffe in das Konzept für ChemNet mit aufzunehmen.

Das vorgestellte Konzept verwendet drei Säure-Base-Begriffe: Einen *phänomenologischen Begriff* nach Boyle, der es gestattet, Säuren und Basen durch eine Indikationsmethode zu identifizieren, den *Brønsted-Begriff*, welcher die Säure- oder Base-Wirkung von Teilchen beschreibt und den *Lewis-Begriff*, für ein vertieftes Verständnis chemischer Reaktionen, die zur Ausbildung kovalenter Bindungen führen. Das Konzept verträgt sich beispielsweise





mit dem der Schulbücher „Elemente Chemie“ (Eisner, Gietz, Justus, Schierle & Sternberg, 1995) oder „Chemie heute“ (Asselborn, Jäckel, & Risch, 1998) und mit einschlägigen Lehrbüchern (Cotton, Wilkinson & Gaus, 1990; Mortimer, 1996). Es werden somit keine Komplikationen erwartet, falls der Lernende ChemNet als ergänzende Lektüre zu anderen Medien verwendet.

3.2 Die Gestaltung des Säure-Base-Kapitels

3.2.1 Der Aufbau der internetbasierten Lernumgebung ChemNet

ChemNet vermittelt die Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie. Hauptbestandteil der Lernumgebung ist ein fachlicher Basistext, welcher die themenspezifischen Inhalte als Lehrtext anbietet. Die Inhalte werden an geeigneter Stelle durch Bilder und Grafiken illustriert. Darüber hinaus führen typisierte Verknüpfungen vom Basistext zu weiteren Knoten, auf denen die Inhalte in unterschiedlicher Kodierungsform vertieft werden. So werden Videos, Fotos und 3-D-Simulationen angeboten oder es sind über Piktogramme fachspezifische Zusatzinformationen wie beispielsweise ausführliche Berechnungen, Beispiele oder Gedächtnisstützen anzuwählen. Tabelle 1 zeigt typische Piktogramme mit ihren Bedeutungen. Abbildung 7 zeigt eine typische Seite aus dem Basistext.


Tabelle 1: Ausgewählte Piktogramme und ihre Bedeutung

	Information	Zusätzliche und ausführlichere Erklärungen und Informationen, die den Basis-Text erweitern und ergänzen.
	Beispiel	Beispiele, die zum besseren Verständnis der Inhalte des Textes dienen.
	Gedächtnisstütze	Kleine Hilfen zum besseren Behalten und Verständnis von Zusammenhängen.
	Wurzelzeichen	Ausführliche Berechnungsschritte, Herleitung von Formeln und mathematischen Zusammenhängen.

The screenshot shows a web browser window titled 'Rutherford'sches Atommodell [CHEMnet] - Microsoft Internet Explorer von Lycos Betriebsam'. The address bar shows 'http://www.chemnet.de/atommodell/'. The page content includes a navigation menu on the left with links like 'Startseite', 'Der radica...', 'Rutherford...', 'Stabile At...', 'Kapitelübersicht', 'Volltextsuche', and 'Index'. The main content area is titled 'Rutherford'sches Atommodell' and contains the following text:

Die experimentellen Ergebnisse der Streuung von α -Teilchen an Goldfolie veranlassten Lord Rutherford zu einem neuen Atommodell, in dem die nahezu masselosen Elektronen die Atomkerne in einer Art Wolke umschwärmen. Durch Analyse der Streueergebnisse konnte er die Dimensionen und auch die Kernladung der Goldatome recht gut abschätzen.

Der Rutherford'sche Streuversuch



Rutherford's Atommodell 1911

Das Rutherford'sche Atommodell gab Aufschluss über die räumliche Anordnung der atomaren Bausteine und die atomaren Dimensionen: Der Durchmesser des Kernes beträgt mit etwa 10^{-15} m nur einen Bruchteil des Atomdurchmessers von 10^{-10} m.

Beispiel zur Atom- und Kerngröße

Die positive Ladung des Kernes wird durch eine entsprechende Zahl von Elektronen genau kompensiert, so dass die Atome nach außen neutral sind.

Abbildung 7: Screenshot einer ausgewählten Internet-Seite von ChemNet mit Hyperlinks und Piktogrammen.

Inhalte der Videoaufnahmen sind häufig Realexperimente, die exemplarisch im Text behandelte Reaktionen visualisieren (siehe auch Abbildung 11).

Über eine Navigationsleiste sind zu jedem Zeitpunkt Begriffsdefinitionen über ein Glossar, wichtige Konstanten oder Einheiten und eine Online-Hilfe anzuwählen. Diese Angebote sind im Gegensatz zu den vorher beschriebenen unabhängig von der gewählten Seite immer aufzurufen. Weit fortgeschritten ist auch die Entwicklung interaktiver Implementationen wie Simulationen oder Übungsaufgaben. Die Volltextsuche, das Inhaltsverzeichnis und die Möglichkeit, eine Rückmeldung an den jeweiligen Autor zu geben, vervollständigen das Navigationselement und die zugehörige Menüleiste. Abbildung 8 zeigt die einzelnen Komponenten der Lernumgebung in einer Übersicht.

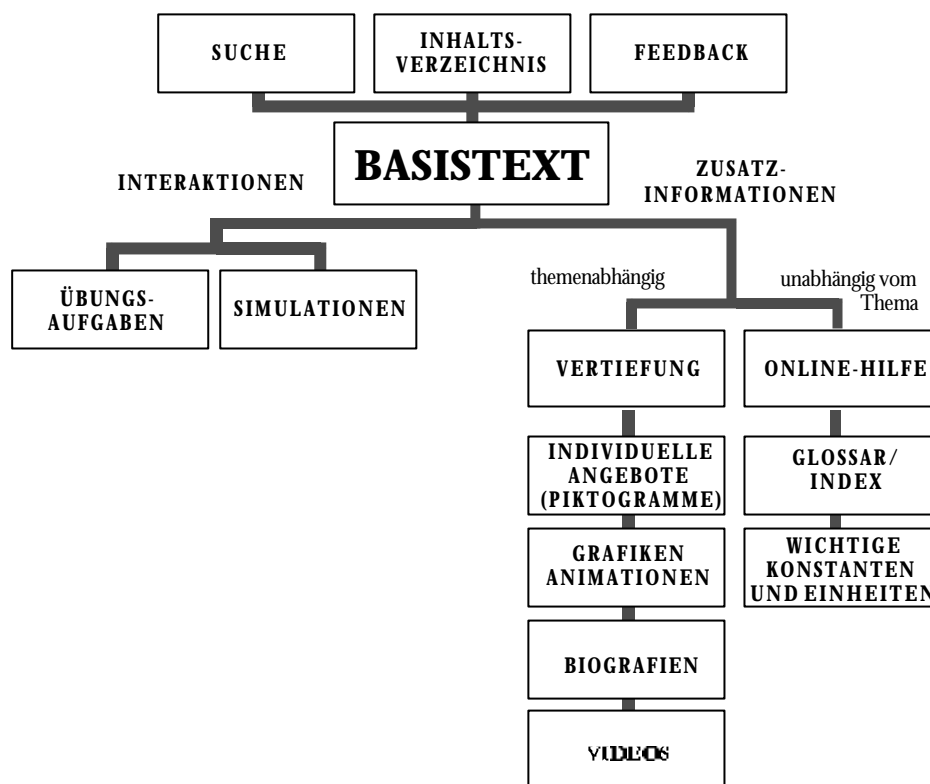


Abbildung 8: Schema des Aufbaus von ChemNet

3.2.1.1 Technische Details

Die Lernumgebung wird auf einem apache-Webserver (Linux) auf Basis eines PHP3/mysql-Systems betrieben. Hier werden die Webseiten dynamisch erzeugt und mit den Navigationsinformationen bestückt. Zur Datenbank-Kommunikation wird phplib (Release 7.2) genutzt. Durch diese Struktur ist eine ausreichende Skalierung des Systems gewährleistet. Alle Änderungen und Ergänzungen in der Präsentation erfolgen über ein leistungsstarkes Administrationstool. Die Videosequenzen sind auf dem neuen Server sowohl über LAN als auch über ein 56K-Modem erhältlich. Alle Seiten wurden für eine Bildschirmauflösung von 600 x 800 optimiert (weitere Informationen Nick, et al., 2001).

3.2.2 Der Aufbau des Säure-Base-Kapitels

Das Säure-Base-Kapitel unterscheidet sich in der Grundstruktur nicht von der anderer ChemNet-Kapitel. Den Lernenden steht das externe Navigationssystem genau so zur Verfügung wie der Indexbereich. Für die Untersuchung werden jedoch zwei Textstrukturen – linear und vernetzt – in der Anordnung der Knoten und den ihnen inhärenten Verknüpfungen unterschieden. Die unterschiedlichen Strukturen bedingen zur Gewährleistung der globalen Kohärenz eine voneinander verschiedene Organisation und Gestaltung der Inhalte. Die Anordnung der Knoten und Inhalte werden daher getrennt beschrieben (Kapitel 3.2.2.3). In dem Säure-Base-Kapitel wurde auf den Einsatz von Animationen und dreidimensionalen Simulationen verzichtet. Der Einfluss dieser Medien auf den Lernprozess ist noch weitestgehend ungeklärt (s. Hasebrook, 1995a; Schulmeister, 1997) und sollte als weitere zu berücksichtigende Variable von der Untersuchung ausgeschlossen werden (siehe auch 1.4).

3.2.2.1 Das lineare Kapitel¹¹

Die lineare Form des Säure-Base-Kapitels kommt den anderen Kapiteln von ChemNet sehr nahe. Die Themen können über die Navigationsleiste in der vom Autor vorgegebenen Reihenfolge aufgerufen werden. Um eine strenge Linearität zu gewährleisten, gibt es innerhalb der Textseiten nur Verknüpfungen zu Unterabschnitten (z.B. typisierte Verknüpfungen in Form eines Piktogramms). Diese sind bidirektional, so dass es immer möglich ist, wieder auf den Ausgangsknoten zurückzukommen. Auf den Unterabschnitten existieren keine weiteren Verknüpfungen. Verweise auf einen Unterabschnitt sind also als „Sackgassen“ anzusehen. Sprünge über mehrere Themenabschnitte sind ausschließlich über das Inhaltsverzeichnis und somit nur bewusst zu vollziehen. Abbildung 9 zeigt ein Schema der linearen Struktur.

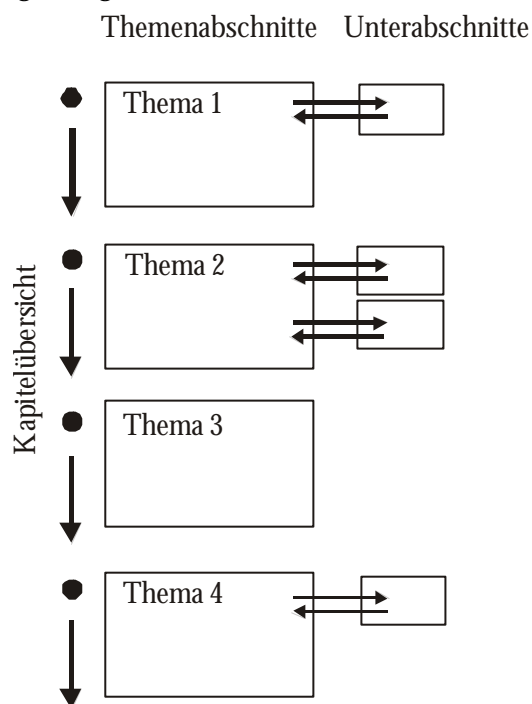


Abbildung 9: Schema der linearen Struktur.

Die Kästen repräsentieren einzelne Themenseiten des Säure-Base-Kapitels. Die Themen werden in einer sinnvollen Reihenfolge nacheinander abgehandelt. Bidirektionale Pfeile im rechten Teil der Abbildung weisen auf Verbindungen zu Unterabschnitten mit weiterführenden Informationen.

Von den Knoten des Glossars aus gibt es Verknüpfungen zu den relevanten Knoten des Säure-Base-Kapitels. Das Glossar kann von jedem beliebigen Knoten (Themen- oder Unterabschnitt) nur über die Navigationsleiste ausgewählt werden. Zugunsten der Linearität des Kapitels wurde darauf verzichtet, innerhalb der Themenabschnitte ebenfalls Verknüpfung zu den relevanten Knoten des Glossars zu setzen. Die einzelnen Knoten sind inhaltlich so aufgebaut, dass ein Lesen der Abschnitte in der vorgegebenen Reihenfolge globale Kohärenz gewährleistet. Begriffe zum Thema Säuren und Basen, die in einem Knoten verwendet werden, wurden entweder innerhalb desselben Knotens oder in einem vorangehenden Knoten eingeführt oder definiert.

Das Kapitel besteht aus 26 Hauptseiten und 28 Abschnitten einer unteren Ebene. Letztere beinhalten hauptsächlich Tabellen, Beispiele oder Berechnungen. In die Seiten

¹¹ Einzusehen unter der Adresse www.chemievorlesung.uni-kiel.de/sbase1

wurden sieben Videos der Länge von maximal vierzig Sekunden integriert. Es konnte außerdem auf 52 Indexseiten zurückgegriffen werden.

3.2.2.2 Das vernetzte Kapitel

In Abschnitt 2.3.3 ist die Struktur in der Anordnung ihrer Knoten und Verknüpfungen bereits kurz vorgestellt worden. Der Unterschied zur linearen Struktur ist im Wesentlichen in dem Angebot von Themenschwerpunkten zu sehen. Zu jedem Thema gibt es eine Auswahl relevanter Knoten, die über Verknüpfungen von der Hauptseite des Themenschwerpunktes aufgerufen werden können. Das einzige lineare Angebot der vernetzten Version ist die Auflistung der Themenschwerpunkte in einer Gesamtübersicht (Inhaltsverzeichnis). Die Reihenfolge der Themen erfolgt analog der Reihenfolge entsprechender Themen in der linearen Version. So ist beispielsweise in beiden Versionen die Einführung der Säure- und Base-Definition über der des pH-Wertes zu finden. Der Leser hat somit immer den Überblick über seinen derzeitigen Standort (ein Knoten im ausgewählten Themenschwerpunkt) und über die Inhaltsübersicht außerdem die freie Wahlmöglichkeit des gewünschten Schwerpunktes. Die lineare Anordnung der Schwerpunkte soll es dem Leser erlauben, sich bei Lernschwierigkeiten zu orientieren oder von der Grobstruktur leiten zu lassen. Die Inhalte sind hier so angeordnet, dass der Lernende die Inhalte eines Abschnittes sinnvoll an die des zuvor gelesenen Abschnittes anknüpfen kann.

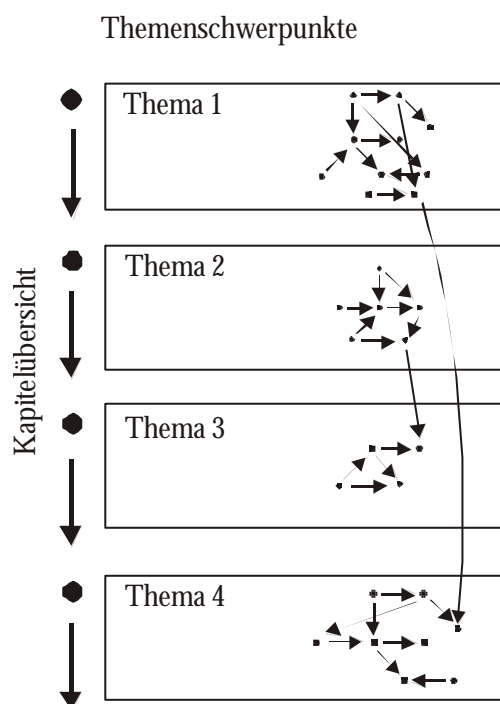


Abbildung 10: Schema zum Aufbau der vernetzten Hypertextbasis des Säure-Base-Kapitels von *ChemNet*. Die Kästen repräsentieren einzelne Themenschwerpunkte des Säure-Base-Kapitels. Innerhalb der Themenschwerpunkte können Informationsknoten in einer beliebigen Reihenfolge durchlaufen werden. Darüber hinaus bestehen Verknüpfungen zu weiterführenden Informationsknoten in anderen Themenbereichen. Über die Kapitelübersicht können die Themenschwerpunkte auch in linearer Reihenfolge abgehandelt werden.

Globale Kohärenzmittel der Knoten sind ausschließlich Verknüpfungen. Die einzelnen Knoten sind daher als inhaltlich abgeschlossen anzusehen. Verknüpfungen dienen als Hinweis für Zusatzinformationen oder Definitionen des betreffenden

Begriffes. Dadurch ist das Durcharbeiten der Themenschwerpunkte in einer beliebigen Reihenfolge möglich. Wenn in einem Knoten ein Begriff verwendet wird, zu dem es im Kapitel eine Definition oder eine Erklärung bzw. Zusatzinformation gibt, so existiert eine direkte Verknüpfung zur betreffenden Seite. Diese ist für gewöhnlich durch das unterstrichene Wort selbst repräsentiert. Das Glossar ist genauso zu bedienen wie in der linearen Struktur. Abbildung 10 stellt die Struktur des vernetzten Kapitels in einem Schema dar.

Das Kapitel besteht aus 20 Themenschwerpunkten und 91 weiteren Knoten. Auch hier wurden die selben sieben Videos integriert, die auch in der linearen Version angesehen werden können.

In beiden Strukturen werden die vom Lernenden angewählten Links durch eine Farbänderung kenntlich gemacht. Besonders in der vernetzten Version, die häufig über mehrere Verknüpfungen auf der Themenschwerpunktseite verfügt, können so bereits benutzte Pfade von noch unerschlossenen unterschieden werden. Dieses Angebot gilt als weiteres Hilfsmittel, welches die Navigation besonders in der vernetzten Version erleichtern soll.

3.2.2.3 Unterschied zwischen linearer und vernetzter Struktur in der Darstellung der Inhalte

Die unterschiedliche inhaltliche Gestaltung beider Strukturen ist eine Folge der ihnen zugesprochenen unterschiedlichen Funktionen. Während ein linear aufgebauter Text den Leser anleiten soll, dient der vernetzte dem schnellen Auffinden benötigter Informationen. So werden die Inhalte im linearen Kapitel eher deduktiv entwickelt. Ein neuer Begriff wird eingeführt, nachdem an exemplarischen Beispielen neue Erkenntnisse gewonnen wurden. Ein Beispiel wird durch die Abbildung 11 illustriert: Hier wird als Video oder durch Standbilder ein Experiment vorgestellt, gedeutet und in die bisher erarbeiteten Wissens Elemente eingeordnet: *In Mineralwasser ist Kohlenstoffdioxid-Gas gelöst. Dieses Gas ist für das Bilden der bekannten Kohlensäure verantwortlich. Die saure Lösung ist über Indikatoren nachzuweisen.* Daraus und unter Berücksichtigung des bisher Gelernten ergeben sich neue Fragen: *Welches Teilchen wirkt als Brønsted-Säure? Kohlenstoffdioxid-Moleküle besitzen keine Wasserstoffatome. Sie können daher nicht als Protonendonatoren – also als Brønsted-Säuren – wirken.* Eine Antwort wird in der Bildung des sehr instabilen Kohlensäure-Moleküls gefunden, welches sich aus einem Kohlenstoffdioxid- und einem Wasser-Molekül bildet. Ein neuer Begriff wird formuliert: *Kohlenstoffdioxid ist ein Säureanhydrid (es kann als durch Wasserentzug der Brønsted-Säure ‚Kohlensäure‘ entstanden gedacht werden).* Durch den linearen Aufbau ist es möglich, Rückgriffe auf vorher Erarbeitetes oder Hinweise auf später Kommendes einzusetzen.

Die vernetzte Version kann diese globalen Kohärenzmittel nicht bieten, da die Knoten einer vernetzten Hypertextversion inhaltlich abgeschlossen sein müssen (siehe Abschnitt 2.1.2). Außerdem würde ein deduktives Vorgehen die Freiheit der Auswahl einzelner Knoten ebenfalls unterbinden und eher ein Abarbeiten in einer bestimmten Reihenfolge bedingen. Aus diesem Grund beginnen die Themenschwerpunkte gewöhnlich direkt mit einer Definition oder einer Theorie. Beispiele, Experimente, Erklärungen, wissenschaftliche Befunde oder Abgrenzungen zu anderen Begriffen können dann über Links angewählt werden (Abbildung 12). Trotz des unterschiedlichen inhaltlichen und strukturellen Aufbaus wurden, aus Gründen einer Vergleichbarkeit der Lernprozesse mit der jeweiligen Struktur, vergleichbare Inhalte behandelt.

CHEMnet
Säuren & Basen

Inhalt | Aufgaben | Feedback | Plugins | Zusatzangebote | Links | Druck

Theorie der Säuren und Basen

Säureanhydride, die sauren Oxide

Startseite
 ← Kohlenstoff...
 • Säureanhyd...
 ▶ Kapitelüber...
 Index

Neue Begriffe:

- Säureanhydrid
- saures Oxid
- Bsp: Kohlenstoffdioxid

Wird Kohlenstoffdioxid in Wasser eingeleitet, dann entsteht eine Lösung mit leicht sauerlichem Geschmack, der von vielen Erfrischungsgetränken bekannt ist. Es ist leicht zu prüfen, dass hier eine saure Lösung vorliegt, die sogenannte Kohlensäure-Lösung.

Video: Öffnen einer Mineralwasserflasche

[LAN](#)
[SEK Modem](#)

Mineralwasser enthält Kohlenstoffdioxid. Häufig wird es auch als Kohlensäurehaltiges Wasser bezeichnet.

Beim Öffnen einer Mineralwasser-Flasche entweichen Teile des unter Druck gelösten Gases.

Ist Kohlenstoffdioxid nun eine Säure?
 Nach der Definition für Stoffe ja. Wie sieht es nun für die Teilchen aus? Zur Erinnerung: Brønsted-Säuren werden als Protonendonatoren definiert. Nach

$\text{O}=\text{C}=\text{O}$
 Kohlenstoffdioxid-Molekül

Abbildung 11: Screenshot einer Seite aus dem linearen Kapitel. Hier wird der Begriff *Säureanhydrid* erarbeitet.

CHEMnet
Säuren & Basen

Inhalt | Aufgaben | Feedback | Plugins | Zusatzangebote | Links | Druck

Säure- und Base-Themen

Säure- und Basenanhydride

Nichtmetall- oder Metalloxide können mit Wasser saure oder alkalische Lösungen bilden:

Oxide, die mit Wasser eine saure Lösung bilden heißen **saure Oxide** oder **Säureanhydride**.

Oxide, die mit Wasser eine alkalische Lösung bilden heißen **basische Oxide** oder **Basenanhydride**.

Diese Stoffe sind daher Säuren und Basen im Sinne der stofflichen Definition. Die Teilchen der Oxide sind jedoch nicht unmittelbar Brønsted-Säuren oder Basen. Nähere Erläuterungen dazu:

[Kohlenstoffdioxid: Ein Säureanhydrid](#)
[Calciumoxid: Ein Basenanhydrid](#)

[Beispiele für Säureanhydride](#)

WFe
 Fachliche Fragen?
 Technische Fragen?
 Stand: 25.09.2000
[zum Seitenanfang](#)

Abbildung 12: Screenshot der Themenschwerpunktseite *Säure- und Basenanhydride* aus dem vernetzten Kapitel.

4 Empirische Untersuchungen

Dieser Abschnitt stellt die empirischen Untersuchungen vor. Nach einer Präzisierung der bereits in der Einleitung skizzierten Fragestellungen (4.1) wird das methodische Vorgehen der Untersuchung dargestellt und begründet (4.2). Die nachfolgenden Abschnitte gelten dem Laborexperiment (4.3) und der Feldstudie (4.4).

Die vorangegangenen Darstellungen haben gezeigt, dass eine Wissensvermittlung mit elektronischen Texten lernfördernd sein kann. Die Begründungen für den Einsatz vernetzter Texte zum selbstgesteuerten Lernen zielen auf die Idee eines flexiblen und schnellen Zugriffs auf Informationen. Theoretische Modelle der Wissensvermittlung und Wissensrepräsentation sowie empirische Befunde legen nahe, dass ein lernfördernder Effekt bei Benutzung einer linearen oder vernetzten Textstruktur von verschiedenen Einflussgrößen wie beispielsweise der Zielorientierung oder dem Vorwissen mitbestimmt wird.

Weder gedruckte noch elektronische Texte besitzen Eigenschaften, die per se einen lernfördernden Effekt garantieren. Ein gedruckter Text wird beispielsweise nicht automatisch nur aufgrund der linearen Strukturierung seiner Inhalte von jedem Leser verstanden. So wird ein Lehrtext immer im Hinblick auf eine bestimmte Zielgruppe geschrieben. Durch empirische Untersuchungen lassen sich daher nur schwer generalisierende Aussagen über den Lerneffekt bestimmter Textdesigns erzielen. Ausgangspunkt dieser Untersuchung ist die internetbasierte Lernumgebung ChemNet, die in der Hochschullehre als unterstützendes Mittel zum selbstbestimmten Lernen eingesetzt wird. Die Frage der experimentellen Untersuchung ist daher, wie Lernende unterschiedliche Formen der Präsentation von Informationen nutzen und unter welchen Bedingungen der Prozess des Wissenserwerbs besser unterstützt wird. Darüber hinaus wurde in einer Feldstudie durch Schaffung einer weitgehend natürlichen Lernsituation versucht, Ergebnisse der Studie auf andere vergleichbare Lernsituationen übertragbar zu machen.

4.1 Fragestellungen

Der vorliegenden Untersuchung liegen folgende Fragestellung zugrunde:

LERNERFOLG: Ist das Anbieten unterschiedlicher Textstrukturen geeignet, um fachliches Lernen für Adressaten mit einer bestimmten oder unbestimmten Zielorientierungen und mit unterschiedlichen Vorkenntnissen zu gewährleisten?

AKZEPTANZ: Wie ist die Akzeptanz von ChemNet bei den Studierenden bezüglich ihrer Gestaltung und ihres Inhaltes?

4.1.1 Zur Lernerfolgsfrage

Vor dem Hintergrund des in den Kapiteln 1 und 2 aufgeführten derzeitigen Forschungsstandes ist die Frage zum Einsatz unterschiedlicher Textstrukturen für das fachliche Lernen zu präzisieren.

1. Ist ein Lernerfolg bei Benutzung unterschiedlicher Strukturen in einer hypertextuellen Lernumgebung abhängig von der Art der Zielorientierung?
2. Haben fachliche Kenntnisse, Vorkenntnisse im Umgang mit dem Internet oder andere Lernvoraussetzungen einen Einfluss auf den Lernerfolg?

Zur Frage nach der Struktur und den Zielen (1. Frage): ChemNet ist als Angebot für Studierende der Anfangssemester begleitend zur Hörsaal-Grundvorlesung Chemie gedacht. Sie kann zu unterschiedlichen Zwecken genutzt werden, beispielsweise zum Selbstlernen oder auch zur Vor- oder Nachbereitung der Hörsaal-Vorlesung. Es wird angenommen, dass der Lernerfolg beim Lernen mit unterschiedlichen Textformen – vernetzt oder linear – von der Art der Zielorientierung – bestimmt oder unbestimmt – abhängig ist. Es wird nicht vermutet, dass eine der Textstrukturen oder eine Art der Zielorientierung generell überlegen ist. Es werden also keine Haupteffekte angenommen. Vielmehr wird ein Interaktionseffekt hypothetisiert:

Ein vernetzter Text besitzt aufgrund seiner besonderen Struktur bessere Möglichkeiten für einen direkten Informationszugriff als ein linearer Text. Diese Struktureigenschaft kann ein Lernender zum Beispiel nutzen, wenn er sich über einen konkreten Sachverhalt informieren möchte. Für das Lernen *mit bestimmten Zielorientierungen* lässt sich daher folgende Hypothese formulieren:

(H1) Studierende mit einer bestimmten Zielorientierung haben bei Benutzung der vernetzten Struktur einen größeren Lernerfolg als bei Benutzung der linearen Struktur.

Ohne bestimmte Zielorientierung gestattet es eine lineare Textstruktur dem Leser, sich vom Textaufbau des Autors leiten zu lassen. Das ist vorteilhaft, wenn der Lernende kein konkretes Klärungsbedürfnis hat und sich einen Überblick über die Inhalte eines Themas beschaffen möchte. Für das Lernen *ohne bestimmte Zielorientierung* wird daher die folgende Hypothese formuliert:

(H2) Studierende mit unbestimmter Zielorientierung haben bei Benutzung der linearen Struktur einen größeren Lernerfolg als bei Benutzung der vernetzten Struktur.

Zur Frage nach den Einflussgrößen (2. Frage): Der Lernerfolg mit elektronischen Texten ist neben der Zielorientierung durch die weiteren Einflussgrößen *Vorwissen, Lesefähigkeit, Lesestrategien* und *Kohärenz* mitbestimmt (2.5.2).

Das eigene *Vorwissen* ist eine entscheidende Einflussgröße auf das Situationsmodell, die mentale Repräsentation des Lernenden, welches wiederum schon von Beginn des Lernprozesses an wesentlich für das Verständnis des Lerngegenstandes ist. Ein ungenügendes Vorwissen sollte sich durch Verständnisschwierigkeiten und demzufolge durch eine Beeinträchtigung des Lernerfolges bemerkbar machen. Für diese Studie wurde ein Lernprogramm entwickelt, das sich an Personen richtet, die über das Vorwissen der vollendeten zehnten Klasse des Gymnasiums verfügen. Damit ist jedoch nicht auszuschließen, dass Versuchspersonen ein geringeres Vorwissen besitzen. In der

Untersuchung soll daher das fachspezifische Vorwissen erhoben und sein Einfluss auf den Lernerfolg kontrolliert werden.

Die Variable Vorwissen wird in der Untersuchung berücksichtigt und ein eventueller Einfluss auf den Lernerfolg untersucht.

Lesefähigkeit und *Lesestrategien* werden unter anderem durch Praxiserfahrungen erworben. Elektronische Texte verlangen in bestimmten Bereichen ein anderes Leseverhalten und erfordern neue Strategien. Ein Leser, der bereits große Erfahrungen im Umgang mit Hypertexten hat, kann sich durch diese Praxis hilfreiche Lesestrategien aneignen und die gesetzten Kohärenzmittel besser erkennen als ein bezüglich dieses Mediums unerfahrener Leser (Astleitner & Leutner, 1995; Foltz, 1996). Das World Wide Web wird als Prototyp eines Hypertextes angesehen (vergl. z.B. Stahl & Bromme, 1997): Hinter jeder Adresse verbergen sich für gewöhnlich untereinander vernetzte Seiten. Das Thema oder die Themen der Seiten stehen immer in einem engen Zusammenhang mit der zuerst angewählten Seite, die damit die Funktion einer zentralen Seite übernimmt. Nicht selten sind weitere Links zu anderen themengleichen oder themenverwandten Zentralseiten zu finden. Der Leser hat die Aufgabe, aus der vorliegenden Fülle von Informationen die für ihn wesentlichen herauszufiltern. Hierfür bedarf es für ein ökonomisches¹² und effizientes Vorgehen geeigneter Strategien, die durch zunehmende Praxiserfahrung erkannt und verbessert werden können. Eine umfassende Interneterfahrung kann daher mit einer umfassenden Erfahrung im Umgang mit Hypertexten gleichgesetzt werden. In der Untersuchung soll daher eine Größe *Interneterfahrung* erhoben werden, von der ein Einfluss auf den Lernerfolg angenommen werden kann. Diese besteht aus der subjektiven Angabe über die Häufigkeit der Internetnutzung. Zusätzliche Wissensfragen über das Internet sollen die Zuverlässigkeit dieser Einschätzungen überprüfen.

Lesefähigkeit und Lesestrategien sind wichtige Moderatoren des Lernerfolgs in Hypertextsystemen. Sie beruhen auf der Geübtheit des Lernens mit dem elektronischen Medium. Die Geübtheit im Umgang mit dem Medium wird durch die Interneterfahrung und Internetkenntnisse (zusätzliche Wissensfragen) berücksichtigt.

Die Herstellung mentaler *Kohärenz* wird hier als ein Kommunikationsprozess zwischen Autor und Leser angesehen. Es bedarf von Seiten des Autors einer Analyse der Zielgruppe und ihrer Lernvoraussetzungen sowie des Mediums, in dem die zu übertragenden Informationen vermittelt werden sollen, um geeignete Kohärenzmittel einzusetzen. Fehlende mentale Kohärenz kann also zum einen darauf zurückzuführen sein, dass der Lernende nicht der zugeordneten Zielgruppe zugehört oder dass für die Zielgruppe oder für das gewählte Medium ungeeignete Kohärenzmittel eingesetzt wurden. Die erste Ursache ist individueller Art. Fehlende Textkohärenz macht sich beim Leser durch das Auftreten von Verständnisschwierigkeiten und durch eine kognitive Überlastung bemerkbar. Dies kann den Lernerfolg beeinträchtigen. Außerdem wird das subjektive Empfinden des Lesers bezüglich der Verständlichkeit der dargebotenen Inhalte negativ beeinflusst. Ist generell ein geringer oder gar kein Lernerfolg nachzuweisen und wird die Maßnahme in subjektiven Beurteilungen überwiegend

¹² Bei privaten Benutzern ist der Internetzugang immer noch mit nicht unerheblichen Kosten verbunden. So wird die Informationssuche außerdem von dem Aspekt geleitet, möglichst ökonomisch zu arbeiten, um Zeit und damit Geld zu sparen.

abgelehnt, ist davon auszugehen, dass es den Texten an Kohärenz mangelt. Schwerpunkt weiterführender Untersuchungen wäre dann das Finden geeigneter Kohärenzmittel.

Ein Ausbleiben des Lernerfolgs und ein negatives Ergebnis bei subjektiven Einschätzungen zur Verständlichkeit der Inhalte können Folge mangelnder Kohärenz des Lerntextes sein. In diesem Falle wären weitere Untersuchungen für geeignete Kohärenzmittel erforderlich.

4.1.2 Zur Akzeptanzfrage

Das Ziel einer formativen Evaluation ist vornehmlich die Qualitätssicherung in der Planungs- und Entwicklungsphase (Tergan, 2000). Dabei rücken in der Phase der Entwicklung, in dessen Abschluss sich das ChemNet-Projekt derzeit befindet, Fragen zur Produktqualität unter technischen, didaktischen, inhaltlichen und nutzerbezogenen Gesichtspunkten in das Zentrum.

Bei der Frage zur Akzeptanz dieser Maßnahme werden Schwerpunkte auf inhaltliche und nutzerbezogene Aspekte gelegt. Im allgemeinen sollte eine Bildungsmaßnahme um so erfolgreicher verlaufen, je mehr sie angenommen wird. GLOWALLA & SCHOOP heben dabei hervor, dass eine Akzeptanz von allen Beteiligten erfolgen sollte, sowohl von den Teilnehmern als auch von den Dozenten oder Betreuern (Glowalla & Schoop, 1992). Die Bildungsmaßnahme ChemNet dient dem selbstgesteuerten Lernen und erfordert somit keine Präsenz eines Lehrenden. Auf Seiten der Teilnehmer gilt, dass sie ein Lehrsystem akzeptieren, „wenn es für sie relevanten Stoff in verständlicher Weise vermittelt, verschiedene Darstellungsformen gezielt und angemessen einsetzt, eine einfache und intuitive Benutzeroberfläche aufweist, gute Orientierungs- und Navigationsmöglichkeiten bereithält und eine Selbstkontrolle der Lernfortschritte ermöglicht“ (Glowalla & Schoop, 1992, S. 26). Aus subjektiven Einschätzungen der Lernenden zur Darbietung der Inhalte und zur Gestaltung und Handhabbarkeit des Lehrmittels lassen sich Hinweise ableiten, die zur Verbesserung des Programms dienen können.

Dabei soll nicht außer Acht gelassen werden, dass die Aussagefähigkeit von subjektiven Einschätzungen im allgemeinen Unsicherheiten aufweist. Zum einen ergeben sich diese durch Antworttendenzen oder aus Urteilsfehlern (vergl. Buse, 1980). Zum anderen fällt es Menschen generell schwer, stabile Absoluturteile abzugeben (McCloskey & Zaragoza, 1985). In solchen Fällen treffen Versuchspersonen ihre Urteile in einem Vergleich zu ähnlichen Lernerfahrungen. Für den Bereich der neuen Medien sind jedoch noch verhältnismäßig wenig Lernprogramme entwickelt worden, so dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilnehmer ausreichend Vergleichsmöglichkeiten besitzt, nicht sehr groß ist. Eine Akzeptanzstudie über subjektive Einschätzungen sollte daher nicht das einzige Maß zur Beurteilung eines Lernprogramms sein. Ein weiteres, objektives Verfahren würde die Aussagekraft der Bewertungen bestätigen oder entkräften können. Bei Lernprogrammen bietet sich eine Einschätzung ihrer Qualität über den Lernerfolg an. Eine überwiegend positive Bewertung eines Lernprogramms sollte auch von einem messbaren Lernerfolg begleitet sein. Ein derartiges Maß wird für die Untersuchung der Lernerfolgsfrage erhoben. Es ist allerdings nicht ratsam, diese Ergebnisse für eine zweite Untersuchung zugunsten der Akzeptanzfrage zu verwenden, da der Test nicht für diese Zwecke entwickelt wurde. Außerdem wäre es erforderlich, den eventuell gemessenen Lernerfolg in Relation zu einem anderen Maß zu setzen, um generelle Aussagen über einen Erfolg treffen zu können. Wenn auch GLOWALLA & SCHOOP fordern, „dass eine Bildungsmaßnahme einer anderen dann vorzuziehen ist, wenn die Teilnehmer bei ihr mehr Wissen erwerben können“ (Glowalla & Schoop, 1992,

S. 28), so sollen Ergebnisse der Lernerfolgskontrolle nicht mit denen anderer Lehrveranstaltungen, die von den Studierenden im Grundstudium besucht werden können, verglichen werden, da ChemNet als ergänzendes Medium zu diesen Veranstaltungen gedacht ist. Die subjektiven Einschätzungen bleiben somit das einzige Qualitätsmaß für die inhaltliche und äußere Gestaltung der Lernumgebung ChemNet. Die oben angeführten möglichen Konsequenzen sollen jedoch nicht außer Acht gelassen werden.

Für hilfreiche Informationen zur inhaltlichen und äußeren Gestaltung der Lernumgebung ChemNet sollen subjektive Einschätzungen der Teilnehmer eingeholt werden.

4.2 Methode

Für die empirische Untersuchung wurde sowohl ein Laborexperiment als auch eine Feldstudie durchgeführt:

Das laborexperimentelle Vorgehen wurde zur Untersuchung der in 4.1.1 gestellten Hypothesen H1 und H2 gewählt, für die eine Messung des Lernerfolges in Abhängigkeit der instruktionalen Maßnahmen Textstruktur und Zielorientierung erforderlich ist. Für eine Vergleichbarkeit der Lernerfolgsergebnisse der Versuchspersonen ist in dieser Studie die Lernzeit zu kontrollieren. Bei Nutzung von ChemNet wird zwar automatisch verzeichnet, welche Seite von dem jeweiligen Leser aufgerufen wird und wie lang er auf dieser Seite verweilt. Diese Daten lassen bei einer Feldstudie jedoch keinen zuverlässigen Rückschluss auf die tatsächliche Nutzerzeit zu. ChemNet bietet derzeit zu wenig Interaktionen an, um mit Sicherheit sagen zu können, dass der Leser in der genutzten Zeit auch tatsächlich mit der Lernumgebung bei voller Aufmerksamkeit gelernt hat. Es ist durchaus denkbar, dass er in der Zeit zwischen zwei Seitenaufrufen gar nicht vor dem Computer gesessen hat. Bei einem Laborexperiment können für die Versuchsteilnehmer gleiche Voraussetzungen geschaffen und eine große Anzahl der den Lernerfolg möglicherweise beeinflussenden Größen wie beispielsweise Lernzeit, -ort oder -dauer vermieden werden. Der Nachteil eines Laborexperiments ist die Entfernung von realen Situationen, was die Aussagekraft beeinträchtigt. Jedoch wird auch in einer alltäglichen Lernsituation mit dem Computer nicht wesentlich anders als in einem Laborexperiment gelernt. Die Untersuchung wird zum Laborexperiment, weil Lernprogramm, und -aufgabe vom Versuchsleiter manipuliert werden.

Eine zusätzliche Feldstudie wurde gewählt, um für die Frage nach der Akzeptanz der Maßnahme Informationen zu erhalten, die einer Forderung nach höherer Validität dennoch gerecht werden. Außerdem sollten Anhaltspunkte bezüglich einer Nutzung der unterschiedlichen Textstrukturen in einer alltagsnahen Situation gefunden werden.

Design, Durchführung und Ergebnisse werden für Labor- und Feldstudie getrennt aufgeführt. Die Ergebnisse werden immer zunächst dargestellt und anschließend diskutiert.

4.3 Das Laborexperiment

4.3.1 Zum Forschungsdesign

Die Frage nach dem Einfluss von Zielorientierung und Textform auf den Lernerfolg wurde mithilfe eines zweifaktoriellen Versuchsdesigns untersucht. Die Treatmentfaktoren sind *Zielorientierung* und *Textstruktur*. Der Faktor *Zielorientierung* wird im Hinblick auf die Hypothesen H1 und H2 mit den zwei Ausprägungen bestimmt und unbestimmt gewählt. Als bestimmte Zielorientierung dient eine Liste mit sieben Fachausdrücken, über die sich die Lernenden Wissen aneignen sollen. Die unbestimmte Zielorientierung bildet der Arbeitsauftrag, zwei Fragen schriftlich zu formulieren, über die sich die Teilnehmer während der Lernphase Klärung erhoffen (vergl. 4.3.2.2 und Anhang C und D). Als Formen der Textgestaltung werden entsprechend der Hypothesen H1 und H2 eine lineare und eine vernetzte Hypertext-Version getestet.

Die abhängige Variable bildet das Kriterium Lernerfolg. Als Lernerfolgskontrolle dienen Tests mit Mehrfachwahl-Aufgaben (Multiple-Choice-Test) die vor und nach der Nutzung der Lernumgebung zu bearbeiten sind. Die Variable Lernerfolg ergibt sich aus der Differenz des Nachtestergebnisses (NT) und des Vortestergebnisses (VT): $\text{Lernerfolg} = \text{NT} - \text{VT}$. Insgesamt ergibt sich ein 2×2 -faktorielles Design mit 4 Experimentalgruppen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Einteilung der vier Experimentalgruppen.

	lineare Struktur	vernetzte Struktur
bestimmte (vorgegebene) Zielvorstellung	G1	G2
unbestimmte (selbst gewählte) Zielvorstellung	G3	G4

Anmerkung: Die *kursiv* hervorgehobene Gruppen kennzeichnen die Gruppen von denen nach den Hypothesen H1 und H2 ein höherer Lernerfolg erwartet wird als in den anderen Gruppen.

4.3.1.1 Kontrollvariablen

Zur Überprüfung der Hypothesen H1 und H2 wurde eine zufällige Einteilung der Teilnehmer in vier Experimentalgruppen vorgenommen. Es ist nun möglich, dass durch eine inhomogene Verteilung besonders leistungsfähige oder leistungsschwache Gruppen entstehen. Da zur Überprüfung der Hypothesen die Ergebnisse einer Lernerfolgskontrolle herangezogen werden, kann eine derartige Verteilung zu einer Fehlinterpretation führen. Deshalb wird das Vorwissen der Lernenden ermittelt und eine Gleichverteilung auf die Experimentalgruppen geprüft. Um die interne Validität der Untersuchung zu erhöhen, werden außerdem die personenspezifischen Variablen *Abiturnote*, *Selbstkonzept* und *Chemieunterricht (Dauer und Art)* erhoben und bei der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt. Für die Präzisierung der Lernerfolgsfrage sind in 4.1.1 bereits Einflussgrößen auf das Lernen mit elektronischen

Texten diskutiert worden. Dabei wurden die Größen *Vorwissen* und *Internetserfahrung* hervorgehoben.

Die Abiturnote: Im allgemeinen wird die *Abiturnote* als guter Prädiktor für kognitive Leistungsfähigkeiten anerkannt. Lernende mit einem überdurchschnittlich guten Abitur bearbeiten Leistungstests gewöhnlich erfolgreicher als Lernende mit einer schlechteren Abiturnote (Gage & Berliner, 1996). Es ist daher davon auszugehen, dass die Ergebnisse bei den Untersuchungsteilnehmern ebenfalls in einem gewissen Maße von ihrer Abiturnote abhängen. Aus diesem Grund wird die Abiturnote als Kontrollvariable bei der Erstellung und der Interpretation der Befunde berücksichtigt.

Das Selbstkonzept der Begabung: In der Pädagogischen Psychologie ist im Zusammenhang mit leistungsthematischen Kontexten auch das *Selbstkonzept der Begabung* untersucht worden. Ein Lernender, der von seinen eigenen Fähigkeiten überzeugt ist, sollte beim Lösen einer Aufgabe besser abschneiden als ein anderer, bei dem diese Überzeugung schwächer ausgeprägt ist (Moschner, 1997). Für diese Art von Fragestellungen wurden besonders Teilbereiche des Selbstkonzeptes untersucht, die sich speziell auf die Selbsteinschätzungen eigener Leistungen und Fähigkeiten beziehen. Im schulischen Kontext wird dies als das *akademische Selbstkonzept* bezeichnet.

Nach SHAVELSON, HUBNER & STANTON ist das generelle Selbstkonzept in mehrere Facetten gegliedert und hierarchisch aufgebaut (Shavelson, Hubner, & Stanton 1976).

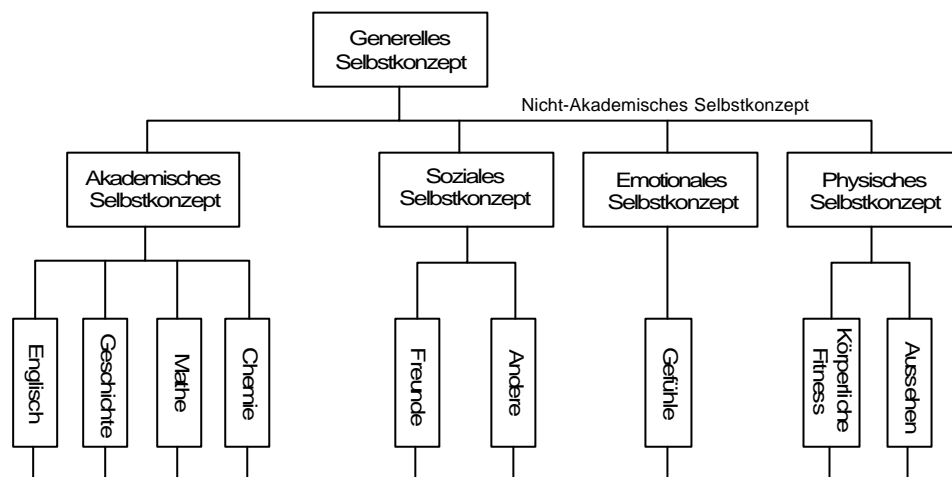


Abbildung 13: Eine mögliche Repräsentation des hierarchischen Selbstkonzeptes nach Shavelson, Hubner & Stanton (Shavelson, Hubner & Stanton, 1976, S. 413). Hier sind die ersten drei Hierarchieebenen dargestellt.

Die erste Hierarchieebene bildet die Aufteilung des Selbstkonzeptes in akademische und nichtakademische Selbstkonzeptvariablen (soziales, emotionales und physisches Selbstkonzept). Das akademische Selbstkonzept wird in einer nächsten Ebene in fachspezifische Unterareale aufgeteilt (Englisch, Geschichte, Mathematik, Naturwissenschaften usw.) (Abbildung 13). Im deutschen Sprachraum entspricht das akademische Selbstkonzept dem *schulischen Leistungs-Selbstkonzept* oder dem *Selbstkonzept schulischer Fähigkeiten* (Moschner, 1997).

Nach einer Metaanalyse von HANSFORD & HATTIE zeigen besonders die Studien, die das akademische Selbstkonzept gemessen haben, eine signifikante Korrelation zwischen dem akademischen Selbstkonzept und der Leistung (Hansford & Hattie, 1982). Demnach zeigten Lernende mit einem höheren akademischen Selbstkonzept bessere Leistungen als

Lernende die ein geringeres akademisches Selbstkonzept erkennen ließen. In der Untersuchung ist also damit zu rechnen, dass sich ein positives Selbstkonzept ebenfalls positiv auf den Lernerfolg auswirkt und genauso ein weniger positives Selbstkonzept auch weniger lernfördernd. Für diese Studie wird daher durch Selbsteinschätzungsfragen eine Größe erhoben, die das Selbstkonzept der Begabung repräsentiert. Diese wird als Einflussgröße auf das Lernen und den Lernerfolg berücksichtigt. Selbstkonzepte sollten domänenspezifisch erhoben werden, wenn ein Zusammenhang zur Lernleistung nachgewiesen werden soll. Daher wird in dieser Studie das fachspezifische Selbstkonzept für Chemie erfragt.

Chemieunterricht (Dauer und Art): Der Vortest der Untersuchung erhebt fachspezifisches Wissen zu einem speziellen Thema aus dem Fachgebiet Chemie. Aus diesem Ergebnis ist nicht abzuleiten, welche allgemeine Erfahrung die Teilnehmer in dieser Fachdisziplin besitzen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass beispielsweise ein Lernender mit einer fünfjährigen Erfahrung durch den Chemieunterricht in der Schule aufgrund der höheren Fachkompetenz die Inhalte der Lernumgebung besser oder leichter versteht als ein Lernender, der nur zwei Jahre Chemieunterricht in der Schule hatte. Vergleichbar verhält es sich zwischen Lernenden, die einen zwei- bzw. dreistündigen Grundkurs in der Oberstufe besuchten und denen, die an einem fünfstündigen Leistungskurs teilnahmen. Für die Auswertung der Untersuchung werden daher als Variablen des *Chemieunterrichts* die besuchten Schuljahre des Chemieunterrichtes erhoben und ob die Teilnehmer in der Oberstufe einen Grund- oder Leistungskurs oder keinen dieser Kurse besuchten.

Die Interneterfahrung: Die Größe *Interneterfahrung* wird bei der Beschreibung der Versuchspersonen diskutiert (4.3.4) und soll bei der Hypothesenprüfung ebenfalls als Kontrollvariable gelten.

Das Vorwissen: Das *Vorwissen* der Studierenden wird durch den Vortest erhoben und fließt in die Lernerfolgskontrolle mit ein. Dabei ist nicht auszuschließen, dass ein höheres Vorwissen nicht auch überproportionale Einflüsse auf den Wissenszuwachs hat. Ein stärker ausgeprägtes Vorwissen sollte nach KINTSCH wesentlich zum Verständnis eines komplexen Lerngegenstandes beitragen (2.5.1). Umgekehrt kann ein schlechter ausgeprägtes Vorwissen auch zu Verständnisschwierigkeiten führen. Insofern könnte eine ungleiche Verteilung bezüglich des Vorwissens auf die Experimentalgruppen zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen. Im Vorfeld der Hypothesenprüfung (4.3.6.1) wird daher die Verteilung des Vorwissens varianzanalytisch untersucht. Sollten geringe Vorkenntnisse den Lernerfolg unabhängig von der jeweiligen Lerngruppe beträchtlich negativ beeinflussen, könnte der Schluss gezogen werden, das Lernprogramm sei für diesen Teil der Zielgruppe nicht geeignet. Aus diesem Grund wird bei der Analyse der Lernerfolgskontrolle der Lernerfolg in Abhängigkeit des Vorwissens untersucht (4.3.5.4).

Zusätzlich zu den vier Experimentalgruppen wird eine Vortestgruppe eingeführt, die die Lernerfolgskontrolle im zeitlichen Abstand von neunzig Minuten zweimal bearbeiten, ohne das Säure-Base-Kapitel von ChemNet zu nutzen. Dadurch wird der Einfluss einer wiederholten Bearbeitung der Tests auf den Lernerfolg abgeschätzt.

4.3.2 Das Versuchsmaterial

Entsprechend der in Abschnitt 4.1.1 vorgestellten Fragestellungen und Hypothesen sind zwei unterschiedliche Textversionen zu einem Thema der internetbasierten Lernumgebung ChemNet zu bearbeiten. Für diese Untersuchung wurde aus Gründen der inhaltlichen Abgeschlossenheit das Thema *Säuren und Basen* ausgesucht und ein spezielles Kapitel dazu entwickelt. Die unterschiedlichen Versionen wurden vom Aufbau und der

inhaltlichen Gestaltung her bereits in Abschnitt 3.2.2 vorgestellt. Zur Erhebung der Teilnehmerdaten und zur Erfassung der Lernvoraussetzungen und des Lernerfolgs wurden Fragebögen und Arbeitsanweisungen erstellt. Für die Untersuchung des Nutzerverhaltens ist außerdem das Aufnehmen eines Nutzerprotokolls notwendig.

4.3.2.1 Der Startfragebogen

Ein vollständiger Abdruck des Fragebogens befindet sich im Anhang A. Dieser Fragebogen dient dazu, Informationen über die *Versuchspersonen*, deren Nutzung und Erfahrung im Umgang mit dem *Internet*, das *fachliche Vorwissen* zum Thema *Säuren und Basen* sowie das *Selbstkonzept der Begabung* für das Fach Chemie zu erhalten.

Informationen zur Person: Als Personendaten werden Alter und Geschlecht erhoben. Um eine Einordnung der Versuchspersonen bezüglich ihres Bildungsstandes machen zu können, wird nach Haupt- Nebenfach und Semesterzahl ihres Studiums gefragt, wie lange sie Chemieunterricht in der Schule hatten, ob sie in der Oberstufe einen Grund- oder Leistungskurs besuchten, mit welcher Gesamtnote sie das Abitur abschlossen und ob sie über die Schulbildung hinaus während einer Berufsausbildung weiteren Chemieunterricht hatten.

Internet: In diesem Fragebogen wird außerdem erhoben, wie häufig und wo das Internet genutzt wird. Die Erfahrung im Umgang mit dem Internet wird neben der Häufigkeitsangabe zusätzlich mit einem Wissenstest ermittelt. Hierfür wurden Fragen aus einem Online-Test¹³ zum Basiswissen über das Internet entnommen. Die vorgegebenen drei Antwortalternativen wurden in ihren Formulierungen überarbeitet und um eine Alternative erweitert. Um eventuelle Kenntnisse im Umgang mit ChemNet berücksichtigen zu können, werden die Versuchsteilnehmer gefragt, wie oft sie diese Lernumgebung bis zu dem Zeitpunkt der Untersuchung benutzt haben.

Selbstkonzept: Zur Erfassung des akademischen Selbstkonzeptes im Bereich Chemie wurden fünf Aussagen ausgewählt. Alle Aussagen sind in einem vierstufigen Antwortformat (trifft nicht zu – trifft etwas zu – trifft ziemlich zu – trifft voll zu) von den Teilnehmern anzunehmen bzw. abzulehnen. Daraus wird eine Größe ermittelt, die das entsprechende akademische Selbstkonzept repräsentiert.

Fachliches Vorwissen: Als Aufgabentyp wurden Mehrfachwahl-Aufgaben (Multiple Choice) gewählt. Dieser Typus wurde gewählt, da er in der Durchführung und Auswertung ökonomisch und objektiv ist (vergl. Bortz & Döring, 1995; Lienert & Ratz, 1994). Um eine relative Zufallsunabhängigkeit zu gewährleisten, sollten zu jeder Bestantwort vier Antwortalternativen gegeben werden, so dass immer aus fünf gegebenen Antworten die richtige auszuwählen war. Bei der Wahl der Alternativantworten sollte darauf geachtet werden, dass sie für Teilnehmer, die die richtige Antwort nicht kennen, plausibel erscheinen und somit eine Anziehungskraft ausüben. Außerdem sollten sie untereinander gleichwertig sein, so dass sie von einem nichtwissenden Teilnehmer mit gleicher Wahrscheinlichkeit gewählt werden können (vergl. Bortz & Döring, 1995; Häußler, Bündler, Duit, Gräber & Mayer, 1998; Lienert & Ratz, 1994). In einer Vorstudie wurden daher 52 Studierende für das Höhere Lehramt Biologie oder Physik zu ihrem Wissen über Säuren und Basen schriftlich befragt. Ihnen wurden siebzehn Fragen als Ergänzungstest gestellt (Anhang B). Aufgabe der Studierenden war es, eine Antwort mit eigenen Worten zu formulieren. Selbst wenn die Studierenden davon überzeugt waren, die richtige Antwort nicht zu wissen, sollten sie eine mögliche Antwort formulieren. Aus

¹³ Der Online-Test ist einzusehen unter der Adresse www.internet-fahrschule.de (Stand: 06.02.2001).

allen Antworten, die nicht dem Säure-Base-Konzept von ChemNet entsprachen, wurden die am häufigsten auftretenden als Alternativen gewählt. Insgesamt wurden aus der Vorstudie fünfzehn Fragen zum Thema Säuren und Basen generiert. Diese Fragen überprüfen Grundlagenwissen zu den wichtigsten Begriffen des Themas. Die Teilnehmer der Vorstudie und der Untersuchung haben bezüglich des Themas *Säuren und Basen* einen vergleichbaren Erfahrungsbereich. Es wird daher angenommen, dass die Alternativantworten plausibel und gleichwertig für nichtwissende Teilnehmer sind.

Dem Nachteil, dass das Multiple-Choice-Verfahren häufig Reproduktionsleistungen verlange, die auch ein Lernender mit nur unvollständigem Wissen leicht erbringe, wurde durch zusätzliche Transferaufgaben im Nachtest entgegnet (siehe 4.3.2.3). Dessen Bearbeitung erfordert die Anwendung des Wissens auf unbekannte Problemstellungen oder auf mehrere, verschiedene Gebiete des Themas und überprüft somit ein flexibles Wissen über das Fachgebiet.

4.3.2.2 Die Arbeitsanweisungen für die bestimmte und unbestimmte Zielorientierung

Der Arbeitsauftrag für die Teilnehmer besteht darin, sich in den neunzig Minuten Wissen über zentrale Begriffe und Definitionen zu dem Thema *Säuren und Basen* anzueignen. Je nach Zielorientierung *bestimmt* oder *unbestimmt* werden zwei Arbeitsanweisungen voneinander unterschieden (Anhang C und D). Beide Anweisungen geben als Ziel an, dass die Teilnehmer am Ende der Sitzung a) Beziehungen und Unterschiede der zentralen Begriffe zueinander erkennen können und b) die Begriffe in das Thema einordnen können sollen.

Für die *bestimmte Zielorientierung* wird folgende Instruktion gegeben: *Damit Sie eine Vorstellung davon haben, auf welche fachlichen Ausdrücke es uns besonders ankommt, haben wir für Sie eine Liste zusammengestellt: Die verschiedenen Säure-Base-Begriffe, saure und alkalische Lösungen, Neutralisation, Säure- und Baseanhydride, Säurestärke, das Ionenprodukt des Wassers und der pH-Wert.*

In der Arbeitsanweisung für die *unbestimmte Zielorientierung* wird den Teilnehmern folgende Instruktion gegeben: *Überlegen und notieren Sie sich bitte zwei Fragen zu dem Thema Säuren und Basen. Äußern Sie die Fragen als persönliche Anliegen, für die Sie sich in den nächsten 90 min. Klärung erhoffen. Lassen Sie die Sätze beginnen mit Formulierungen wie: Ich will herausfinden,... Mich interessiert,...*

Durch diese Selbstbestimmung der Lernziele soll eine Motivation und auch eine gewisse Verbindlichkeit aufrecht erhalten werden, die Lernumgebung über die Dauer der neunzig Minuten effektiv zu nutzen. Es ist nicht auszuschließen, dass ein Lernender der Gruppe ohne konkrete Zielvorgaben selbst sehr konkrete Fragestellung entwickelt. Es gelingt ihm umso leichter, je größer sein Vorwissen zu dem Thema ist. Der Unterschied zu der Gruppe mit konkreter Zielvorgabe ist jedoch, dass der Lernende nicht weiß, ob das Beantworten dieser selbst entwickelten Fragestellung ausreicht um die gestellten Ziele (a und b) zu erfüllen.

4.3.2.3 Der abschließende Fragebogen

Der abschließende Fragebogen besteht aus der *Lernerfolgskontrolle* und Fragen zur *Bewertung* des Säure-Base-Kapitels (Anhang E).

Zur *Lernerfolgskontrolle* gehören die fünfzehn Fragen des Startfragebogens und drei Transferaufgaben. Die Transferaufgaben sind ebenfalls Mehrfachwahl-Aufgaben. Im Unterschied zu den fünfzehn Fragen der Lernerfolgskontrolle gibt es zu jeder Frage elf Antworten, von denen mehr als eine richtig ist. So werden zum Beispiel einer Aufgabe mit dem einleitenden Text *Ein Reinigungsmilch-Hersteller wirbt für sein Produkt wie folgt: REAKTION REINIGUNGSMILCH mit Frischpflanzen-Extrakt erhält die natürliche*

Hautfeuchtigkeit. Die Geschmeidigkeit und Elastizität der Haut werden verbessert. pH-hautneutral, pH-Wert 5,5. elf Aussagen angefügt – beispielsweise *Die Aussage ist im chemischen Sinne korrekt, da der pH-Wert der Haut einem neutralen pH-Wert entspricht.* – von denen richtige Aussagen anzukreuzen sind. In der ersten Aufgabe sind es drei und in den anderen beiden Aufgaben jeweils fünf korrekte Antworten. Die Antworten übergreifen mehrere Themenbereiche und sollen überprüfen, wie flexibel die zentralen Begriffe des Themas *Säuren und Basen* repräsentiert sind (siehe 4.3.1).

Die *Bewertung* besteht aus sechzehn Aussagen, die in drei Dimensionen eingeteilt werden können. Die ersten fünf Aussagen erfassen allgemeine Empfindungen, die Rückschlüsse auf die Einstellung und das generelle Interesse während des Arbeitens mit ChemNet erlauben sollen. Die nächsten sieben Aussagen befassen sich mit der Bewertung inhaltlicher Aspekte und die letzten vier Aussagen mit Designaspekten. Alle Aussagen sind wie bei den Aufgaben zum Selbstkonzept in einem vierstufigen Antwortformat (trifft nicht zu – trifft etwas zu – trifft ziemlich zu – trifft voll zu) von den Teilnehmern anzunehmen bzw. abzulehnen.

4.3.2.4 Das Nutzerprotokoll

Die vernetzte Struktur bietet einen flexiblen Zugriff auf ihre Inhalte. Zugleich sind die Themenschwerpunkt dieser Version jedoch im Inhaltsverzeichnis in einer bestimmten Reihenfolge angeordnet. Dem Lernenden wird somit eine Möglichkeit gegeben, sich von dieser Reihenfolge leiten zu lassen. Nach Erkenntnissen aus der Wissensvermittlung mittels elektronischer Texte nimmt ein Leser besonders dann eine Anleitung in Anspruch, wenn er die Übersicht in dem System verloren hat oder wenn er kognitiv überfordert ist (siehe 2.3). Bei einem Vergleich der Lernwirksamkeit zweier unterschiedlicher Strukturen wird kontrolliert, ob die Vorteile, die der jeweiligen Struktur zugesprochen werden, auch genutzt werden. Würde zum Beispiel die Vernetzung der Inhalte wenig genutzt, so wären Interpretationen über den Einfluss der Struktur auf die Ergebnisse mit äußerster Vorsicht vorzunehmen. Aufklärung hierfür kann das Nutzerprotokoll erbringen. Das Nutzerprotokoll wird durch ein Programm aufgenommen, das sich auf dem ChemNet-Server befindet. Es verzeichnet für jede Person, die das System nutzt, den Zeitpunkt eines Seitenzugriffes und welche Seite dabei angewählt wurde. Durch dieses Protokoll lässt sich das individuelle Verhalten des Nutzers erkennen. Eine Aufbereitung der Protokolle geschieht in Einzelfallstudien.

Für die Auswertung wird jeder Seite eine fünfstellige Nummer zugeordnet. Die ersten beiden Ziffern kennzeichnen dabei die Position im Inhaltsverzeichnis. Für die 26 Themen der linearen Version sind somit die Nummern 01.000 bis 26.000 vergeben worden. Je weiter die Seite im Inhaltsverzeichnis unten steht, um so größer ist die ihr zugewiesene Zahl. Die Glossar-Seiten besitzen die größten Nummern (28.000 bis 30.000). Seiten, die nicht Hauptseiten sind werden durch die drei letzten Ziffern gekennzeichnet. Die Seite 02100 ist beispielsweise ein Knoten, der direkt von der Hauptseite des zweiten Themas angewählt werden kann. In einem Diagramm werden die Zahlen der aufgerufenen Seiten chronologisch aufgetragen. Die Kurve eines Lernenden, der sich von der durch das Inhaltsverzeichnis vorgegebenen linearen Struktur anleiten lässt, hätte dann einen monoton steigenden Verlauf. Jede Glossar-Nutzung würde als Peak verzeichnet werden, sofern der Lernende anschließend wieder zur ursprünglichen Seite zurückkehren würde (Beispiel siehe Abbildung 14). Die Grafik gibt nur Aufschluss darüber, in welcher Reihenfolge die Seiten aufgerufen werden. Ihr ist nicht zu entnehmen, wie lange der Lernende auf den angewählten Seiten verbleibt. An dieser Stelle soll noch einmal darauf aufmerksam gemacht werden, dass das Glossar nur bewusst über das Menüelement anzuwählen ist. Von der anwenderfreundlichen Variante, innerhalb des Textes die im Glossar aufgenommenen Begriffe mit einem Link in den

entsprechenden Glossarbereich zu versehen, wurde abgesehen, da dem Nutzerprotokoll nicht zu entnehmen wäre, ob eine eventuelle Nutzung der Verknüpfung aus einem Bedürfnis heraus oder unbewusst geschehe.

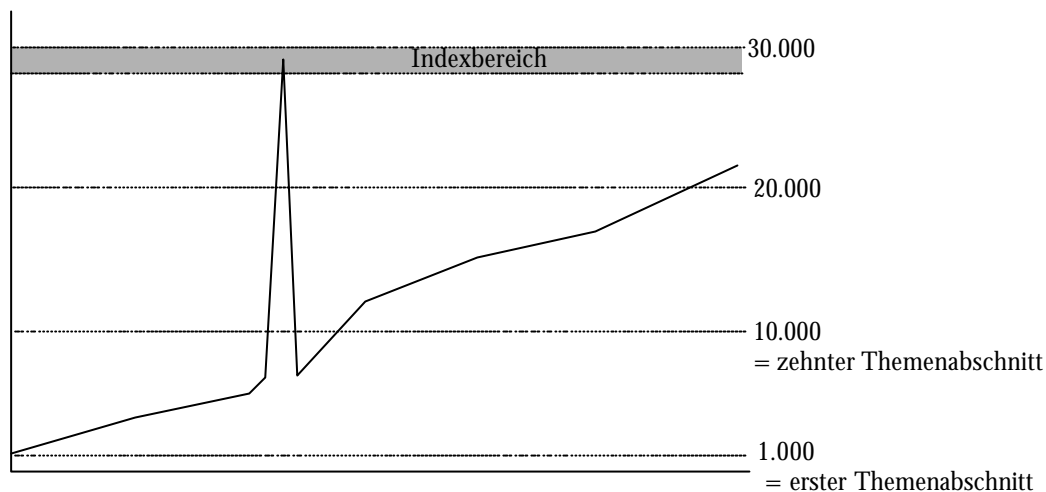


Abbildung 14: Beispiel der graphischen Darstellung eines ausgewerteten Nutzerprotokolls. Hier wird ein linearer Verlauf mit einer einmaligen Nutzung des Indexbereiches (Peak) dargestellt.

4.3.3 Untersuchungsablauf

4.3.3.1 Zeit, Ort und Medien

Zeitraum der Untersuchung waren die zehn Wochentage vom 6.-17. November jeweils von 14 - 16:30 Uhr. Die Untersuchung wurde in einem Computerraum des Anorganisch Chemischen Institutes der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel durchgeführt. Der Raum wurde während der Untersuchung nur von den Teilnehmern genutzt. Dort standen acht Personalcomputer und zwei Laptops zur Verfügung, die über das Intranet der Universität mit 10-Mbit-Leitungen Zugang zum Internet hatten. Die Rechner standen jeweils auf einem Zwei-Personen-Tisch. Ein Tisch wurde mit maximal einer Person besetzt, so dass jeder Teilnehmer ausreichend Platz und Distanz zu den anderen Teilnehmern sowie zum eventuellen Anfertigen von Notizen besaß. Rechner und Laptops entsprachen dem derzeitigen Standard (mindestens Pentium II-Prozessor und 128 Mbyte Arbeitsspeicher) und liefen unter dem Betriebssystem *Windows 98* (Laptops) bzw. *Windows NT* (Rechner). Für die Nutzung von ChemNet standen die Internet-Browser *Netscape Communicator* oder *Internet Explorer* zur Verfügung.¹⁴

Die beiden verschiedenen Textversionen des Testkapitels waren vor der Untersuchung im Internet nicht einzusehen. Das für Vorstudien entwickelte Säure-Base-Kapitel von ChemNet, wurde zu Beginn des Semesters aus dem Internetangebot herausgenommen.

¹⁴ ChemNet wird bei unterschiedlichen Browsern und Betriebssystemen immer in einer vergleichbaren Qualität angeboten. Es konnte daher darauf verzichtet werden, den Lernenden für die Untersuchung einheitliche Betriebssysteme und Browser zur Verfügung zu stellen.

4.3.3.2 Aufbau der Untersuchung

Die Untersuchung war dreigeteilt: Im erste Teil wurde den Versuchsteilnehmern nach einer kurzen Instruktion der Startfragebogen vorgelegt. Im zweiten Teil stand den Teilnehmern zum Bearbeiten eines Arbeitsauftrages für neunzig Minuten eine der Testversionen des Säure-Base-Kapitels zur Verfügung. Für eigene Notizen wurde leeres Papier zur Verfügung gestellt. Abschließend war der Endfragebogen zu beantworten. Für die Teilnahme an der Untersuchung (Dauer ca. zweieinhalb Stunden) wurden die Probanden mit jeweils 40 DM entlohnt. Während der Untersuchung waren zwei Personen für die Betreuung bei Verständnisschwierigkeiten, technischen Problemen oder Softwareproblemen anwesend. An keinem der Versuchstage trat jedoch ein technisches oder ein größeres Verständnisproblem auf. Hilfestellungen beim Ausfüllen der Wissenstests wurden nicht gegeben. Der genaue Ablauf mit den wesentlichen gegebenen Instruktionen ist im Anhang F einzusehen.

4.3.4 Versuchspersonen

Im Folgenden werden Daten zu den Versuchspersonen aufgearbeitet. Sie ergaben sich aus Angaben, die von ihnen im Startfragebogen gemacht wurden und sollen die Probandengruppe charakterisieren.

An der Untersuchung nahmen 65 Studierende (Alter $M^{15} = 20,2$ Jahre; $SD^{15} = 1,33$; 49 weiblich) teil. Sie wurden während einer Veranstaltung der Grundvorlesung zur Anorganischen Chemie um eine freiwillige Mitwirkung gebeten und sollten sich bei Interesse möglichst verbindlich in ausgegebene Listen mit Adresse und Telefonnummern für einen passenden Termin eintragen. Die Grundvorlesung wird für Studienanfänger angeboten. So waren von den Versuchspersonen auch 62 Studierende des ersten Semesters und lediglich drei aus einem höheren Semester (eine aus dem zweiten und zwei aus dem dritten Semester). In der Vorlesung wurde das Thema Säuren und Basen zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht behandelt.

Die Zuweisung der Teilnehmer zu den vier Experimentalgruppen G1-G4 wurde zufällig vorgenommen. An einem Versuchstag sollte immer eine der Experimentalgruppen lernen. Da nicht jeder Versuchstag von gleich vielen Teilnehmern besucht wurde, mussten die einzelnen Versuchstage so gruppiert werden, dass insgesamt vier Gruppen entstanden, die vergleichbar viele Teilnehmer besaß. Jede Gruppe bestand aus zwei oder drei Versuchstagen. Diesen vier Gruppen wurden zufällig je eine der Experimentalgruppen zugewiesen. Tabelle 3 gibt die Anzahl der Teilnehmer der vier Experimentalgruppen wieder. Die gering unterschiedliche Verteilung der Teilnehmer auf die einzelnen Zellen ist für die Untersuchung unproblematisch ($\chi^2_{(1)} = .17, ns$)¹⁶.

¹⁵ Im Folgenden gilt M als Symbol für den Mittelwert und SD als Symbol für die Standardabweichung.

¹⁶ Die ursprüngliche Verteilung von dreimal 17 und einmal 18 Teilnehmern pro Experimentalgruppe konnte nicht realisiert werden, da vier Teilnehmer nicht zur Untersuchung erschienen.

Tabelle 3: Verteilung der 65 Teilnehmer auf die jeweiligen Experimentalgruppen G 1-4.

		lineare Struktur	vernetzte Struktur
bestimmte (vorgegebene) Zielvorstellung	Gruppe	G1	G2
	N	16	15
unklare (selbst gewählte) Zielvorstellung	Gruppe	G3	G4
	N	17	17

Legende: N: Anzahl der Teilnehmer der entsprechenden Experimentalgruppen.

4.3.4.1 Belegung der Fachbereiche

17 % aller Teilnehmer nannten als Hauptfach Chemie, 40 % Biologie und 15 % Pharmazie. Weiterhin sind die Fachbereiche Biochemie (9 %), Physik und Geologie (jeweils 8 %) sowie Mathematik (3 %) vertreten (Tabelle 4).

Tabelle 4: Absolute und prozentuale Häufigkeit der Fachbereiche als Hauptfach

	Häufigkeit	Prozent
Chemie	11	17
Biologie	26	40
Pharmazie	10	15
Biochemie	6	9
Physik	5	8
Geologie	5	8
Mathematik	2	3
Gesamt	65	100

4.3.4.2 Merkmal Internet

Gut 45 % der Teilnehmer gaben an, das Internet mehrmals in der Woche oder sogar täglich zu nutzen. ChemNet hingegen wurde von 66 % der Studierenden noch nie besucht (Tabelle 5)¹⁷. Zwei Drittel aller Studierenden (65 %) nutzen das Internet überwiegend zu Hause oder bei Freunden bzw. Bekannten und ein Drittel (35 %) in der Universität.

¹⁷ Es soll an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die Testkapitel bis zu dem Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht über das Internet einzusehen war.

Tabelle 5: Absolute und prozentuale Häufigkeit der Nutzung des Internets und von ChemNet

	Internet-Nutzung		Nutzung von ChemNet	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
noch nie	2	3	43	66
einmalig	2	3	7	11
selten	21	32	5	8
mehrmals im Monat	11	17	6	9
mehrmals in der Woche	25	39	4	6
täglich	4	6	-	-
Gesamt	65	100	65	100

Das Merkmal *Internetenerfahrung* wird als mögliche Einflussgröße auf den Lernerfolg berücksichtigt. Neben der Frage nach der Nutzungshäufigkeit wurden daher für ein objektives Maß zusätzlich sechs Mehrfachwahl-Aufgaben über die Bedeutung der Begriffe *Link*, *Chat*, *Download*, *Broken Link*, *Meta-Suchsystem* und *Host* gestellt. Bis auf die letzte Aufgabe wurden alle von der Mehrheit der Teilnehmer richtig beantwortet (Link 71 %, Chat 94 %, Download 90 %, Broken Link 74 %, Meta-Suchsystem 80 %, Host 45 %) Das Ergebnis dieser Befragung korreliert signifikant mit der Angabe der Nutzungshäufigkeit (Korrelation nach Pearson: .37, $p < .01$).

4.3.4.3 Merkmal Chemieausbildung und Schule

Für 63 der 65 Studierenden ist die Grundvorlesung, die sie zum betreffenden Untersuchungszeitraum besuchten, ihre erste Chemievorlesung. Lediglich die zwei Studierenden des dritten Semesters haben vorher schon einmal eine andere Chemievorlesung besucht. 49 % der Versuchspersonen hatten in der Schule bis zum Abitur Chemieunterricht (Tabelle 6).

Tabelle 6: Absolute und prozentuale Häufigkeit der Klassenstufe bis zu der die Studierenden Chemieunterricht hatten

	Häufigkeit	Prozent
kein Chemie	1	2
bis einschließlich 10. Klasse	14	22
bis einschließlich 11. Klasse	7	11
bis einschließlich 12. Klasse	11	17
bis einschließlich 13. Klasse	32	49
Gesamt	65	100

23 % der Teilnehmer hatten über die Mittelstufe hinaus keinen weiteren Chemieunterricht. Von den Teilnehmern, die bis zum Abitur das Fach Chemie belegten, nahmen 75% an einem Leistungskurs teil (absolut 37 %) (Tabelle 7).

Tabelle 7: Absolute und prozentuale Häufigkeit der Teilnahme an Grund- und Leistungskursen im Chemieunterricht

	Häufigkeit	Prozent
kein Oberstufenunterricht	15	23
Grundkurs	26	40
Leistungskurs	24	37
Gesamt	65	100

Die Grund- und Leistungskursteilnehmer waren auf fast alle Studienfächer verteilt (Tabelle 8).

Tabelle 8: Verteilung der Studierenden jeweiliger Fachbereiche auf die Kurse der Oberstufe (absolut)

Hauptfach	Chemie in der Oberstufe			Gesamt
	kein Chemie	Grundkurs	Leistungs- kurs	
Chemie	-	5	6	11
Biologie	10	10	6	26
Pharmazie	2	3	5	10
Mathematik			2	2
Physik	1	3	1	5
Geologie	1	3	1	5
Biochemie		3	3	6
Gesamt	14	27	24	65

Der Durchschnitt in der Abitur-Gesamtnote beträgt $M = 2,24$ ($SD = 0,57$).

4.3.4.4 Merkmal Selbstkonzept der Begabung für das Fach Chemie

Für die Erhebung des Selbstkonzeptes der Begabung waren fünf Aussagen zu bewerten (Cronbachs alpha .85). In Tabelle 9 sind die Mittelwerte der einzelnen Items und ihre Standardabweichungen wiedergegeben. Den einzelnen Stufen des Bewertungsschemas

sind für die Auswertung die Zahlenwerte 1 bis 4 zugeordnet worden: »1« trifft nicht zu – »2« trifft etwas zu – »3« trifft ziemlich zu – »4« trifft völlig zu.

Tabelle 9: Ergebnisse der Bewertung der Items zur Bestimmung des Begabungsselbstkonzeptes für das Fach Chemie.

Item	N	M	SD	Verteilung der Nennungen Angaben in Prozent			
				1	2	3	4
Obwohl ich mir bestimmt Mühe gebe, fällt mir Chemie schwer.	65	1,89	0,94	40	40	11	9
Für Chemie bin ich einfach nicht so begabt.	65	1,60	0,84	59	28	9	5
Wenn ich in Chemie etwas nicht verstanden habe, denke ich, dass ich es wohl nie verstehen werde.	65	1,31	0,64	77	17	5	2
Chemie liegt mir einfach nicht.	65	1,42	0,77	71	22	3	5
Chemie würde ich lieber machen, wenn das Fach nur nicht so schwer wäre.	65	1,6	0,77	55	31	12	2

Legende: N: Absolute Zahl der Nennungen, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung. 1: trifft nicht zu, 2: trifft etwas zu, 3: trifft ziemlich zu, 4: trifft völlig zu.

Alle Items wurden mit großer Mehrheit als nicht oder nur etwas zutreffend bewertet. Es ist hier jedoch zu beachten, dass die Items in Bezug auf ein Begabungsselbstkonzept für das Fach Chemie negativ formuliert worden sind. Eine Ablehnung einer der Items ist daher im Sinne eines stark ausgeprägten Selbstkonzeptes zu interpretieren.

4.3.4.5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Teilnehmer der Untersuchung sind wie gewünscht Studierende unterschiedlicher Fachrichtungen. Die Verteilung ist sehr heterogen. Vergleicht man diese jedoch mit den Studienanfängern des betreffenden Semesters, so kann die Stichprobe als repräsentativ angesehen werden. Es hatten sich nach Angaben des Instituts für Anorganische Chemie vierzig Diplomchemiker und insgesamt zweihundert Nebenfachstudierende eingeschrieben. Eine gleichmäßige Beteiligung aller Fachrichtungen wäre wegen der verhältnismäßig geringen Teilnahmebereitschaft der Hörer der Grundvorlesung nur unter dem Verlust weiterer Teilnehmer möglich gewesen.

Ebenso ist auch die Chemieausbildung der Probanden sehr heterogen. Erstaunlich hoch ist die Anzahl der Absolventen eines Leistungskurses Chemie, die recht gleichmäßig auf die einzelnen Fachbereiche verteilt sind. Da keine genaueren Daten über alle Hörer der Grundvorlesung vorliegen, ist nicht zu deuten, ob allgemein eine große Zahl von Absolventen eines Chemie-Leistungskurses ein naturwissenschaftliches Studium beginnen oder ob vornehmlich diese Gruppe zur Teilnahme an der Studie bereit war. Auf jeden Fall wird die Kursbelegung als Einflussgröße bei den Lernerfolgsmessungen berücksichtigt.

Die signifikante Korrelation zwischen Häufigkeit der Internetnutzung und dem Wissenstest zum Internet weist darauf hin, dass eine zunehmende Internetpraxis mit einem Anstieg des Wissens über das Internet einher geht. Der Wissenstest verifiziert die

Angaben der Teilnehmer zur Häufigkeit der Internetnutzung. Die Größe *Internetnutzung* wird daher als zuverlässiger Wert für die Einflussgröße *Interenterfahrung* angesehen und als Kontrollvariable in die Hypothesenprüfung eingehen.

Die Befragung zum Selbstkonzept der Begabung zeigt eine überwiegende Ablehnung der gestellten Items, was mit einem überwiegend positiven Begabungsselbstkonzept einhergeht. Es sind zwar wegen dieser sehr einheitlichen Einschätzungen keine Ungleichverteilungen bezüglich des Selbstkonzeptes auf die Experimentalgruppen zu erwarten. Das Merkmal *Begabungsselbstkonzept* soll dennoch als Einflussgröße auf den Lernerfolg berücksichtigt werden.

4.3.5 Die Lernerfolgskontrolle

Der Lernerfolg wurde als Differenzmaß der Vor- und Nachtestergebnisse bestimmt. Beide Tests bestanden aus den gleichen fünfzehn Aufgaben im Multiple-Choice-Format. Multiple-Choice-Tests stehen in der Kritik, selten andere Fähigkeiten als die Rekonstruktion erlernten Wissens zu prüfen. Durch das Hinzufügen von Transferaufgaben, die das Verständnis im Säure-Base-Kapitel vermittelter Konzepte verlangen, soll auch Verständniswissen getestet werden. Dieser Abschnitt untersucht die Testgüte der Lernerfolgskontrolle.

Ein statistisches Verfahren zur Erfassung der Güte eines Tests ist die Reliabilitätsanalyse (4.3.5.1). In dieser Untersuchung wird der Alpha-Koeffizient von Cronbach zur Test-Reliabilität berechnet. Da Vor- und Nachtest dieser Untersuchung in großen Teilen identisch waren, ist eine Reliabilitätsanalyse der Differenzwerte zwar möglich, wäre aber dennoch mit Vorsicht zu interpretieren. Zum einen ist der Reliabilitätswert einer Differenz nach der klassischen Testtheorie zumeist niedriger als die der Einzelmessungen, da hier in die Messfehler des Differenzwertes sowohl die Unreliabilität des Vortests als auch die des Nachtests eingehen (vergl. Bortz & Döring, 1995). Zum anderen können auftretende Erinnerungseffekte das Bearbeiten des Nachtests vereinfachen und so eine objektive Auswertung der Lernerfolgskontrolle erschweren. Der erste Kritikpunkt gilt nach Auffassung moderner Testforschung als revisionsbedürftig (vergl. Rogosa, Brandt & Zimowski, 1982; Rogosa & Willet, 1983; Rogosa & Willet, 1985; Zimmermann & Williams, 1982). So weisen ROGOSA ET AL. auf die Streuung der Differenzmaße als einen wichtigen Indikator für die Reliabilität dieses Maßes hin. Ist diese nur hinreichend groß, so erlaubt sie, die Testpersonen zuverlässig in eine Rangfolge zu bringen und verbessert damit die Reliabilität der gemessenen Werte. Für eine qualitative Beurteilung der Lernerfolgskontrolle wird daher die Streuung ihrer Werte betrachtet (4.3.5.2). Der zweite Kritikpunkt eventuell auftretender Erinnerungseffekte wird durch die Ergebnisse der Vortestgruppe berücksichtigt, die den Fragebogen vor und nach einem neunzigminütigen Seminar bearbeiteten (4.3.5.5). Außerdem sollen die Ergebnisse der Transferaufgaben mit denen der Lernerfolgskontrolle verglichen werden (4.3.5.6).

Für eine inhaltliche Analyse sollen besonders die ersten drei Aufgaben der Lernerfolgskontrolle betrachtet werden, da sie das momentane fachliche Konzept der Teilnehmer und somit vom Vortest zum Nachtest hin nicht nur einen eventuellen Wissenszuwachs, sondern auch einen möglichen Konzeptwechsel erfassen. Für das Säure-Base-Kapitel wurde eine Terminologie verwendet, die tragfähig innerhalb des Kapitels und im Hinblick auf die Zuhilfenahme oder gleichzeitige Verwendung der gängigen Lehrbücher ist. Sie ist dadurch nicht an allen Stellen mit der in der Schule vermittelten oder der im Alltag gebräuchlichen Terminologie identisch (siehe auch 3.1.4). In diesen Aufgaben werden als richtig gewählte Antworten diejenigen verstanden, die im Sinne der Terminologie des Säure-Base-Kapitels gewählt werden. In der Schulchemie

wird der Brønsted-Begriff häufig als eine neue Definition für Säuren und Basen eingeführt und nicht als eine zweite Definition neben dem Boyle-Begriff. Mit Abschluss der Schulausbildung liegt den betreffenden Schülern nur ein einziger Säure-Base-Begriff vor. In deren Sinne wäre die Aufgabe 1 *Eine Säure ist mit ein Protonendonator* zu ergänzen. Diese Antwort wird jedoch als falsch bewertet, da in ChemNet wie auch in den einschlägigen Lehr- und Schulbüchern eine strikte Trennung zwischen den Säuren nach Boyle und den Brønsted-Säuren vorgenommen wird. Ein Großteil der Lernenden hat im Vortest somit gar nicht die Möglichkeit, im Sinne der ChemNet-Terminologie die erste Aufgabe richtig zu beantworten, da er zurecht dem in der Schule gelernten vertraut. In der gleichen Weise sind die Aufgaben 2 und 3 zu betrachten. Diese Aspekte sind in der Reliabilitätsanalyse schwer zu berücksichtigen. Zur Beurteilung der Güte der Lernerfolgskontrolle werden daher ebenfalls die Ergebnisse einzelner Fragen betrachtet (4.3.5.3). Diese Aufarbeitung dient damit einer inhaltlichen Analyse der Testergebnisse. Abschließend werden einerseits Erklärungen für besonders auffällige Antworttendenzen auf inhaltlicher Basis gegeben und andererseits die Güte der Tests als Lernerfolgskontrolle diskutiert.

4.3.5.1 Reliabilitätsanalyse

Für den Vortest erhält man einen Cronbach- α von .697. Hier fallen insbesondere die Aufgaben 1, 7 und 15 auf, die bei ihrer jeweiligen Herausnahme den α -Wert auf über .7 erhöhen würden, was somit zu einer Steigerung der Reliabilität des gesamten Tests führen würde. Für den Nachtest wurde die Reliabilität nach dem gleichen Verfahren mit einem Wert von $\alpha = .677$ bestätigt. In diesem Test würde die Herausnahme der Aufgaben 1 und 2 zu einer geringen Steigerung der Gesamttestgüte führen. Die Reliabilität des Vor- und Nachtests ist in beiden Fällen als ausreichend zu bezeichnen.

4.3.5.2 Vergleich der Vor- und Nachtestergebnisse und Betrachtung der Differenzwerte

Eine Zusammenhangsanalyse nach Pearson zeigt, dass Vor- und Nachtestleistung nicht unabhängig voneinander sind. Sie korrelieren miteinander zu $r = .55$ ($p < .001$). Teilnehmer, die im Vortest besser abschneiden als andere, bearbeiten gemeinhin auch den Nachtest entsprechend besser.

Die richtige Beantwortung aller Fragen wurde mit fünfzehn Punkten bewertet. Diese Punktzahl erreichten im Nachtest fünf Teilnehmer. Das beste Ergebnis im Vortest betrug elf Punkte, die ebenfalls von fünf Teilnehmern erreicht wurden.

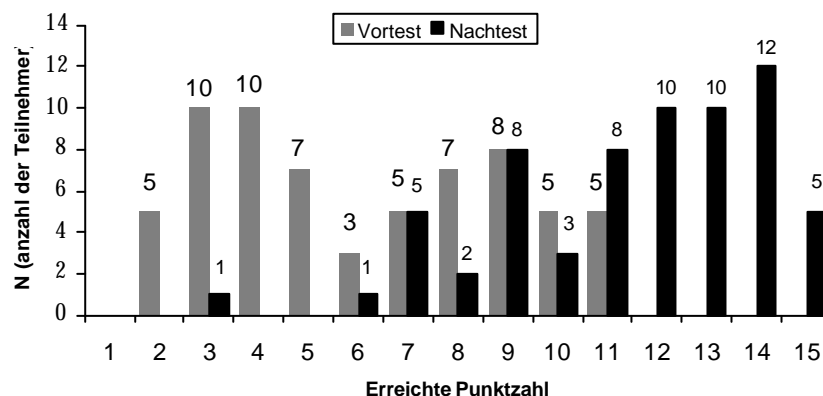


Abbildung 15: Häufigkeitsverteilungen der Vor- und Nachtestleistungen

Die Häufigkeitsverteilung in Abbildung 15 zeigt deutlich die Verschiebung der absoluten Nachttestergebnisse im Vergleich zu den absoluten Vortestergebnissen, die sich auch in den Mittelwerten widerspiegelt. So betrug die mittlere erreichte Punktzahl im Vortest 6,17 und im Nachttest 11,43. Die Teilnehmer verbesserten sich im Durchschnitt um 5,26 Punkte (Tabelle 10).

Tabelle 10: Vergleich der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der erreichten Punktzahl im Vortest und im Nachttest

	M	SD
Vortest (VT)	6,17	2,87
Nachttest (NT)	11,43	2,65
Differenz (NT-VT)	5,26	2,62

Eine vollständige Darstellung der Häufigkeitsverteilungen der Lernerfolgsergebnisse bietet die Abbildung 16. Sie verdeutlicht die breite Streuung der Differenzwerte. Der größte Lernerfolg wurde bei drei Teilnehmern mit einer Steigerung von zehn Punkten verzeichnet. Ein Teilnehmer konnte sich nicht verbessern und ein weiterer verschlechterte sich um einen Punkt. Die relativ hohe Streuung ermöglicht ein Auflisten einer Rangliste der Versuchspersonen nach Maßgabe ihrer Differenzwerte, so dass an diesem Maß für den Lernerfolg festgehalten werden kann.

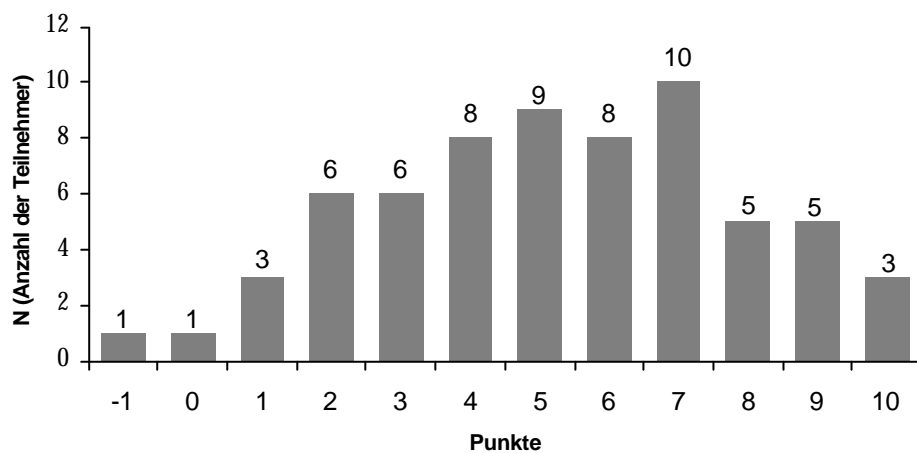


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Differenzen Nachttest – Vortest.

Bei einem Vergleich der gelösten Aufgaben im Vor- und im Nachttest ist zu erkennen, dass alle fünfzehn Aufgaben im Nachttest besser bearbeitet wurden (Abbildung 17). Während im Vortest nur fünf Aufgaben von mehr als die Hälfte der Versuchspersonen richtig beantwortet wurden, gab es im Nachttest nur eine Aufgabe, die von weniger als 60 % gelöst wurde. Diese Veränderung ist bei Berechnung des t-Tests für gepaarte Stichproben hoch signifikant ($t = 16.21$, $p < .001$). Aus der Abbildung wird auch deutlich, dass keine der Aufgaben ausnahmslos richtig beantwortet wurde.

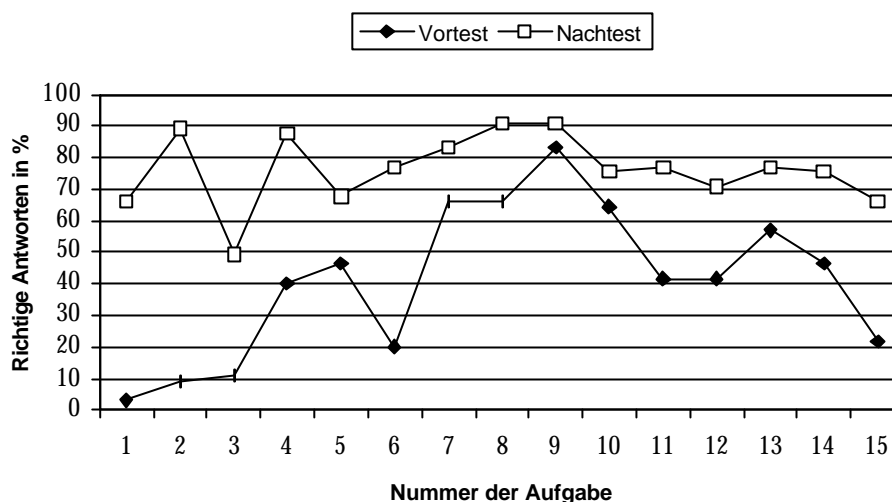


Abbildung 17: Vergleich der Vor- und Nachtestleistungen in % für die Aufgaben 1-15.

4.3.5.3 Zur inhaltlichen Aufarbeitung der Lernerfolgskontrolle

Der Abbildung 17 ist außerdem zu entnehmen, dass gerade die Konzeptaufgaben 1, 2 und 3 im Vortest schlecht ausfielen: Die Aufgabe 1: *Eine Säure ist* ergänzt zunächst nur 3 % und anschließend 66 % mit *ein Stoff, dessen wässrige Lösung Indikatoren charakteristisch färbt*. Die Aufgabe 2: *Welche der folgenden Stoffe ist eine Säure* beantworteten im Vortest nur 9 % und im Nachtest 89 % mit *Chlorwasserstoff*. Die am häufigsten genannten Antworten zur ersten Frage sind mit 42 % bzw. 37 % aller Antworten: *Eine Säure ist ein Protonendonator* und *Eine Säure ist eine Lösung mit einem pH-Wert niedriger als 7*. Als Beispiel einer Säure wurde mit 91 % die *Salzsäure* gewählt. Vergleichbar oft wurde in der dritten Aufgabe *Welcher der folgenden Stoffe ist eine Base?* mit 80 % die *Natronlauge* gewählt. Die für das Konzept des Säure-Base-Kapitels richtige Antwort *Natriumhydroxid* wurde im Vortest lediglich von 11 % der Teilnehmer erkannt. Im Vergleich zu den ersten beiden Aufgaben fällt das Ergebnis dieser Aufgabe im Nachtest mit 49 % nicht so hoch aus.

Eine besondere Beachtung soll auch die sechste Aufgabe finden. Während 40 % der Teilnehmer die Aufgabe 4: *Eine Brønsted-Base ist* im Vortest richtig mit *ein Protonenakzeptor* ergänzten, wurde der Umkehrschluss in der Aufgabe 6: *Ein Protonenakzeptor ist* nur von 20 % mit *eine Brønsted-Base* geleistet (Tabelle 11). 51 % der Teilnehmer wählten hier als Antwort, ein Protonenakzeptor sei ein *Stoff, der Protonen aufnimmt*.

Tabelle 11: Ergebnisse des Vor- und Nachtests: Anzahl der Teilnehmer, die die jeweilige Aufgabe richtig beantwortet haben (absolut und als prozentualer Anteil).

Item	Richtige Antworten			
	im Vortest		im Nachtest	
	N	%	N	%
1. Eine Säure ist	2	3	43	66
2. Welcher der folgenden Stoffe ist eine Säure?	6	9	58	90
3. Welcher der folgenden Stoffe ist eine Base?	7	11	32	49
4. Eine Brønsted-Base ist	26	40	57	88
5. Welches Teilchen kann gegenüber Wassermolekülen als Brønsted-Säure wirken?	30	46	44	68
6. Ein Protonenakzeptor ist	13	20	50	77
7. Ein saures Oxid ist	43	66	54	83
8. Eine alkalische Lösung ist	43	66	59	91
9. Welche der folgenden Antworten ergänzt das Reaktionsschema $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$?	54	83	59	91
10. Welche der folgenden Antworten ergänzt das Reaktionsschema $\text{Na}^+ + \text{OH}^- + \dots \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$?	42	65	49	75
11. Eine starke Säure ist	27	42	50	77
12. Der pH-Wert ist	27	42	46	71
13. Was kennzeichnet ein pH-Wert, der kleiner ist als 7?	37	57	50	77
14. Eine Neutralisation ist	30	46	49	75
15. Eine Lewis-Säure ist	14	22	43	66

Legende: $N_{\text{ges}} = 65$

Die Aufgaben 4, 5 und 7-14 wurden schon im Vortest mit einer relativen Mehrheit im Sinne des Säure-Base-Kapitels nach ChemNet beantwortet. Es ist zu beachten, dass bei einer Aufgabe mit fünf Antworten die Ratewahrscheinlichkeit für eine der Antworten bei 20 % liegt. Damit ist nahezu auszuschließen, dass sowohl im Vortest als auch im Nachtest die Antworten mit den meisten Nennungen zufällig gewählt wurden. Eine Ausnahme könnte lediglich das Vortestergebnis der Aufgabe 15 bilden. Der Satz: *Eine Lewis-Säure ist* wurde hier von 22 % mit der Bestantwort *ein Elektronenpaarakzeptor* mit 22 % ergänzt. Dieser Wert ist vergleichbar mit denen der Antwortalternativen *ein Säurekomplex* (28 %) und *ein Protonendonator* (22 %).

4.3.5.4 Betrachtung der Größe Vorwissen als Einflussgröße

Der Theorie über das Lernen in komplexen elektronischen Lernumgebungen nach kann mangelndes Vorwissen Lernschwierigkeiten hervorrufen. Ein ausbleibender oder auffällig geringer Lernerfolg bei Teilnehmern mit geringem Vorwissen wäre ein Indiz dafür, dass das Lernprogramm für einen Teil der anvisierten Zielgruppe nicht geeignet ist. Für die Einflussgröße Vorwissen soll daher kontrolliert werden, ob sich bei Lernenden mit geringem Vorwissen Lernschwierigkeiten bemerkbar gemacht haben. Hierfür ist bei der Extremgruppe E_1 (25 % der Untersuchungsteilnehmer mit den niedrigsten Testwerten im Vortest) ein Mittelwertvergleich der Lernerfolgsergebnisse mit dem Mittelwert zur Restgruppe (alle Teilnehmer, die nicht E_1 angehören) vorgenommen worden. Der Mittelwert des Lernerfolgs von E_1 ($N = 15$) betrug $M = 6,80$ ($SD = 1,70$). Im Vergleich zum Mittelwert der Restgruppe $M = 4,80$ ($SD = 2,83$) liegt er damit um zwei Punkte höher. Ein geringes Vorwissen hat demnach keine einschränkenden Wirkungen auf das Lernen. Da insgesamt ein beachtenswerter Lernerfolg zu verzeichnen ist ($M = 5,26$), ist davon auszugehen, dass selbst für Lernende mit geringem Vorwissen die Darbietung der Inhalte unabhängig von der Textstruktur verständlich ist.

4.3.5.5 Die Ergebnisse der Vortestgruppe¹⁸

Die ersten Testergebnisse der Vortestgruppe ($N = 16$) liegen im Mittelwertvergleich zu den Vortestergebnissen der Versuchspersonen mit $M = 5,75$ ($SD = 2,08$) um 0,36 Punkte niedriger. Dieser Wert verbessert sich beim zweiten Testdurchlauf nur unwesentlich um 0,06 Punkte ($SD = 1,65$) auf $M = 5,81$ (Tabelle 12).

Tabelle 12: Testergebnisse der Kontrollgruppe als Mittelwert (M) mit der zugehörigen Standardabweichung (SD)

	M	SD
1. Testdurchlauf (T1)	5,75	2,08
2. Testdurchlauf (T2)	5,81	1,97
Differenz (T2-T1)	0,06	1,65

Legende: N = 16

Die Ergebnisse der Kontrollgruppe zeigen deutlich, dass das wiederholte Bearbeiten des Tests einen geringen Einfluss auf den Lernzuwachs besitzt. Der in der Studie gemessene Lernzuwachs ist somit hauptsächlich auf das Lernprogramm zurückzuführen.

4.3.5.6 Transferfragen

Die drei Transferfragen boten jeweils elf Antworten, aus denen die Richtigen auszuwählen waren. In der ersten Aufgabe waren drei Antworten richtig und in den anderen beiden jeweils fünf. Jede richtige Antwort wurde mit einem Punkt bewertet.

¹⁸ Die Teilnehmer der Vortestgruppe besuchten ein fachdidaktisches Seminar und haben sich dort nicht mit dem Thema *Säuren und Basen* beschäftigt.

Insgesamt waren dreizehn Punkte zu erreichen. Für die Auswertung wurden nur die richtigen Nennungen gewertet, für falsche Nennungen gab es keinen Punktabzug.¹⁹

Der Mittelwert der erreichten Punkte betrug $M = 8,46$ (Tabelle 13). Die Abbildung 18 zeigt, dass die erreichten Punktwerte der vertiefenden Aufgaben einer breiten Streuung von zwei bis dreizehn Punkten unterliegen.

Tabelle 13: Vergleich der Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der erreichten Punktzahlen bei den einzelnen Transferfragen und insgesamt.

	M	SD
1.Aufgabe	1,85	1,00
2.Aufgabe	3,77	1,32
3.Aufgabe	2,88	1,38
Gesamt	8,46	2,64

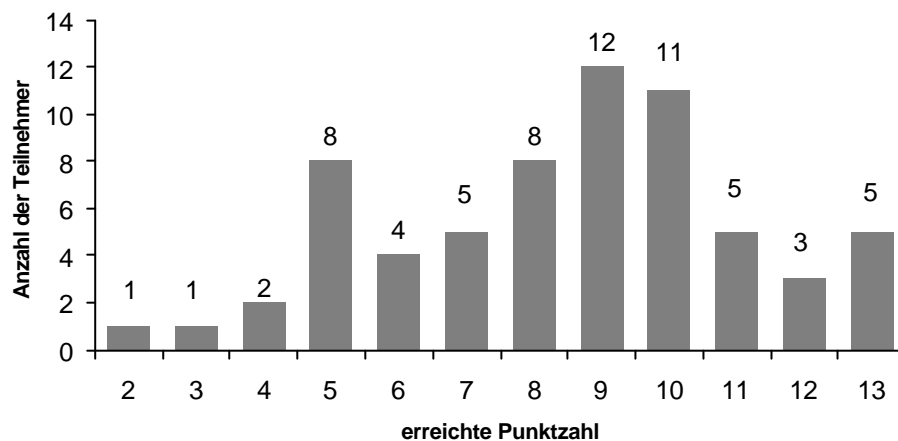


Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der erreichten Punktzahl bei den Transferfragen.

Das Transferwissen ist signifikant abhängig von den Vor- und Nachtestergebnissen ($r = .48$, $p < .001$ bzw. $r = .39$, $p < .001$). Ein signifikanter Zusammenhang zum Wissenszuwachs konnte nicht nachgewiesen werden.

4.3.5.7 Diskussion

Die Bearbeitung des Wissenstests nach der Lernphase zeigt eine hoch signifikante Verbesserung im Vergleich zum Vortest. Bei einer Analyse der einzelnen Aufgaben

¹⁹ Bei der Bewertung der Transferaufgaben wäre als Kritik anzubringen, dass eine Testperson, die alle Antworten ankreuzen würde, die volle Punktzahl erhielte. Im Schnitt wurden weniger als dreizehn von insgesamt dreiunddreißig vorgegebenen Antworten angekreuzt ($M = 9,68$, $SD = 2,62$). Das Maximum betrug dabei vierzehn angekreuzte Antworten. Zwischen der Zahl der gesetzten Kreuze und der erreichten Punktzahl besteht ein hoch signifikanter Zusammenhang (Korrelation nach Pearson $.901$, $p < .001$), was ein sicheres Indiz dafür ist, dass die Antworten bewusst gewählt wurden.

wurden im Vor- und Nachtest besondere Antworttendenzen festgestellt, die im folgenden diskutiert werden.

Inhaltsanalyse: Die Ergebnisse des Vortests zeigen deutlich, dass ein Großteil der Teilnehmer keine bewusste Trennung der stofflichen von der Teilchenebene durch die Verwendung mehrerer Säure-Base-Begriffe vollziehen. Der Brønsted-Begriff wird überwiegend als einziger Begriff verwendet. So wird beispielsweise die Säure mehrheitlich als Protonendonator bestimmt. Ein weiteres Indiz für das Ausbleiben einer bewussten Trennung der Ebenen ist die überwiegende Beschreibung des Protonenakzeptors als ein Stoff, der Protonen aufnimmt, also als ein *Stoff* mit *Teilcheneigenschaften* (Aufgabe 6). Immerhin wählen viele Versuchspersonen auch eine eher operationale Umschreibung für die Säure über den pH-Wert. Es wird jedoch nicht beachtet, dass bei dieser Antwort die Säure als saure Lösung aufgefasst wird. Die Gleichsetzung von Säure und Base mit deren wässrigen Lösung wird auch durch die Ergebnisse der Aufgaben 2 und 3 bestätigt. Mit überwiegender Mehrheit werden die wässrigen Lösungen Salzsäure und Natronlauge als Beispiel für eine Säure bzw. für eine Base angesehen. An dieser Stelle machen sich die Schwierigkeiten bemerkbar, die entweder durch eine unreflektierte Verwendung der traditionellen Stoffnamen oder, im Sinne des Zubereitungskontextes (siehe 3.1.2), durch ein Gleichsetzen der entsprechenden Stoffe und ihren wässrigen Lösungen auftreten können. Die Streuung in den Antworten zur Frage nach der Lewis-Säure (Aufgabe 15) kann damit gedeutet werden, dass dieser Begriff für einen Großteil der Studierenden zum Zeitpunkt vor der Untersuchung noch nicht bekannt war. Für Studierende des ersten Semesters ist das nicht ungewöhnlich, da die Vermittlung des Lewis-Begriffes in den Lehrplänen der einzelnen Bundesländer für gewöhnlich höchstens als Inhalt zur Vertiefung vorgeschlagen, explizit jedoch nicht gefordert wird.

Bei einer Betrachtung der Nachtestergebnisse angesprochener Aufgaben, können die großen Differenzen von Vor- und Nachtest sehr gut damit erklärt werden, dass das Konzept der Lernumgebung von den meisten Teilnehmern angenommen wurde. So wurden nun mehrheitlich Säuren und Basen von ihren sauren Lösungen unterschieden und eine Trennung des stofflichen Säure-Base-Begriffs von dem Brønsted-Begriff vorgenommen. Trotz der Beeinträchtigung der Gesamttest-Reliabilität sind die ersten drei Aufgaben daher gute Testaufgaben für einen Lernerfolg. Der Befund, dass keine der Aufgaben von nahezu allen Teilnehmern richtig gelöst wurde, spricht für die Annahme, dass es sich bei dem Wissenstest um ein anspruchsvolles Erhebungsinstrument handelt. Für das richtige Bearbeiten scheinbar leichter Multiple-Choice-Fragen müssen sich selbst Haupt- und Nebenfachstudierende der Chemie eine längere Zeit mit fachlichen Inhalten beschäftigen, um bei diesem Test gut abzuschneiden. Dazu mag die Hinzunahme der Konzeptaufgaben 1 - 3 beitragen. Für ihre richtige Bearbeitung ist das Verständnis des in dem Lehrtext entwickelten Begriffskonzeptes hilfreich. In der Lernerfolgskontrolle ist daher nicht nur ein einfaches Instrumentarium zur Rekonstruktion erlernten Wissens zu sehen. Es werden außerdem auch Verständnisleistungen überprüft. Bei den Teilnehmern mit schlechten Lernerfolgsergebnissen könnten Motivationsprobleme für ihr Abschneiden eine Rolle gespielt haben. Da sich jedoch mit zwei Probanden verhältnismäßig wenige im Nachtest nicht verbessert oder sogar verschlechtert haben, soll eine weitere Überprüfung möglicher Ursachen ausbleiben.

Vorwissen: Der Vergleich der Lernerfolgsergebnisse zwischen der Extremgruppe E_1 mit niedrigem Vorwissen und der Restgruppe dient der Kontrolle, ob Lernende mit schlechtem Vorwissen bei Benutzung des Lernprogramms benachteiligt sind. Das Ergebnis erstaunt. Die Teilnehmer mit wenig Vorwissen lernen überdurchschnittlich gut. Die Testkapitel scheinen auch für Lernende mit wenig Wissen verständlich geschrieben zu sein. Der um 1,5 Punkte höhere Mittelwert des Lernerfolgs von E_1 im Vergleich zum

Gesamtmittelwert erscheint bemerkenswert. Das liegt zum einen daran, dass Lernende mit schlechten Vortestergebnissen insgesamt mehr Möglichkeiten besitzen, sich um eine bestimmte Punktzahl zu verbessern als Lernende mit besseren Vortestergebnissen. Es ist beispielsweise leichter, ein Vortestergebnis von zwei Punkten im Nachtest auf zehn Punkte zu verbessern als von sieben auf fünfzehn Punkte. Zum anderen haben die Teilnehmer der Gruppe E_1 definitionsgemäß ein schlechtes Vortestergebnis. Insofern ist ihr Subtrahend für die Berechnung des Differenzwertes gering. Bei einem vergleichbaren Nachtestergebnis fällt das Lernerfolgsergebnis eines Teilnehmers der Gruppe E_1 also immer besser aus als bei anderen Teilnehmern. Dieser Effekt würde besonders dann groß, wenn bei dem Nachtest ein Deckeneffekt eintrete, wenn also bei den guten bis sehr guten Lernenden keine ausreichende Trennschärfe mehr stattfände, weil sie im Bereich der maximalen Punktzahl lägen. Die Häufigkeitsverteilung zeigt jedoch, dass auch im Bereich der maximalen Punktzahl im Nachtest noch eine genügende Streuung vorliegt. Bei Zunahme weiterer schwierigerer Aufgaben bestünde dennoch die Möglichkeit einer besseren Trennschärfe, was dann eventuell zu einer Minderung des oben beschriebenen Effekts der Mittelwertvergleiche beitrüge.

Transferaufgaben: Der signifikante Zusammenhang der Transferleistung zu den Vor- und Nachtestleistungen zeigt, dass diese Maße voneinander nicht unabhängig sind. Je besser die Lernenden in den Tests sind, umso besser können sie auch die Transferaufgaben bearbeiten. Damit könnte auch der fehlende Zusammenhang zum Lernerfolg erklärt werden. Die Transferleistung ist nicht wie der Lernerfolg ein Differenzmaß. In ihre Größe geht also nicht ein, was die Lernenden vorher zu leisten imstande waren. Trotz des nicht signifikanten Zusammenhangs zwischen Transferaufgaben und dem Lernerfolg sollen diese bei einer weiteren Analyse Berücksichtigung finden. Da die erreichte Punktzahl kein Differenzmaß zwischen Vor- und Nachtest ist und die Werte im Vergleich zu denen der Lernerfolgskontrolle im Durchschnitt höher sind, sollen sie nicht additiv in die Größe Lernerfolg mit einfließen, sondern getrennt davon mit eventuell signifikanten Ergebnissen der Lernerfolgskontrolle verglichen werden.

4.3.6 Darstellung und Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Im Rahmen der Untersuchung galt es, folgende übergreifende Fragestellungen zu beantworten (s. hierzu 4.1):

- *Ist das Anbieten unterschiedlicher Textstrukturen geeignet, um fachliches Lernen für Adressaten mit einer bestimmten oder unbestimmten Zielorientierungen und mit unterschiedlichen Vorkenntnissen zu gewährleisten?*
- *Wie ist die Akzeptanz von ChemNet bei den Studierenden bezüglich ihrer Gestaltung und ihres Inhaltes?*

Zur Lernerfolgsfrage: Die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse erfolgt in der Reihenfolge der in Abschnitt 4.1 genannten Hypothesen und Einzelfragestellungen. Eine Beurteilung der Hypothesen H1 und H2 wird in 4.3.6.1 vorgenommen. Die in 4.3.6.2 anschließende Auswertung der Nutzerprotokolle soll für eine Interpretation der Lernerfolgsergebnisse im Hinblick auf die Wirksamkeit unterschiedlicher Strukturen berücksichtigt werden.

Zur Akzeptanzfrage: Der Abschnitt 4.3.6.3 zur Ergebnisdarstellung der Bewertung betrachtet in drei Unterabschnitten die Bewertung zu generellen, inhaltlichen und designspezifischen Aspekten. Einer Zusammenfassung dieser Ergebnisse fügt sich dann eine Diskussion an, die das objektive Maß der Lernerfolgskontrolle mit einschließt.

4.3.6.1 Auswirkungen der Größen Zielvorgabe und Textstruktur auf den Lernerfolg

Im Folgenden werden die Hypothesen H1 und H2 überprüft:

- (H1) Studierende mit einer bestimmten Zielorientierung haben bei Benutzung der vernetzten Struktur einen größeren Lernerfolg als bei Benutzung der linearen Struktur.
- (H2) Studierende mit unbestimmter Zielorientierung haben bei Benutzung der linearen Struktur einen größeren Lernerfolg als bei Benutzung der vernetzten Struktur.

Die Überprüfung der Hypothesen erfolgt im Rahmen des in 4.3.1 vorgestellten varianzanalytischen Versuchsplans zunächst ohne und anschließend mit Berücksichtigung der Kontrollvariablen. Eine Untersuchung des Lernerfolgs in verschiedenen Gruppen setzt voraus, dass alle Gruppen mit vergleichbaren Voraussetzungen starten, da eine Ungleichverteilung der Vorkenntnisse zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen kann (4.3.1.1). Im Vorfeld der Hypothesenprüfung wird daher eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit den gleichen Treatmentfaktoren *Textstruktur* und *Zielorientierung* durchgeführt. Die abhängigen Variablen ist dabei das *Vorwissen*. Das in Abbildung 19 grafisch dargestellte Ergebnis zeigt einen marginalen Vorteil im Vorwissen zugunsten der Experimentalgruppen, die mit unbestimmtem Ziel lernen ($F(1,61) = 3,44$, $p < .10$). Statistisch nicht bedeutsam sind dagegen die Unterschiede im Vorwissen zwischen den Benutzern der beiden Textversionen ($F(1,61) = .22$, ns) und die Wechselwirkung von Zielorientierung und Textversion ($F(1,61) = .62$, ns). Es bleibt also zu berücksichtigen, dass die Probanden, die mit unbestimmter Zielorientierung lernen, bezüglich ihres Vorwissens geringfügig bevorteilt sind.

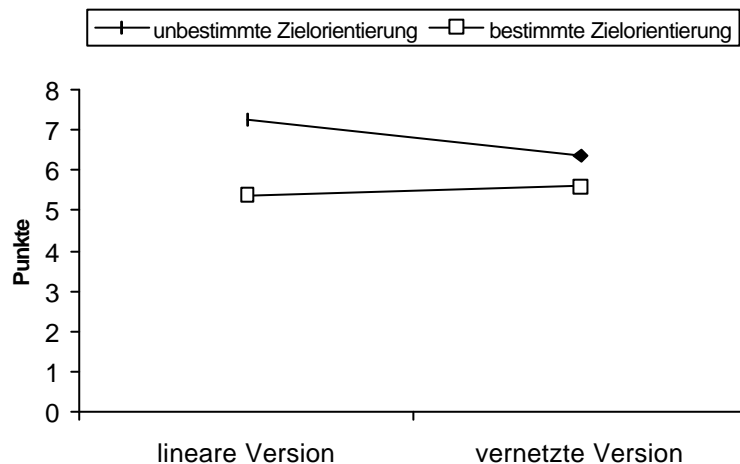


Abbildung 19: Vergleich des Vorwissens in den einzelnen Experimentalgruppen

Nach der Lerneinheit zeigte sich nun ein statistisch bedeutsamer Haupteffekt für den Faktor Textstruktur: Studierende, die mit der vernetzten Textversion gearbeitet haben, hatten einen signifikant höheren Lernerfolg als Studierende, die mit der linearen Version lernten ($F(1,61) = 5.12$, $p < .05$). Weiterhin konnte zwar kein signifikanter Haupteffekt jedoch eine Tendenz bei dem Faktor Zielorientierung nachgewiesen werden, die ein besseres Lernen bei der bestimmten Vorgabe signalisiert als bei der unbestimmten ($F(1,61) = 3.25$, $p < .10$). Die bezüglich des Vorwissens festgestellte Bevorteilung der Lernenden mit unbestimmter Zielorientierung hatte sich also nicht auf den Lernerfolg ausgewirkt. Statt dessen kehrte sich der Effekt sogar zugunsten der bestimmten

Zielorientierung um. Statistisch bedeutsame Wechselwirkungseffekte zwischen den Faktoren traten nicht auf ($F(1,61) = .10$, *ns*). Die Hypothesen H1 und H2, die einen Interaktionseffekt annahmen, konnten somit nicht bestätigt werden. Werden die Einflussgrößen *Abiturnote*, *Selbstkonzept der Begabung*, *Chemieunterricht* und *Internetserfahrung* bei einer Kovarianzanalyse aus der abhängigen Variablen *Lernerfolg* herausgerechnet, so bleibt der Haupteffekt in Bezug auf die Textstruktur weiterhin signifikant auf dem 5 %-Niveau ($F(1,55)=4.43$, $p < .05$). Der marginal signifikante Effekt zugunsten der bestimmten Zielvorgabe bleibt bei einer Berücksichtigung der Einflussgrößen dagegen nicht bestehen ($F(1,55) = 1.18$, *ns*). Die aufgeführten Effekte werden durch die Abbildung 20 verdeutlicht: Sowohl mit bestimmter als auch mit unbestimmter Zielorientierung erzielen die Teilnehmer im Durchschnitt bei Verwendung der vernetzten Version einen höheren Lernerfolg. Der Lernerfolg ist außerdem – unabhängig von der Textstruktur – höher, wenn ein bestimmtes Ziel vorgegeben wird. Damit verdeutlicht die Abbildung auch das Ausbleiben der hypothetisierten Wechselwirkungen: Eine Bestätigung von H1 und H2 hätte sich durch ein Überkreuzen der aufgetragenen Linien bemerkbar gemacht.

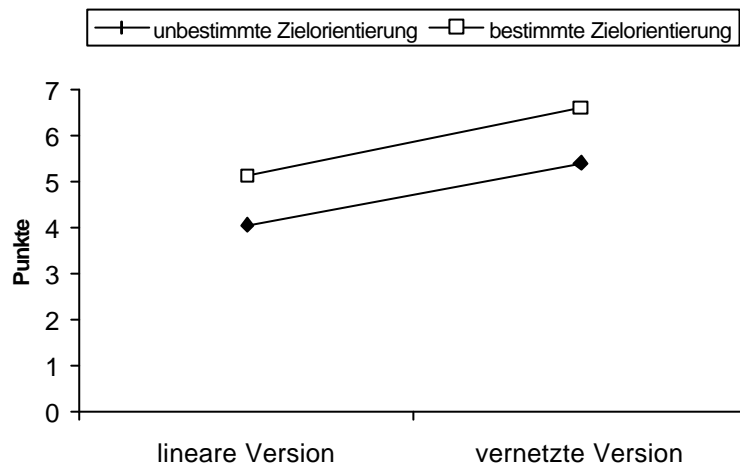


Abbildung 20: Vergleich der Lernerfolge in den einzelnen Gruppen.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Testergebnissen der Transferaufgaben und einem der Haupteffekte Textstruktur – Zielorientierung oder gar Wechselwirkungen im Sinne der Hypothesen H1 und H2 konnten nicht nachgewiesen werden. Jedoch zeigt ein direkter Mittelwertvergleich bei den Teilnehmern, die mit der vernetzten Version gelernt haben, dass die vertiefenden Aufgaben entsprechend der Lernerfolgskontrolle besser bearbeitet wurden (Abbildung 21).

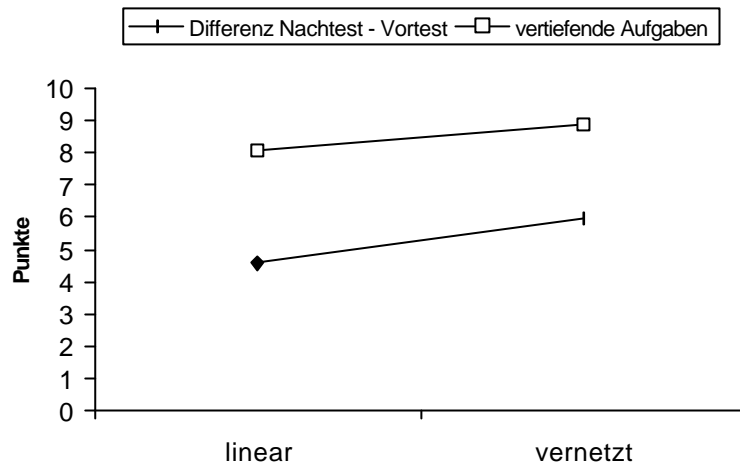


Abbildung 21: Mittelwertvergleich der Differenz aus Vor- und Nachtestleistung bzw. der Leistung bei den Transferaufgaben.

Für die Betrachtung weiterer Korrelationen zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen ist nun der signifikante Einfluss, den die Treatments Zielorientierung und Textstruktur auf den Lernerfolg haben, zu beachten. Ein möglicherweise bestehender Zusammenhang zwischen einem Merkmal und Testgrößen, die nach der Lernphase erhoben wurden, sollte von dem moderierenden Effekt der Treatments bereinigt werden. In diesen Fällen werden daher Partialkorrelationen berechnet. Das Verfahren rechnet statistisch den Einfluss der Treatmentfaktoren auf die betrachteten Merkmale heraus (Bortz & Döring, 1995). Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Größe Lernzuwachs ein Differenzmaß zweier Tests ist. Korrelative Zusammenhänge zu einer derartigen Größe fallen immer geringer aus als zu Größen eines einzelnen Tests, da bei ihr die Messfehler beider zugrundeliegenden Tests eingehen (siehe 4.3.5). Daher wird für die Größe Lernzuwachs eine Korrektur der Testunschärfe (correction for attenuation) vorgenommen (McNemar, 1969). Für bivariate Zusammenhänge mit der Variable Vortest wird eine einfache Pearson-Korrelation bzw. für die Variable Grundkurs/Leistungskurs eine Korrelation nach Spearman untersucht (Tabelle 14).

Die Analyse zeigt hoch signifikante Korrelationen der Kontrollvariablen *Selbstkonzept der Begabung*, *Schuljahre Chemie* und *Grundkurs/Leistungskurs Chemie* mit den Variablen *Vortest* oder *Nachtest*. Die *Interneterfahrung* wirkt sich nicht unmittelbar signifikant auf diese Testleistungen aus. Die Abiturnote korreliert negativ auf dem 5%-Niveau mit dem *Nachtest* und auf dem 1%-Niveau mit den Transferergebnissen. Die Größe *Transfer* korreliert außerdem auf dem 1%-Niveau mit der Größe *Selbstkonzept* und marginal auf dem 10%-Niveau mit der Größe *Interneterfahrung*. Als einzige Größe weist die *Interneterfahrung* einen signifikanten Zusammenhang mit dem Differenzwert *Lernerfolg* auf.

Tabelle 14: Korrelationen der Einflussgrößen mit den Testergebnissen

	Vortest	Nachtest ²	Transfer ²	Differenz ² (Lernerfolg)
Abiturnote	-.21 ¹	-.30*	-.37**	-.03
Selbstkonzept	.47*** ¹	.49***	.38**	-.15
Schuljahre Chemie	.50*** ¹	.49***	.20	-.13
Grund-/Leistungskurs	.59*** ³	.41***	.21	-.08
Internetserfahrung	-.03 ¹	.14	.23 ⁺	.32*

Legende: ¹ Korrelation nach Pearson, ² Partialkorrelation, korrigiert bzgl. der Testunschärfe, ³ Korrelation nach Spearman, +: Die Korrelation ist auf dem 10 %-Niveau (2-seitig) marginal signifikant *: Die Korrelation ist auf dem 5 %-Niveau (2-seitig) signifikant, **: Die Korrelation ist auf dem 1 %-Niveau (2-seitig) signifikant, ***: Die Korrelation ist auf dem 0,1 %-Niveau (2-seitig) hoch signifikant.

4.3.6.2 Auswertung des Nutzerprotokolls

Die durchschnittliche Anzahl aufgerufener Seiten betrug $M = 56$ ($SD = 36$). Dieser Wert ist für die Nutzer der jeweiligen Textversionen jedoch sehr verschieden: In der linearen Version wurden im Durchschnitt 38 Seiten ($SD = 23$) aufgerufen. Das entspricht bei neunzig Minuten Lernzeit einer durchschnittlichen Lesezeit von 2:22 Minuten pro Seite. In der vernetzten Version wurden im Mittel 74 Seiten ($SD = 37$) aufgerufen, was einer Lesezeit von 1:13 Minuten pro Seite entspricht.

Diese Unterschiede erklären sich durch die strukturbedingte Länge der Seiten. In der vernetzten Textversion werden dem Leser die Inhalte in kleineren Einheiten angeboten, um ihm die Wahl der für ihn relevanten Informationen zu ermöglichen. Vergleichbare Inhalte einer Seite der linearen Version sind in der vernetzten Version häufig auf mehrere Seiten verteilt. Dadurch benötigen die Leser der vernetzten Struktur zum einen weniger Zeit pro Seite, um die relevanten Informationen zu lesen und zum anderen mehrere Seitenaufrufe, um vergleichbar viel Informationen zu bekommen wie die Leser der linearen Seiten.

Schwerpunkt der Betrachtung einzelner Nutzerprotokolle ist die Überprüfung, ob die Strukturen in den ihr zugeordneten Funktionen genutzt wurden. Es ist aber auch von Interesse, inwiefern sich die unterschiedlichen Zielorientierungen im Verlauf des grafisch dargestellten Protokolls bemerkbar machen. Wählt also ein Lernender mit bestimmter Zielorientierung direkte Zugriffe auf erforderliche Informationen? Lässt sich ein Lernender ohne bestimmte Zielorientierung von einer Strukturvorgabe leiten? Natürlich lassen Einzelfallstudien keine generellen Aussagen zu. Außerdem erlaubt die Datenlage nur Spekulationen über die Ursachen einzelner Lernergebnisse. In dieser Weise sollen die folgenden Erklärungsversuche auch betrachtet werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Nutzerprotokolle folgender Versuchspersonen grafisch aufbereitet, erläutert und für jede Gruppe zusammenfassend diskutiert (Erläuterungen zum Aufbau der Grafen siehe Abschnitt 4.3.2.4):

Tabelle 15: Übersicht: Testergebnisse der Teilnehmer aus der Einzelfallstudie

Experimental- gruppe	Person	Vortest- ergebnis	Nachtest- ergebnis	Differenz (Lernerfolg)	Transfer- aufgaben
G1 (lin/best.Z)	G1a	4	3	-1	5
	G1b	9	14	5	13
G2 (vern/best.Z)	G2a	5	9	4	9
	G2b	5	15	10	12
G3 (lin/ubest.Z)	G3a	11	11	0	7
	G3b	4	14	10	10
G4 (vern/ubest.Z)	G4a	3	7	4	5
	G4b	8	15	7	11

Legende: lin: lineare Version, vern: vernetzte Version, best.Z. bestimmte Zielorientierung, ubest.Z: unbestimmte Zielorientierung

Die Teilnehmer wurden nach dem Zufallsprinzip aus den vier Experimentalgruppen G1 - G4 ausgewählt. Die Lernerfolgsergebnisse des einen Teilnehmers einer Gruppe liegen über dem Median der betreffenden Gruppe und die des anderen darunter.

Experimentalgruppe G1: lineare Version, bestimmte Zielorientierung

Der Kurvenverlauf des Lernwegs von G1a²⁰ ist bis auf fünf Peaks und eine weitere Stelle monoton steigend (Abbildung 22). Die Peaks sind aus dem Zahlenbereich 28.000 bis 30.000, der kennzeichnend für die Glossarseiten ist.

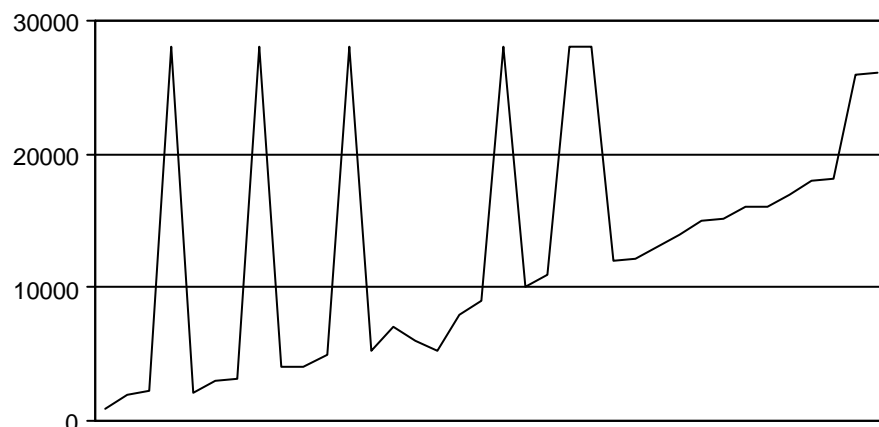


Abbildung 22: Seitenaufrufe der Versuchsperson G1a: Nutzer der linearen Version mit vorgeschriebener Zielorientierung und einem Lernerfolgsergebnis von -1 Punkt.

²⁰ Personenspezifische Daten von G1a: Männlich, 21 Jahre, Hauptfach Biologie, keinen Chemieunterricht in der Oberstufe, Abiturnote 3,0, Internetnutzung selten, 43 Seitenaufrufe.

Abbildung 23 zeigt den Lernverlauf der Person G1b²¹. Die Kurve ist vergleichbar zu der von G1a monoton steigend. Sie besitzt jedoch nur einen Peak, der in den Glossar-Bereich ragt.

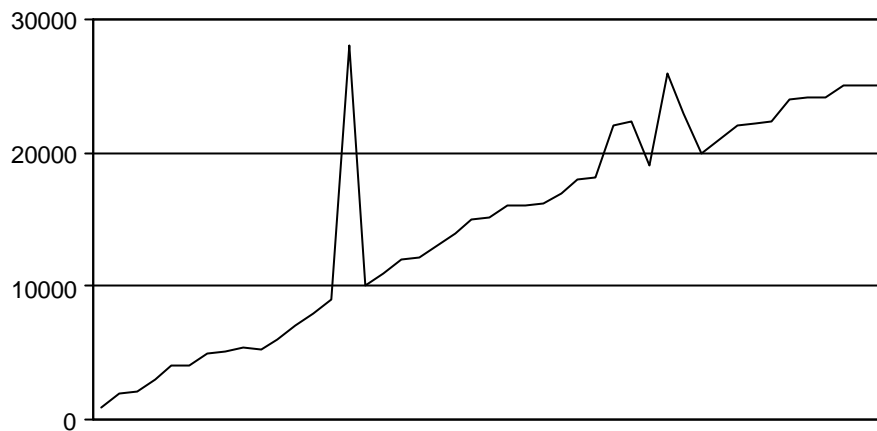


Abbildung 23: Seitenaufrufe der Versuchsperson G1b: Nutzer der linearen Version mit vorgeschriebener Zielorientierung und einem Lernerfolgsergebnis von 5 Punkten.

Beide Kurvenverläufe zeigen eine konsequente Nutzung der vorgegebenen Reihenfolge der Inhalte. Selbst nach einer Glossarnutzung kehren beide Teilnehmer wieder in den zuvor verlassenen linearen Verlauf der Abschnitte zurück. Die instruktionale Maßnahme der bestimmten Zielorientierung lässt sich in den Grafiken nicht erkennen. Ein gezieltes Suchverhalten könnte sich im Kurvenverlauf beispielsweise durch größere Sprünge über mehrere Themenschwerpunkte oder durch ein gehäuftes Verwenden des Glossars bemerkbar machen. Das grafisch dargestellte Protokoll gibt keine Anhaltspunkte, die Gründe für den unterschiedlichen Lernerfolg erkennen lassen, so dass hier auf die unterschiedlichen Lernvoraussetzungen als Ursache geschlossen werden kann.

Experimentalgruppe G2: vernetzte Version, bestimmte Zielorientierung

Bei der Analyse des Protokolls von G2a²² ist zunächst die hohe Zugriffszahl von 174 Seiten auffällig. Ein regelmäßiger Verlauf ist nicht zu erkennen. Es finden Sprünge über einen Wert von 10.000 statt, was dem Überspringen von 10 Themenschwerpunkten entspricht (Abbildung 24).

²¹ Personenspezifische Daten von G1b: Weiblich, 19 Jahre, Hauptfach Biologie, Leistungskurs Chemie, Abiturnote 1,9, Internetnutzung mehrere Male in der Woche, 50 Seitenaufrufe.

²² Personenspezifische Daten von G2a: Weiblich, 20 Jahre, Hauptfach Pharmazie, Leistungskurs Chemie, Abiturnote 2,3, Internetnutzung mehrere Male in der Woche, 174 Seitenaufrufe.

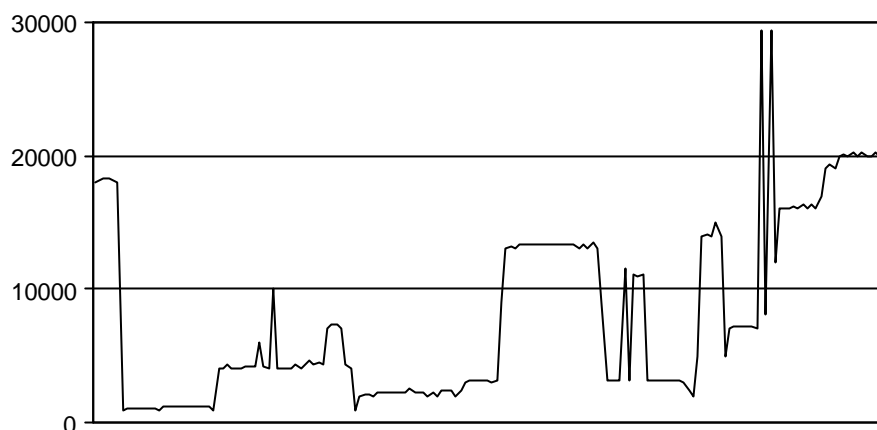


Abbildung 24: Seitenaufrufe der Versuchsperson G2a: Nutzer der vernetzten Version mit vorgeschriebener Zielorientierung und einem Lernerfolgsergebnis von 4 Punkten.

Die Kurve, die den Lernverlauf von G2b²³ darstellt, ist ebenfalls unregelmäßig, wenngleich G2b mit 48 Seiten wesentlich weniger Seiten in der selben Lernzeit aufgerufen hat (Abbildung 25).

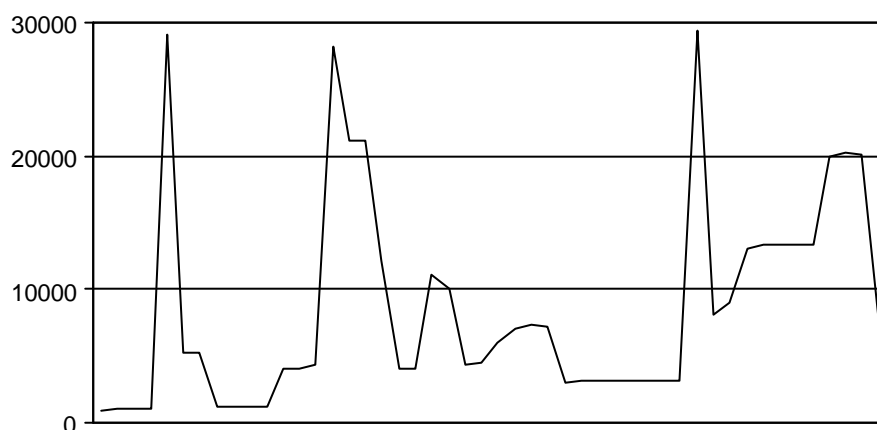


Abbildung 25: Seitenaufrufe der Versuchsperson G2b: Nutzer der vernetzten Version mit vorgeschriebener Zielorientierung und einem Lernerfolgsergebnis von 10 Punkten.

Beide Teilnehmerinnen nutzen nachweisbar die Möglichkeit der vernetzten Struktur und ließen sich nicht von der vorgegebenen Reihenfolge der Themenschwerpunkte leiten. Es ist nicht zu sagen, ob das sprunghafte Verhalten auf die Vorgabe eines bestimmten Ziels zurückzuführen ist. Die Tatsache, dass G2b alle Fragen des Wissenstests richtig beantwortet hatte, ist jedoch ein recht sicheres Indiz dafür, dass sie bei einer unterdurchschnittlichen Zahl von 48 Seitenaufrufen gezielt nach Informationen gesucht hat. Der vergleichsweise geringe Lernerfolg von G2a kann mit der Seitenzugriffszahl erklärt werden, die auch für die kürzeren Seiten der vernetzten Textversion

²³ Personenspezifische Daten von G2b: Weiblich, 21 Jahre, Hauptfach Biologie, kein Chemieunterricht in der Oberstufe, Abiturnote 1,8, seltene Internetnutzung, 48 Seitenaufrufe.

überdurchschnittlich hoch ist. Bei einer mittleren Verweildauer von 31 Sekunden pro Seite erscheint es kaum möglich, die Inhalte lesen und verarbeiten zu können.

Experimentalgruppe G3: lineare Version, unbestimmte Zielorientierung

Der Kurvenverlauf von G3a²⁴ beginnt auf einem sehr hohen Niveau im Bereich der Glossarseiten und fällt nur selten in den Bereich 0 - 10.000, in dem die meisten grundlegenden Begriffe eingeführt werden (Abbildung 26).

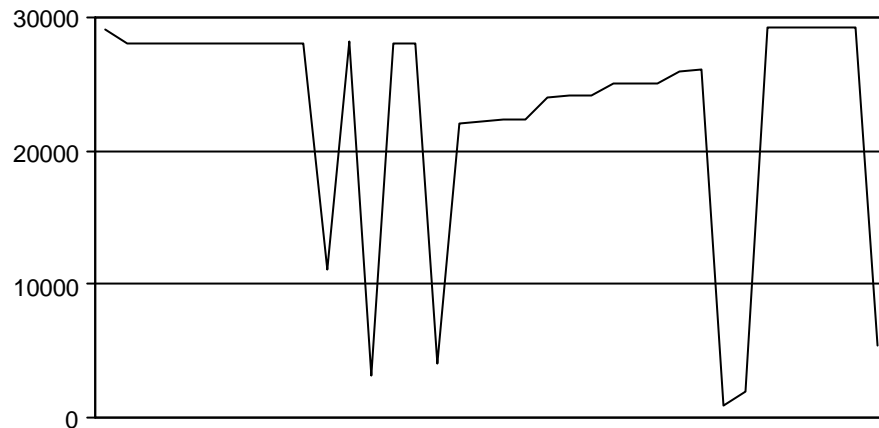


Abbildung 26: Seitenaufrufe der Versuchsperson G3a: Nutzer der linearen Version ohne vorgeschriebene Zielorientierung und einem Lernerfolgsergebnis von 0 Punkten.

Der grafisch aufgetragene Lernverlauf von G3b²⁵ ist ohne Ausnahme monoton steigend und bleibt zunächst sehr lang im ersten Lernsegment von 0 - 10.000 (Abbildung 27).

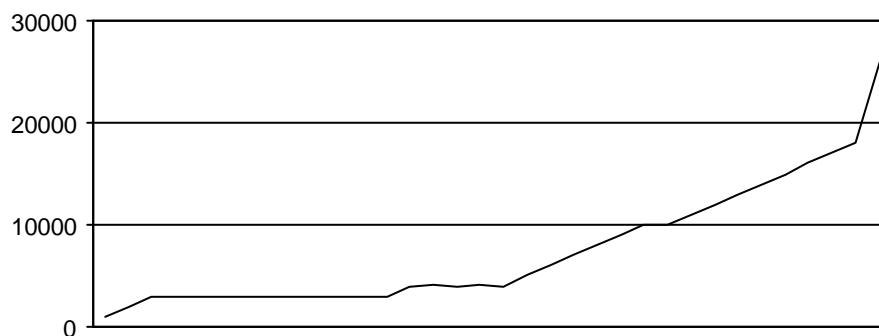


Abbildung 27: Seitenaufrufe der Versuchsperson G3b: Nutzer der linearen Version ohne vorgeschriebene Zielorientierung und einem Lernerfolgsergebnis von 10 Punkten.

²⁴ Personenspezifische Daten von G3a: Weiblich, 21 Jahre, Hauptfach Chemie, Leistungskurs Chemie, Abiturnote 2,6, Internetnutzung nie, 36 Seitenaufrufe.

²⁵ Personenspezifische Daten von G3b: Weiblich, 20 Jahre, Hauptfach Biologie, Chemie-Grundkurs bis einschließlich 11. Klasse, Abiturnote 1,1, nutzt das Internet mehrmals in der Woche, 34 Seitenaufrufe.

So unterschiedlich die Lernergebnisse sind, so verschieden ist auch der durch die Kurvenverläufe dargestellte Lernweg. G3a startet zunächst im Glossarbereich und geht von dort aus in die betreffenden Textseiten. Eine längere Zeit verweilt sie nur im oberen Segment der Seiten (20.000 – 27.000). Dieser Bereich entspricht den im Inhaltsverzeichnis sehr weit unten stehenden Abschnitten, welche auf Wissen der ersten Themenabschnitte aufbaut. G3b lässt sich von Beginn an von der vorgegebenen Struktur leiten und verlässt diese auch bis zum Ende der Lernzeit nicht. Für eine Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf den Lernweg muss berücksichtigt werden, dass G3a mit elf von möglichen fünfzehn Punkten bereits ein schwer zu verbesserndes Vortestergebnis erreichte. Das Ergebnis der Transferaufgaben ist mit sieben von dreizehn Punkten allerdings wie der Lernerfolg unterdurchschnittlich. In Anbetracht der guten Lernvoraussetzungen von G3a erscheint das Lernverhalten – Starten aus dem Glossarbereich und durchgehend weitere Nutzung desselben – als ein Versuch, die eigenen Wissenslücken zu dem Lernthema zu finden und aufzufüllen. Für eine derartige Lernstrategie eignet sich die vernetzte Version eher als die lineare Version, da ein Überspringen mehrerer Themenabschnitte die Kohärenz der einzelnen Seiten dort weniger gefährdet als im linearen Kapitel. Der Lernverlauf von G3b geht konform mit der Hypothese dass sich ein Nutzer ohne bestimmte Zielorientierung von der vom Autor vorgegebenen Struktur leiten lässt.

Experimentalgruppe G4: vernetzte Version, unbestimmte Zielorientierung

Der Kurvenverlauf von G4a²⁶ ist mit denen aus der Gruppe G2, die ebenfalls mit der vernetzten Version gelemt haben, nicht vergleichbar (Abbildung 28). Er ähnelt einem linearen Verlauf. Dennoch zeigen die Sprünge über mehrere Themenbereiche, dass die Möglichkeiten der vernetzten Version, für benötigte Informationen in andere Themenbereiche zu wechseln, genutzt werden.

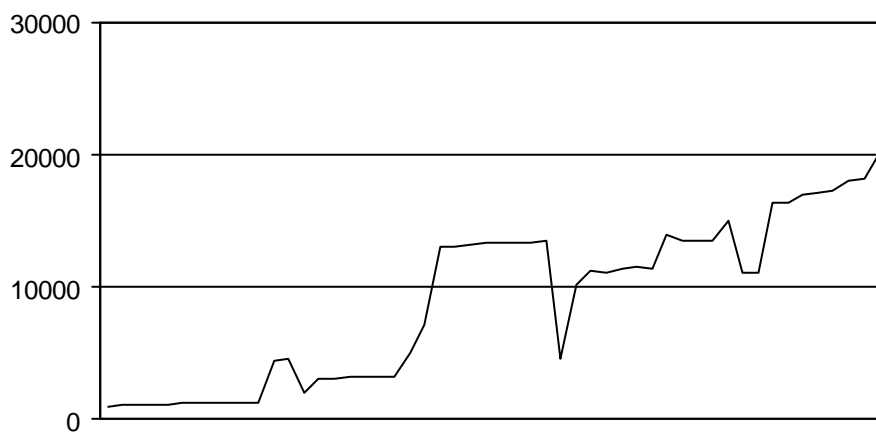


Abbildung 28: Seitenaufrufe der Versuchsperson G4a: Nutzer der vernetzten Version ohne vorgeschriebene Zielorientierung und einem Lernerfolgsergebnis von 4 Punkten.

²⁶ Personenspezifische Daten von G4a. Weiblich, 19 Jahre, Hauptfach Pharmazie, Chemie-Grundkurs bis zum 11. Jahrgang, Abiturnote 2,5, seltene Internetnutzung, 52 Seitenaufrufe.

G4b²⁷ rief in den neunzig Minuten Lernzeit 119 Seiten auf und damit deutlich mehr Seiten als G4a (52 Seiten). Der Verlauf zeigt einen häufigen Wechsel zwischen dem Bereich der Themenschwerpunkte und dem Glossar-Bereich (Abbildung 29).

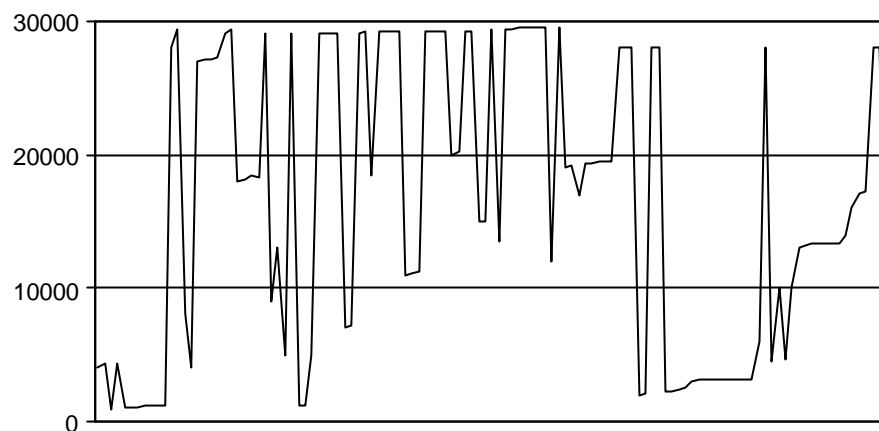


Abbildung 29: Seitenaufrufe der Versuchsperson G4b: Nutzer der vernetzten Version ohne vorgeschriebene Zielorientierung und einem Lernerfolgsergebnis von 7 Punkten.

Beide Kurvenverläufe zeigen erneut, dass die Lernenden die Möglichkeiten der vernetzten Struktur ausschöpfen. Bei der sehr hohen Seitenfrequenz von G4b überrascht das sehr gute Ergebnis von fünfzehn Punkten im Nachtest und elf Punkten in den Transferaufgaben. Offensichtlich ist G4b in der Lage, die Relevanz des Inhaltes einer Seite schnell einzuschätzen und somit effektiv die im Vortest erkannten Wissensdefizite aufzuarbeiten. G4a scheint sich die gesamte Lernzeit hindurch an der durch das Inhaltsverzeichnis vorgegebenen Reihenfolge der Themenschwerpunkte zu orientieren. Dieses Verhalten könnte darauf zurückzuführen sein, dass G4a ohne bestimmte Zielorientierung lernt. Bei G4b ist ein Hinweis auf ein durch die Zielorientierung bestimmtes Verhalten nicht zu erkennen.

Zusammenfassende Diskussion

Die Protokolle der zufällig ausgewählten Teilnehmer zeigen deutliche Unterschiede in der Verwendung beider Strukturen, die sich bereits durch die Gesamtzahlen der aufgerufenen Seiten angedeutet haben. Die Probanden, die mit der vernetzten Version gelernt haben, nutzen die Möglichkeit, über Verknüpfungen schnell in andere relevante Themenbereiche zu wechseln. Lediglich bei dem Teilnehmer G4a ist eine Orientierung an der durch das Inhaltsverzeichnis vorgegebenen Reihenfolge der Themenschwerpunkte zu erkennen. Die Lernverläufe aus der Gruppe der linearen Textversion deuten auf das überwiegende Nutzen der vorgegebenen Struktur hin. Hier zeigt nur die Versuchsperson G3a ein anderes Verhalten. Sie versucht sich über den Glossar-Bereich Inhalte zu erschließen. Ein Effekt der Zielorientierung auf das Lernverhalten lässt sich aus den Lernverläufen nur in einzelnen Fällen (G3b, G4a) vermuten. Die Analyse zeigt insgesamt, dass beide Textstrukturen unterschiedlich und größtenteils in der ihnen zugeordneten Funktion genutzt werden: Die Abschnitte des linearen Kapitels werden überwiegend in der

²⁷ Personenspezifische Daten von G4b: Weiblich, 20 Jahre, Hauptfach Pharmazie, Chemie-Leistungskurs, Abiturnote 2,5, tägliche Nutzung des Internets, 119 Seitenaufrufe.

vorgegebenen Reihenfolge gelesen, während Leser der vernetzten Version die Möglichkeiten des direkten und flexiblen Zugriffs auf die Informationseinheiten nutzen.

4.3.6.3 Ergebnisse der Bewertung

Den einzelnen Stufen des Bewertungsschemas sind für die Auswertung die Zahlenwerte 1 bis 4 zugeordnet worden: »1« trifft nicht zu – »2« trifft etwas zu – »3« trifft ziemlich zu – »4« trifft völlig zu. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt. Der Erwartungswert jeder Aussage ist 2,5. Bei einem Mittelwert größer als 2,5 ist die Aussage daher als mehrheitlich angenommen anzusehen, während ein Mittelwert kleiner als 2,5 eine mehrheitliche Ablehnung der Aussage bedeutet. Als wesentliche Ergebnisse der Beurteilungen sind folgende hervorzuheben:

Zu den generellen Lernaspekten (Item 1-5)

Die Möglichkeit, selbst eine Auswahl der Inhalte vornehmen zu können (Item 1), wurde mehrheitlich als angenehm empfunden. Die Aspekte 2: *Das Lernen mit dem Säure-Base-Kapitel macht mir Spaß*, 3: *Ich schätze meinen Lernerfolg mit dem Säure-Base-Kapitel als hoch ein* und 4: *Auf Vorkenntnisse der Benutzer ist für mich ausreichend eingegangen* wurden mehrheitlich als ziemlich oder nur etwas zutreffend bestätigt. Als ein Aspekt der Lernmotivation gilt das Item 5 *Es war für mich sehr wichtig, die Inhalte des Säure-Base-Kapitels auch wirklich zu verstehen*. Dieses Item wurde überwiegend als voll oder ziemlich zutreffend angenommen.

Tabelle 16: Ergebnisse der Bewertung des Säure-Base-Kapitels (Laborstudie)

Item	N	M	SD	Verteilung der Nennungen Angaben in Prozent			
				1	2	3	4
1. Das Lernen mit dem Säure-Base-Kapitel macht mir Spaß.	63	2,78	,66	2	30	57	11
2. Ich empfand es bei ChemNet als angenehm, selbst bestimmen zu können, was ich lesen/lernen will.	65	3,37	,72	-	14	35	51
3. Ich schätze meinen Lernerfolg mit dem Säure-Base-Kapitel als hoch ein.	65	2,37	,70	11	43	45	2
4. Auf Vorkenntnisse der Benutzer ist für mich ausreichend eingegangen worden.	65	2,82	,81	5	29	46	20
5. Es war für mich sehr wichtig, die Inhalte des Säure-Base-Kapitels auch wirklich zu verstehen.	65	3,25	,64	-	11	54	35
6. Das Säure-Base-Kapitel war für mich inhaltlich zu schwierig.	65	1,37	,63	69	26	3	2
7. Das Säure-Base-Kapitel enthält genügend Beispiele.	65	3,06	,79	5	14	52	29
8. Im Säure-Base-Kapitel werden alle unbekanntten Begriffe erklärt.	65	3,12	,99	11	11	34	45
9. Die Inhalte des Säure-Base-Kapitels werden zu knapp präsentiert.	65	1,48	,73	63	29	5	3
10. Die Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel haben mir weitergeholfen.	64	3,06	,79	2	23	42	33
11. Es sind zu wenig Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel.	65	1,48	,73	65	25	9	2
12. Die Texte im Säure-Base-Kapitel sind schwer zu verstehen.	65	1,43	,59	62	34	5	-
13. Die Bildschirmaufteilung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich.	65	3,38	,68	-	11	40	49
14. Die Strukturierung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich.	63	3,37	,73	2	10	40	49
15. Die Farbgestaltung im Säure-Base-Kapitel ist angenehm.	65	3,46	,66	2	5	40	54
16. Die Bedienung im Säure-Base-Kapitel ist einfach.	65	3,60	,61	2	2	32	65

Legende: N: Absolute Zahl der Nennungen, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung. 1: trifft nicht zu, 2: trifft etwas zu, 3: trifft ziemlich zu, 4: trifft völlig zu.

Zu den inhaltlichen Aspekten (Item 6-12)

Die Items 6: *Das Säure-Base-Kapitel war für mich inhaltlich zu schwierig* 9: *Die Inhalte des Säure-Base-Kapitels werden zu knapp präsentiert*, 11: *Es sind zu wenig Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel* und 12: *Die Texte im Säure-Base-Kapitel sind schwer zu verstehen* wurden mit

69%, 63%, 64% und 61% (in der Reihenfolge der oben genannten Items) mehrheitlich als nicht zutreffend bewertet. Hier ist jedoch zu beachten, dass sie in Bezug auf eine Bewertung des Lernprogramms negativ formuliert wurden. Eine Ablehnung dieser Aussagen ($M < 2,5$) ist daher in Bezug auf eine Bewertung des Lernprogramms als positiv anzusehen. Die positiv formulierten Items 7: *Das Säure-Base-Kapitel enthält genügend Beispiele*, 8: *Im Säure-Base-Kapitel werden alle unbekannt Begriffe erklärt* und 10: *Die Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel haben mir weitergeholfen* fanden überwiegend Zustimmung.

Zu den Design-Aspekten (Item 13-16)

Alle vier Aspekte *Die Bildschirmaufteilung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich*, *Die Strukturierung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich*, *Die Farbgestaltung im Säure-Base-Kapitel ist angenehm* und *Die Bedienung im Säure-Base-Kapitel ist einfach* wurden mit 89%, 89%, 94% und 97% (in der Reihenfolge der oben genannten Items) mit großer Mehrheit als ziemlich oder voll zutreffend angenommen.

Zusammenfassende Darstellung aller Items

Das Diagramm (Abbildung 30) zeigt die Abweichung aller Mittelwerte der Bewertungsaspekte vom Erwartungswert 2,5. Hierbei wurden die Werte der negativ formulierten Aspekte korrigiert: Sie beziehen sich jetzt auf die entsprechend positive Aussage bezüglich des zu bewertenden Aspektes. So lautet zum Beispiel das korrigierte Item 6: „Das Säure-Base-Kapitel war für mich inhaltlich *nicht* zu schwierig“.

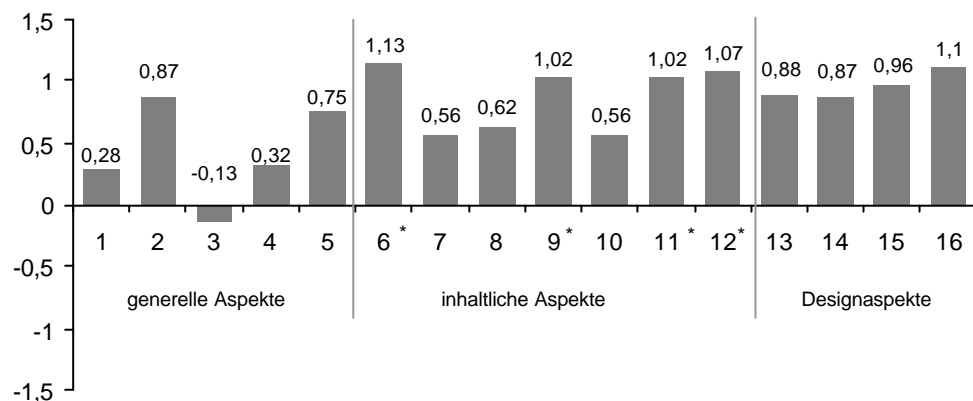


Abbildung 30: Abweichung der Mittelwerte für die einzelnen Bewertungsaspekte vom Erwartungswert 2,5. Werte der negativ formulierten Aspekte (mit * markiert) sind korrigiert und beziehen sich auf ihre entsprechende positive Aussage.

Insgesamt wird deutlich, dass nur der dritte Aspekt (*Ich schätze meinen Lernerfolg mit dem Säure-Base-Kapitel als hoch ein*) im Durchschnitt unter dem Erwartungswert liegt und somit mehrheitlich als eher nicht oder nur etwas zutreffend beurteilt wurde.

4.3.6.4 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Für eine Diskussion werden zunächst die wichtigsten Ergebnisse zusammengetragen: Die hypothetisierte Interaktion zwischen Textstruktur und Zielorientierung konnte nicht nachgewiesen werden. Dagegen zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt zugunsten des vernetzten Hypertextes, der auch bei Berücksichtigung der Einflussgrößen stabil bleibt.

Dieses Ergebnis wird durch die Tendenz in den Transferaufgaben verstärkt. Auch die Vorgabe einer bestimmten Zielorientierung verbesserte marginal das Lernen. Jedoch ist dieser Effekt gegenüber den Einflussgrößen nicht stabil. Die Einflussgröße Internetkenntnisse zeigt einen signifikanten Zusammenhang mit dem Lernerfolg. Je besser die Kenntnisse über das Internet sind, umso besser gelingt ihnen eine Wissensaneignung mittels der elektronischen Texte. Eine stichprobenartig vorgenommene Betrachtung der Nutzerprotokolle gibt einen Hinweis darauf, dass die unterschiedlichen Textversionen auch unterschiedlich genutzt wurden, so dass der gemessene Haupteffekt tatsächlich auf die Präsentationsform der Inhalte und das Nutzen dieser Formen zurückzuführen ist. Ein Effekt der Zielorientierung auf das Nutzerverhalten ist den Protokollen nicht eindeutig zu entnehmen. Die nach der Lernphase eingeholten subjektiven Einschätzungen zeigen eine hohe Akzeptanz der Maßnahme. Der Einsatz des Lernprogramms zu Selbstlernzwecken wurde ebenso positiv aufgenommen wie die inhaltliche Gestaltung der Lerneinheiten und das generelle Design. Einzig die Einschätzung des eigenen Lernerfolges fiel von einem größeren Teil der Probanden eher skeptisch aus.

Der signifikante Haupteffekt zugunsten der vernetzten Struktur signalisiert, dass die vernetzte Struktur für das Lernen der Zielgruppe geeigneter erscheint als die lineare Struktur. Der vernetzte Text unterscheidet sich von dem linearen vornehmlich durch die Möglichkeit, in jedem Knoten relevante Zusatzinformationen aus anderen Knoten abrufen zu können. Dieses Merkmal wird im allgemeinen als eines der wesentlichen Vorteile vernetzter hypermedialer Lernumgebungen gegenüber anderen hervorgehoben, da so Voraussetzungen für ein schnelles und effizientes Herstellen von Zusammenhängen einzelner Lerninhalte geschaffen werden. Das Säure-Base-Kapitel von ChemNet bietet eine Informationsfülle, die in neunzig Minuten nur schwer vollständig erschlossen werden kann. Den Lernenden stand jedoch nur dieser Zeitrahmen zur Verfügung, so dass eine Auswahl der Inhalte notwendig war. Das Erschließen der relevanten Information schien den Benutzern der stärker vernetzten Version besser zu gelingen als denen der linearen Textversion. Die linearen Texte bieten zwar dieselben Informationen in einem kohärenten Text. Benötigt der Lernende jedoch nur einzelne Informationen, müssen sie aus dem kohärenten Textgefüge isoliert und auf ihre Relevanz hin überprüft werden. Dieser Vorgang fordert kognitive Ressourcen, die dann nicht dem Lernprozess zur Verfügung stehen. Der Vorteil der inhaltlichen Abgeschlossenheit vernetzter Seiten und der flexible Zugriff auf erforderliche Seiten überwiegt hier scheinbar dem Vorteil eines kohärenten und schlüssig aufgebauten linearen Textes. Die Annahme, dass auf diese Weise ein effektives Lernen ermöglicht werden kann, findet durch diese Studie Bestätigung.

Ein interessantes Ergebnis ist die Tendenz des besseren Lernens bei vorgegebenem Ziel gegenüber den selbstbestimmten Zielen. Durch die bestimmte Zielorientierung werden die Lernenden stärker in der Informationssuche und -auswahl gesteuert. Eine Entscheidung über die zu lesenden Seiten ist nicht mehr ausschließlich von eigenen Interessen geleitet sondern geschieht auch im Hinblick auf das zu erreichende Ziel. Dies scheint sich jedoch nicht als Einschränkung bemerkbar zu machen, da dennoch die Möglichkeit der Selbstbestimmung überwiegend als angenehm empfunden wurde. Zieht man in Betracht, dass das Lernthema mit mindestens zwanzig Themenschwerpunkten sehr komplex ist, so ist diese Tendenz als ein Hinweis darauf zu deuten, dass sich gerade in so umfangreichen Lernumgebungen wie das ChemNet-System eine stärkere Steuerung zum Beispiel durch eine Zielvorgabe vorteilhaft auf das Lernen auswirkt.

In der Studie von SCHNOTZ & ZINK konnte eine spezifische Zielvorgabe den Wissenserwerb mit vernetzten Hypertexten ebenfalls verbessern. In diesem Punkt stimmen die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit denen von SCHNOTZ & ZINK überein. Den größten Lernzuwachs erzielten die Leser der vernetzten Version, wenn sie zusätzlich mit einer bestimmten Zielvorgabe gelernt haben. Die hypothetisierte Interaktion blieb jedoch aus. Bei der Schnotz-Studie wurde mit den linearen Texten ohne spezifische Zielvorgabe besser gelernt als bei vernetzten Hypertexten. In der vorliegenden Studie wurde jedoch auch bei linearen Texten mit der bestimmten Zielvorgabe besser gelernt. SCHNOTZ & ZINK begründen die Interaktion mit den speziellen Anforderungen, die dem Lernenden bei Benutzung einer vernetzten Lernumgebung erwartet. Sie nennen mit den Vorgängen Informationszielspezifikation, Informationssuche, Informationsbewertung und Informationsbearbeitung vier Teilprozesse, die dabei zu bewältigen sind. Ursache dafür ist die spezielle Struktur der vernetzten Texte (Schnotz & Zink, 1997). Während der Lernende sich bei einem linearen Text von der durch den Autor getroffenen Auswahl und Sequenzierung von Informationen leiten lassen kann, verbleiben instruktionale Entscheidungen wie Zielorientierung oder -relevanz, Suche der Informationen und Bewertung der gefundenen Informationen bei vernetzten Texten dem Leser. Diese Prozesse beanspruchen jeweils einen Teil der Ressourcen des Lernenden, so dass für den eigentlichen Wissenserwerb weniger Ressourcen zur Verfügung stehen. Der vom Autor vorstrukturierte lineare Text nimmt dem Leser dagegen einen Teil der Aufgaben wie die Suche und Bewertung der Informationen ab und es stehen mehr kognitive Kapazitäten für die Verarbeitung der Information zur Verfügung. Beim Lernen ohne konkrete Zielvorgabe ist nach SCHNOTZ & ZINK ein größerer Lernerfolg mit dem linearen Text zu erwarten. Warum konnte dieser Befund durch die vorliegende Studie nicht bestätigt werden? Die Studien unterscheiden sich maßgeblich im Vorwissen. Während die Teilnehmer der Studie von SCHNOTZ & ZINK ein vergleichbar geringes Vorwissen zum Lerngegenstand hatten, ist das Vorwissen der Probanden dieser Studie zum einen stärker heterogen und zum anderen ist keinem der Teilnehmer der Lerngegenstand fremd. Auf der Basis eines ausreichenden Vorwissens sollte den Lernenden die Zielspezifikation, sowie das Finden und Bewerten von Informationen leichter fallen, so dass auch für das Lernen mit einem vernetzten Text vergleichbare Ressourcen für den Einbau der Informationen in den vorhandenen Wissensbestand zur Verfügung stehen. Ein vergleichbares Ergebnis beschreibt auch GERDES in ihrer Analyse zweier Studien zum Lernen mit inkohärentem Hypertext und mit einem kohärenten linearen Text (1.2.4). Danach besteht eine Interaktion von Vorwissen und Textart zugunsten des Hypertextes bei zunehmendem Vorwissen. Je größer das Vorwissen der Lernenden ist, umso besser sind die Lernergebnisse bei Hypertext im Vergleich zum linearen Text (Gerdes, 1997). Bei geringem Vorwissen war ein größerer Lernerfolg zu verzeichnen, wenn ein linearer Text benutzt wurde. GERDES empfiehlt dennoch für eine bezüglich des Vorwissens heterogene Gruppe die Verwendung eines linearen Textes, um den Lernenden mit wenig Vorwissen überhaupt ein Wissenszuwachs zu ermöglichen. Eine derartige Empfehlung kann nicht global für jedes Lernprogramm ausgesprochen werden. An dieser Stelle ist noch einmal besonders hervorzuheben, dass nicht nur Lernende mit hohem Vorwissen von der vernetzten ChemNet-Version profitieren sondern auch mit schlechteren Lernvoraussetzungen vergleichbare Lernfortschritte zu verzeichnen sind (4.3.5.4). Es ist zwar gewagt, von einer verbesserten Computer Literacy zu sprechen, da entsprechende Vergleichsdaten aus den letzten Jahren nicht vorliegen. Es sollte aber auch berücksichtigt werden, dass es den Teilnehmern dieser Studie wenig Schwierigkeiten bereitete, den Computer, das Internet und auch das Lernprogramm zu bedienen. Der signifikante Zusammenhang zwischen der Lernleistung und den Internetkenntnissen zeigt, dass ein

größeres Maß an Erfahrung mit dem Internet auch den Wissenszuwachs begünstigt. Dieser Effekt ist nicht auf das fachliche Vorwissen zurückzuführen, da die Größen Internetkenntnisse und Vorwissen nicht miteinander korrelieren. Ein zunehmender Umgang mit den Hypertextseiten scheint sich auch positiv auf die Lernleistungen auszuwirken.

Die signifikanten Zusammenhänge der Vortestleistungen mit den Einflussgrößen zum Selbstkonzept und zur Schulausbildung bestätigen, dass diese Variablen eine gute Einschätzung auf das fachliche Wissen zulassen. Je länger ein Lernender am Chemieunterricht teilgenommen hat, umso besser sind seine Testleistungen. Das gleiche gilt bei Leistungskurs- gegenüber Grundkursteilnehmern und bei Versuchsteilnehmern mit einem positiver ausgeprägten Begabungsselbstkonzept gegenüber denen, die sich durch ein weniger positiv ausgeprägtes Selbstkonzept auszeichnen. Dieser Effekt ist im vergleichbaren Maß auch bei den Nachtestleistungen zu verzeichnen. Nahezu alle Teilnehmer konnten die Vortestleistungen im Nachtest überbieten. Vor diesem Hintergrund ist noch einmal der Befund aus Abschnitt 4.3.5.4 hervorzuheben: Auch bei Teilnehmern mit schlechteren Lernvoraussetzungen sind gute Lernfortschritte zu verzeichnen. So erklärt sich auch, dass die Größen Selbstkonzept, Schuljahre Chemie und Grundkurs/Leistungskurs in keinem signifikanten Zusammenhang zum Lernerfolg stehen. Der Lernerfolg als Differenzmaß betrachtet nur die Verbesserungen. Dieser Befund ist besonders interessant. Offensichtlich ermöglicht die Lernumgebung unabhängig von den Vorkenntnissen einen Lernzuwachs im vergleichbaren Umfang. Es ist natürlich wieder zu beachten, dass es leichter ist, ein schlechtes Vortestergebnis zu verbessern als ein besseres (4.3.5.7). Doch das soll den Befund nicht stören, dass Lernende mit einem geringen Vorwissen überhaupt zu einem nicht unerheblichen Lernerfolg kommen. Die negativen Korrelation der Abiturnote mit den Testleistungen erklären sich aus der Determination der Abiturnote. Ihr Wert ist umso kleiner, je besser die Schulleistungen des betreffenden beurteilt werden. Der signifikante negative Zusammenhang zwischen der Abiturnote und dem Nachtest bzw. den Transferfragen besagt, dass die Teilnehmer diese Tests umso besser bearbeiten, je besser sie im Abitur bewertet wurden. Die Abiturnote hat also einen signifikanten Einfluss auf die Bearbeitung der Transferaufgaben, sowie auf das nochmalige Bearbeiten des Wissenstests. Die Zusammensetzung der Abiturnote wurde in der Untersuchung nicht detaillierter erfasst. Es liegen beispielsweise keine Angaben vor, wie groß der Anteil aus Leistungen im naturwissenschaftlichen Bereich ist. Dadurch ist es schwer, zu urteilen, welche besonderen Leistungen die oben aufgeführten Zusammenhänge begründen. Die Abiturnote ist als Einflussgröße für das Lernen von Studienanfängern mit elektronischen Dokumenten dennoch beachtenswert.

Für eine Diskussion der Bewertung ist festzuhalten, dass die Studierenden die inhaltliche Gestaltung genauso wie das Design – unabhängig von der gewählten Textstruktur – angenommen haben. Die Bereitschaft zum Lernen mit der Lernumgebung war hoch und insbesondere die Möglichkeit des selbstgesteuerten Arbeitens wurde positiv beurteilt. Ein Grund dafür mag der Reiz des Neuen und noch Ungewohnten sein, da für den größten Teil der Probanden das Arbeiten und Lernen mit dem Internet eine noch nicht alltägliche Erfahrung ist. Allerdings zeigen auch Lernende, die bereits Erfahrungen mit dem Computer als Teil einer Lernumgebung gemacht haben, eine positive Einstellung zu einer derartige Maßnahme. Nach WEIDEMANN wird sowohl von schwächeren als auch von stärker befähigten Lernenden die Möglichkeit des Lernens mit dem Computer sehr geschätzt. Auf der einen Seite zeichnet er sich durch seine Geduld und Anonymität aus und auf der anderen Seite kann je nach bedarf auf unterschiedlichen Niveaustufen gelernt werden (Weidemann, 2001). Die Bewertungen der vorliegenden Studie scheinen diese Annahme zu bestätigen. Die Unsicherheit über den eigenen

Lernerfolg erstaunt angesichts der guten Lernergebnisse. Sie kann damit begründet werden, dass die Teilnehmer während der Lernphase vom Programm keine Möglichkeit haben, ihr eventuell neu erworbenes Wissen zu überprüfen. Gerade nach dem Lesen einer längeren Texteinheit und vor der Zuwendung zu einem neuen Thema wäre es hilfreich, wenn dies mit dem Gefühl geschehe, das vorher Gelernte verstanden zu haben. Hier wären zum Beispiel der verstärkte Einsatz von Interaktionen wie Simulationen oder Kontrollaufgaben, mit der Option einer sofortigen Rückmeldung über den Erfolg ihrer Bearbeitung, denkbar. Die Lernenden hätten somit eine direkte Kontrolle darüber, ob sie die Inhalte, insbesondere deren relevante Aspekte, verstanden haben. Sie könnten dann abhängig von der Rückmeldung mit einer anderen Einheit fortfahren oder den Lernabschnitt wiederholen. Bei der Präzisierung der Akzeptanzfrage (Abschnitt 4.1.2) wurde gesondert darauf hingewiesen, dass eine subjektive Einschätzung Unsicherheiten aufweisen kann, wenn es keine Vergleichsmöglichkeiten der zu bewertenden Maßnahme gibt. Zunächst einmal werden die – trotz der wechselnd positiv oder negativ formulierten Items – sehr einheitlichen Bewertungen als sicheres Indiz dafür gewertet, dass die Urteile bewusst gefällt wurden. Die Items zu motivationalen Aspekten sollten von den Teilnehmern aus den eigenen subjektiven Empfindungen heraus beantwortet werden. Hier waren keine Vergleiche zu anderen Maßnahmen erforderlich. Bei den Fragen zur inhaltlichen Gestaltung und zum generellen Design ist zwar nicht auszuschließen, dass die Teilnehmer zur Beantwortung Vergleichsmöglichkeiten zu anderen Maßnahmen gesucht haben. Die recht einheitlichen Antworttendenzen lassen dennoch nicht an der Aussagekraft der Bewertung zweifeln.

4.4 Die Feldstudie

Eine Feldstudie untersucht die Wirkung einer Maßnahme im natürlichen Umfeld. Ihre Ausgangssituation hat im Vergleich zu einer Laborstudie einen stärkeren Bezug zur Realität und zeichnet sich daher zumeist durch eine höhere ökologische Validität aus. Das Ausweiten des Experiments auf den alltäglichen Lebensraum bedingt jedoch eine Vielzahl von Störvariablen, die vom Versuchsleiter nicht zu kontrollieren sind. Der Schwerpunkt der Feldstudie kann daher nicht die Untersuchung der Abhängigkeit unterschiedlicher Textstrukturen und Zielorientierungen auf den Lernerfolg sein. Bei einer der Laborstudie vergleichbaren Aufteilung der Versuchspersonen in vier Experimentalgruppen ist beispielsweise die Lernzeit schwer zu kontrollieren. Es wäre auch denkbar, dass die Teilnehmer untereinander Informationen austauschen und so eventuell unterschiedliche Arbeitsaufträge erkennen, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen könnte. In dieser Studie sollte der Schwerpunkt auf die Beurteilung der Maßnahme gelegt werden. Von besonderem Interesse war dabei auch die Akzeptanz der unterschiedlichen Strukturen.

4.4.1 Zum Forschungsdesign

Eine Bewertung zweier unterschiedlicher Maßnahmen ist nur dann möglich, wenn dem Bewertenden die Unterschiede der Maßnahmen auch bewusst sind. Zur Beantwortung der Frage nach der Akzeptanz beider Textstrukturen *linear* und *vernetzt* erscheint es daher notwendig, dass die Teilnehmer zwischen diesen Strukturen wählen können. Ihre Auswahl sollte möglichst begründet erfolgen, um zu gewährleisten, dass sie bei der Bewertung diese beiden Strukturen bewusst voneinander unterscheiden können. Dazu wurde eine Startseite programmiert, die kurz über beide Textstrukturen informiert und nach der Entscheidung für eine der beiden Strukturen eine Begründung einfordert. Ein

Wechsel der Struktur ist jederzeit über die Startseite möglich, erfordert aber wieder das Angeben einer Begründung.

4.4.2 Das Versuchsmaterial

Ein Hauptziel der Felduntersuchung ist es, die Validität der Laborergebnisse zu erhöhen. Um möglichst viele Vergleichsmöglichkeiten mit dem Laborexperiment zu haben, werden vor und nach der Studie in großen Teilen vergleichbare Fragebögen ausgeteilt.

Der Startfragebogen ist mit dem des Laborexperimentes identisch (Anhang A, Erläuterungen 4.3.2.1). Jeder Teilnehmer bekommt zusätzlich zu dem Fragebogen eine Notiz im Format einer Visitenkarte, auf der die Internet-Adresse des Lernprogramms und eine individuelle Nutzerkennung stehen. Außerdem ist für eventuelle Rückfragen die E-Mail-Adresse des Versuchsleiters angegeben.

Der abschließende Fragebogen ist um Bewertungsaspekte zu beiden Textversionen ergänzt (Anhang G). Die Teilnehmer sollen angeben, welche Version sie bevorzugt verwendet haben und ob es Gründe für eine Bevorzugung oder Ablehnung der jeweiligen Version gab.

4.4.3 Untersuchungsablauf

4.4.3.1 Zeit, Ort und Medien

Zeitraum der Untersuchung waren die zwei Wochen vom 27. November bis zum 11. Dezember 2000. Die Teilnehmer der Untersuchung konnten selbst entscheiden, wann und wo sie ChemNet nutzen. Im Startfragebogen mussten sie jedoch einen voraussichtlichen Termin für die erste Lernsitzung angeben. Die Nutzung von ChemNet in der ersten Woche war eine wesentliche Voraussetzung, für die erfolgreiche Teilnahme an der Untersuchung. Studierende, die dies nicht verbindlich zusagen wollten, konnten somit nicht an der Studie teilnehmen. Als Medium dienten – wie bereits erwähnt – die Testkapitel zum Thema *Säuren und Basen*, die bereits in der Laborstudie verwendet wurden. Die einzige Variation war die Startseite, die den Studierenden den Zugang zu beiden Textstrukturen ermöglichte: In einem einleitenden Text wurde auf beide Strukturen mit ihren besonderen Eigenschaften hingewiesen und darauf, dass es in der Untersuchung für eine Optimierung der Struktur von ChemNet den Versuchsleitern darauf ankommt, wie das Programm genutzt wird. Die Teilnehmer sollten sich daher zusätzlich über eventuelle Ziele äußern (Abbildung 31). Sie hatten die Möglichkeit, eine der folgenden Optionen zu wählen: (1) Ich habe zunächst kein Ziel, (2) Ich möchte mich darüber informieren, was diese Internet-Vorlesung bietet, (3) Ich möchte einen Überblick über das Thema Säuren und Basen gewinnen, (4) Ich möchte mich über den folgenden Begriff/Sachverhalt informieren: ... (5) Mein Ziel ist das folgende: Die letzten beiden Optionen waren durch eine Texteingabe zu ergänzen.

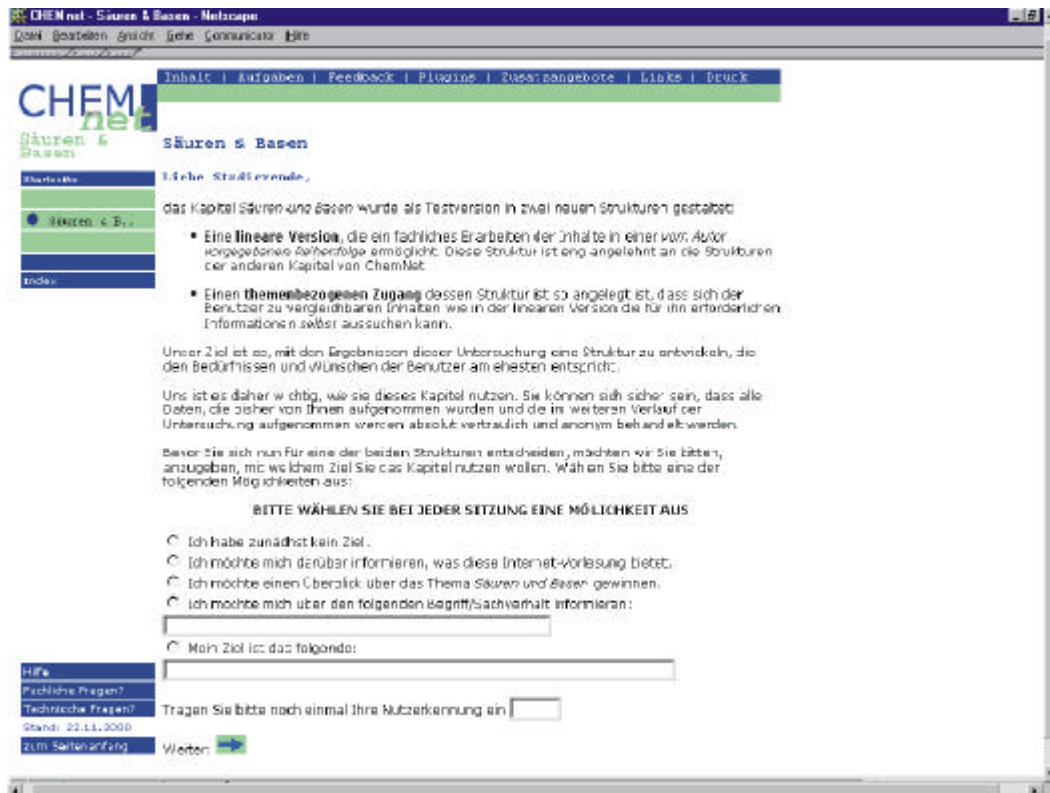


Abbildung 31: Screenshot der Startseite für die Teilnehmer der Feldstudie.

Bei einer vollständigen Bearbeitung des Fragebogens wird eine neue Seite aufgebaut, auf der sich der Lernende für eine Struktur entscheiden konnte (Abbildung 32)²⁸. Gleichzeitig wurden die Daten des Fragebogens per E-Mail an den Versuchsleiter gesendet. Im Fall unvollständiger Datenangabe wurde der Lernende auf die noch auszufüllenden Felder aufmerksam gemacht (Abbildung 33).

²⁸ Die interaktiven Elemente dieser Seite wurden mit php3 programmiert.

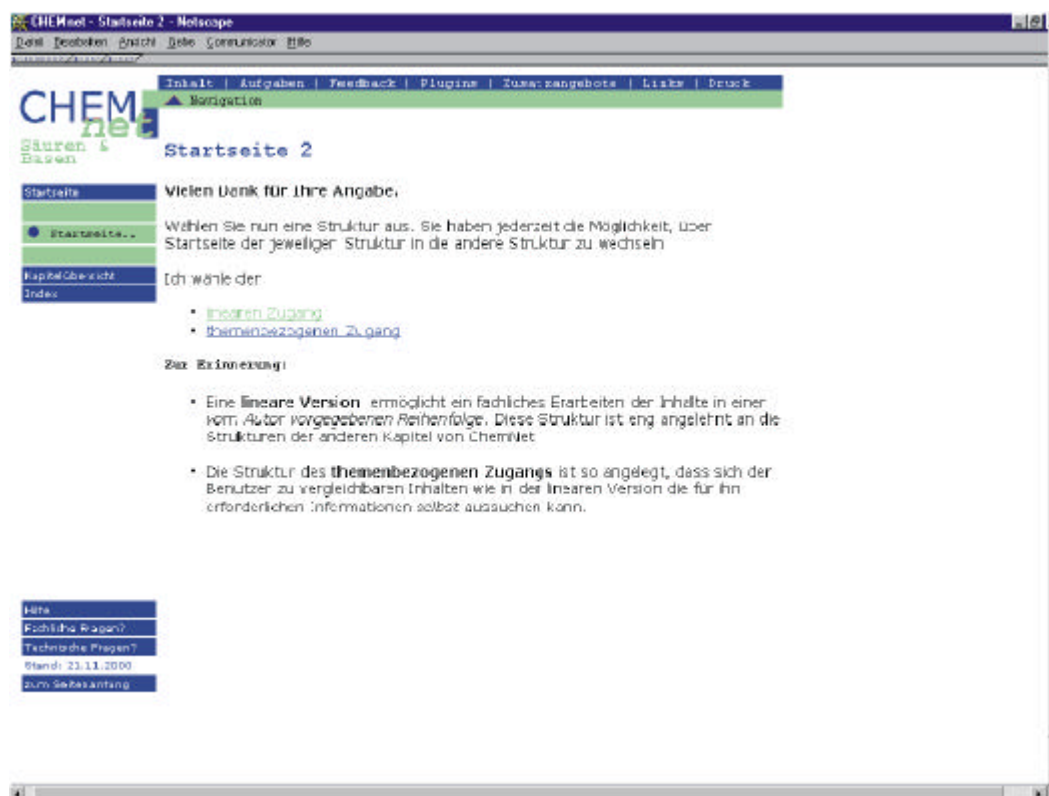


Abbildung 32: Screenshot der Auswahlsseite für die Teilnehmer der Feldstudie.

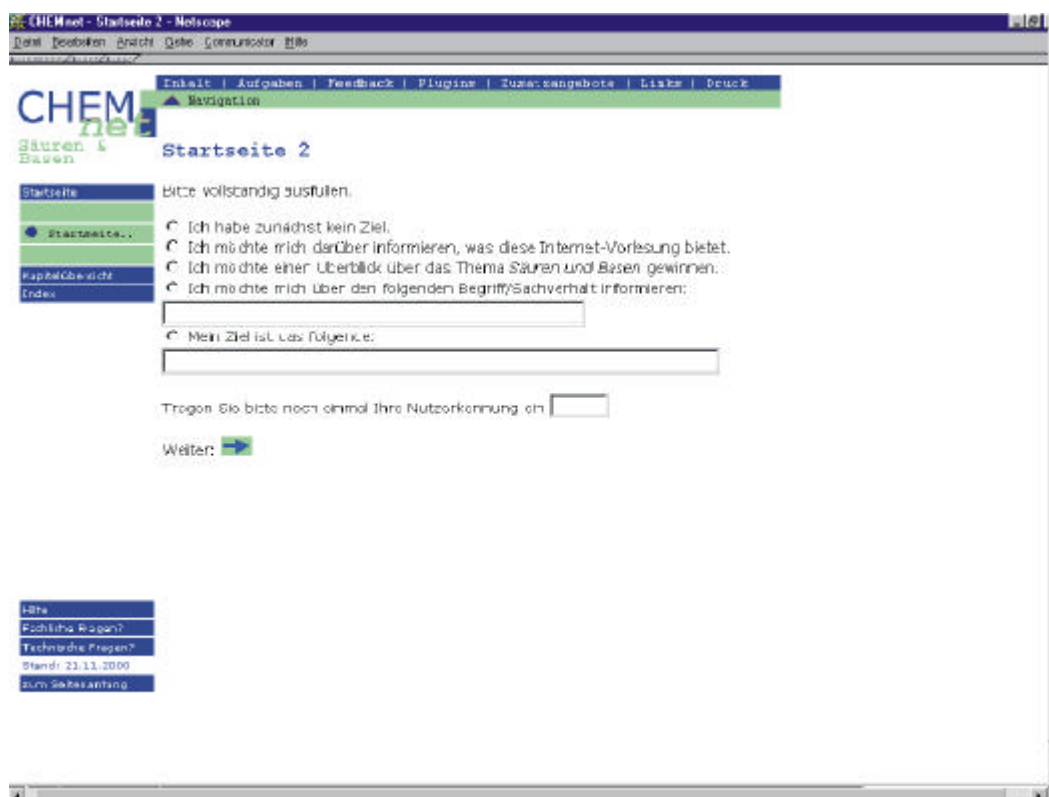


Abbildung 33: Screenshot: Diese Seite erscheint bei unvollständiger Bearbeitung der Felder aus der Startseite

4.4.3.2 Aufbau der Untersuchung

Wie in dem Laborexperiment bestand die Studie aus drei Teilen. Während des Ausfüllens der Fragebögen standen drei wissenschaftliche Mitarbeiter des IPN für eventuelle Fragen zur Verfügung und achteten auf eine eigenständige Bearbeitung.

Nach kurzen Instruktionen erhielten die Teilnehmer ausreichend Zeit für das Ausfüllen des Startfragebogens. Im Anschluss daran erhielten sie die Karte mit der individuellen Nutzerkennung. Diese Kennung bestand aus vier Buchstaben und zwei Ziffern. Die Ziffern genügten dem Versuchsleiter zur eindeutigen Zuordnung des Nutzers. Sie wurden daher auf dem entsprechenden Fragebogen notiert. Mit dieser Methode konnten anonym die Fragebögen und das Nutzerprotokoll sowie die Daten der Startseite, die dem Versuchsleiter über das E-Mail-System zugesandt wurden einander zugeordnet werden. In der Lernphase hatten die Teilnehmer zwei Wochen lang die Möglichkeit, die Säure-Base-Texte von ChemNet zu nutzen. Nach Ablauf der Lernphase wurde den Teilnehmern der abschließende Fragebogen vorgelegt. Ihnen stand wieder ausreichend Bearbeitungszeit zur Verfügung. Für die Teilnahme an der Untersuchung wurden die Probanden mit jeweils 30 DM entlohnt.

4.4.4 Versuchspersonen

Für die Feldstudie wurden Teilnehmer der Chemie-Grundvorlesung für Studierende der Agrarwissenschaften und der Ökotoxikologie angesprochen.²⁹ In dieser Vorlesung werden die Themengebiete Anorganische Chemie und Organische Chemie in jeweils einem halben Semester vorgestellt. Das Thema *Säuren und Basen* wurde in der Vorlesung zwei Wochen vor dem Untersuchungszeitraum bereits in zwei Vorlesungsstunden behandelt. Der anorganisch chemische Teil wurde zum Jahresende mit einer Klausur abgeschlossen. Interessierte sollten nach einer Vorlesungsveranstaltung für das Ausfüllen eines Fragebogens zur Verfügung stehen. Der Versuchsleiter hatte sich vorher darüber informiert, dass die Studierenden bis zur nächsten Veranstaltung ausreichend Zeit dafür hatten. Von den über 120 interessierten Studierenden konnten wegen der begrenzten finanziellen Mittel nur fünfzig ausgewählt werden. Sechs Teilnehmer haben die Auflage, das Säure-Base-Kapitel in den zwei Wochen zu nutzen, nicht erfüllt. Von den restlichen 44 Versuchspersonen haben insgesamt 28 die Lernumgebung länger als 30 Minuten benutzt. Für weitere quantitative Untersuchungen sollen daher nur diese betrachtet werden. Jeweils 14 der 28 Studierenden (Alter $M = 21,0$ ($SD = 1,35$), 19 weiblich) belegen im Hauptfach Agrarwissenschaften bzw. Ökotoxikologie im ersten Semester.

Das nachträgliche Ausschließen einiger Probanden hat natürlich Auswirkungen auf die Aussagekraft der Daten. Die Lernzeiten der ausgeschlossenen Teilnehmer erschien jedoch als zu kurz, um gerade in den Bewertungsaspekten zuverlässige Ergebnisse zu versprechen.

4.4.4.1 Merkmal Internet

47 % der Teilnehmer benutzen das Internet mehrmals in der Woche und zwei (7 %) einmalig oder noch nie. Die Häufigkeit der Internet-Nutzung ist vergleichbar mit den entsprechenden Ergebnissen der Laborstudie (Tabelle 17).

²⁹ Es wurde darauf verzichtet, Teilnehmer aus derselben Grundvorlesung zu akquirieren, in der die Probanden der Laborstudie angeworben wurden, da ein eventuelles Wissen über die Laborstudie die Untersuchung hätte beeinflussen können.

Tabelle 17: Absolute und Prozentuale Häufigkeit der Nutzung des Internets

	Feldstudie		Laborstudie
	Häufigkeit	Prozent	Prozent
noch nie	1	4	3
einmalig	1	4	3
selten	8	29	32
mehrmals im Monat	5	18	17
mehrmals in der Woche	12	43	39
täglich	1	4	6
Gesamt	28	100	100

Andere Kapitel von ChemNet hatte vor der Untersuchung nur eine der Versuchspersonen eingesehen, dagegen kannte ein Drittel der Lernenden aus der Laborstudie das Lernprogramm ChemNet. Beiden Studien gemeinsam ist, dass gut zwei Drittel der Studierenden (68 % in der Feldstudie) das Internet zu Hause nutzen und der Rest in der Universität.

Das Ergebnis der Merkfachwahl-Aufgaben fiel im Vergleich zu der Laborstudie schlechter aus. Dieser Effekt ist nach einem t-Test für unabhängige Stichproben marginal ($t_{(91)} = 1,86$, $p < 0,1$). So beantworteten die Frage nach der Bedeutung des Begriffes *Link* nur 43 % richtig. In der Laborstudie waren es 71 %. 50 % der Teilnehmer wählten die Antwort „Ein spezieller Hinweis zur Benutzung der aufgerufenen Seite“. Bei den anderen Aufgaben war die richtige Antwort zugleich die mehrheitlich genannte (in Klammern steht immer die Vergleichszahl der Laborstudie): *Chat* 86 % (94 %), *Download* 75 % (90 %), *Broken Link* 75 % (74 %), *Meta-Suchsystem* 68 % (80 %), *Host* 39 % (45 %). Es konnte im Gegensatz zur Laborstudie keine signifikante Korrelation zwischen diesen Ergebnissen und der subjektiven Angabe über die Häufigkeit der Internet-Nutzung nachgewiesen werden.

4.4.4.2 Merkmal Chemieausbildung und Schule

Die Grundvorlesung ist für alle Teilnehmer die erste Chemie-Vorlesung. Gut zwei Drittel besuchten einen Chemiekurs in der Oberstufe, 10 absolvierten den dreizehnten Jahrgang (36 %) und 4 von ihnen (14 %) im Leistungskurs. Der Durchschnitt der Abitur-Gesamtnote beträgt $M = 2,60$ ($SD = 0,45$). Die Probanden der Feldstudie unterschieden sich gegenüber denen der Laborstudie in der Schulausbildung geringfügig bezüglich der Teilnahme an Chemiekursen in der Oberstufe. Prozentual nahmen jedoch weniger an einem Leistungskurs teil (11 % im Vergleich zu 37 %). Die Abiturnote ist im Durchschnitt um 0,36 schlechter.

4.4.5 Auswertung der Nutzerprotokolls

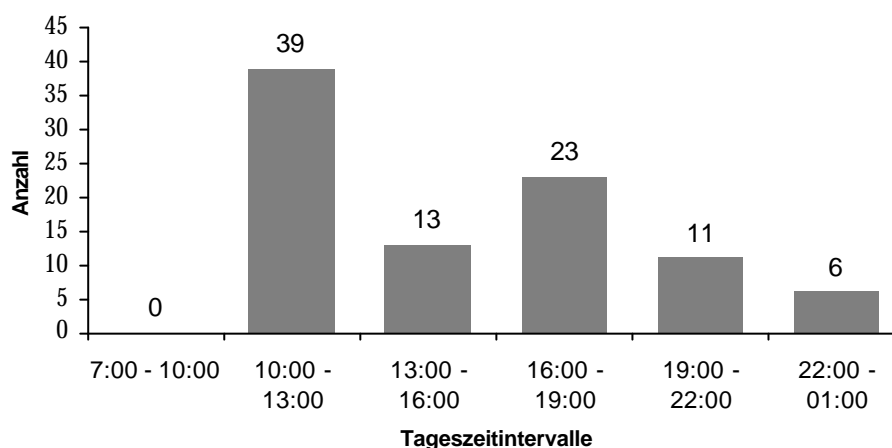
Wie in der Laborstudie verzeichnet eine auf dem Server von ChemNet befindliche Software im Nutzerprotokoll die Zugriffszeit eines Lernenden, sowie welche Textversion und welche Seiten davon wie lange aufgerufen werden. Die beim Versuchsleiter eingegangene E-Mails gaben an, wann der Lernende sich für welche Textversion

entschieden hat und wann er die Textversion gewechselt hat. Zusätzlich informierten sie über die Ziele der Lernenden. Aus diesen Daten konnten die folgenden Zugriffsdaten ermittelt werden:

4.4.5.1 Zugriffszeiten

Die Lernumgebung ist von den Versuchspersonen überwiegend in der ersten Woche der Versuchszeit genutzt worden. So konnten vom Montag bis zum folgenden Sonntag 67 Zugriffe verzeichnet werden. In der darauffolgenden Woche waren es nur noch 25. Die meisten Zugriffe gab es am Vormittag in der Zeit von 10:00 bis 13:00 Uhr mit ChemNet (39 von 92, 42 %). Eine weitere höhere Zugriffsrate gab es mit 23 (25 %) am frühen Abend zwischen 16:00 und 19:00 Uhr (Tabelle 18).

Tabelle 18: Absolute Anzahl der Zugriffe auf ChemNet eingeteilt nach Zeitintervallen



Die Zugriffsdauer schwankte auch bei den Benutzern, die insgesamt mehr als dreißig Minuten lernten. Der Mittelwert aller Zugriffe lag bei $M = 1:24$ ($SD = 1:03$). Die kürzeste Zugriffszeit waren zwei Minuten und die längste 4:18 Stunden. Der Median lag bei 1:04 Stunden.

4.4.5.2 Wahl der Textstruktur

Der Analyse des Nutzerprotokolls zufolge haben alle Teilnehmer sowohl die lineare als auch die vernetzte Textversion gelesen. Dies allerdings mit unterschiedlichen Anteilen: In 23 % aller Zugriffe wurde die vernetzte Version gewählt. Die Anzahl der Zugriffe deckt sich jedoch nicht mit der Zugriffsdauer. Die lineare Textversion wurde insgesamt 37:12 Stunden und die vernetzte Version 4:40 Stunden genutzt. Der Anteil der Lernzeit mit der vernetzten Version betrug somit nur 11 %. Die Online-Befragung ergab, dass in 80 % aller Zugriffe ein allgemeines und nicht näher spezifiziertes Informationsbedürfnis vorlag. Das Item *Ich möchte mich darüber informieren, was die Internet-Vorlesung bietet* wurde in 28 % und *Ich möchte einen Überblick über das Thema Säuren und Basen gewinnen* wurde in 52 % der Entscheidungen angekreuzt. Für das Arbeiten mit dem Säure-Base-Kapitel wurde in 17 % der Entscheidungen angegeben, dass kein Ziel vorlag. Ein näher spezifiziertes Ziel (*Ich möchte mich über folgenden Begriff/Sachverhalt informieren*) konnte in 4 % der Entscheidungen angegeben werden. Dabei wurden die Begriffe *Lewis-Säure* (2 Nennungen), *pH-Wert*, *Puffer* und *pK_s-Wert* (jeweils eine Nennung) angegeben.

4.4.5.3 Diskussion

Die höhere Zugriffszahl der ersten Woche ist nicht ungewöhnlich, angesichts der Auflage von der Versuchsleitung, zumindest einmal in der ersten Woche die Lernumgebung zu nutzen. Aus der überwiegenden Lernzeit am Vormittag kann geschlossen werden, dass diese Tätigkeit in den Studienalltag integriert wurde. Etwas überraschend erscheint das Verhältnis der Lernzeit zwischen vernetzter und linearer Textversion zugunsten der linearen Version. Die Zielangaben der Lernenden können eine Erklärung dafür geben. Nur 4 % nennen ein bestimmtes Ziel. Der überwiegende Teil möchte einen Überblick über das Thema *Säuren und Basen* gewinnen. Für dieses Ziel hielten es die Lernenden offensichtlich für angebracht, sich von der vom Autor vorgegebene Struktur der Inhalte leiten zu lassen.

Aufgrund der sehr großen Unterschiede in der Gesamtlernzeit ist für die weitere Auswertung eine Trennung der Versuchsteilnehmer nach dem Median der Lernzeit vorgenommen worden. Z_1 ist die Gruppe der Versuchspersonen, die ChemNet weniger als 1:04 Stunden genutzt haben ($N = 14$, 10 weiblich, 7 Ökotrophologen). In Z_2 befinden sich die Teilnehmer, die mindestens 1:04 Stunden in ChemNet gelesen haben ($N = 14$, 9 weiblich, 7 Ökotrophologen) (weitere Angaben siehe Tabelle 19). Durch diese Trennung soll das Erkennen von Tendenzen ermöglicht werden, die sich mit zunehmender Lerndauer ergeben.

Tabelle 19: Angaben zu den Teilnehmern der Gruppen Z_1 und Z_2

	Z_1		Z_2	
	M	SD	M	SD
Alter (Jahre)	20,9	1,33	21,0	1,41
Abiturnote	2,69	0,51	2,52	0,39
Lernzeit (Stunden)	0:40	0:37	2:11	1:52

Legende: Z_1 : Teilnehmer, die weniger als 1:04 Stunden mit ChemNet gelernt haben, Z_2 : Teilnehmer, die mindestens 1:04 Stunden mit ChemNet gelernt haben.

4.4.6 Zur Lernerfolgskontrolle

4.4.6.1 Darstellung der Ergebnisse

Bei der Auswertung der Lernerfolgskontrolle ist es von besonderem Interesse, in welchem Umfang sich die Ergebnisse aus dem Labor auf die Feldstudie übertragen lassen. Aber auch Fragen des Lernerfolgs in Abhängigkeit von der Lernzeit sollen hier betrachtet werden. Daher werden die Vor- und Nachtestergebnisse ebenfalls getrennt für die Gruppen Z_1 und Z_2 angegeben. Die in Abschnitt 4.3.5 aufgeführten einschränkenden Bemerkungen zur Realitätsanalyse behalten natürlich für die Feldstudie ihre Gültigkeit. Wenn auch der Zeitraum zwischen dem Bearbeiten des Vor- und des Nachtests vierzehn Tage betrug und der Erinnerungseffekt somit erheblich geringer sein dürfte als beim Laborexperiment, so wird schon per Definition die Reliabilität des Differenzmaßes schlechter ausfallen als die der einzelnen Tests. Besonders das Betrachten der Ergebnisse für die Gruppen Z_1 und Z_2 ist aufgrund der fehlenden Variablenkontrolle mit vielen Unsicherheiten behaftet und soll daher nur als Tendenz angesehen werden.

Die Reliabilitäten des Vor- und Nachtests wurden mit einem Cronbach- α von .76 und .78 berechnet. Sie fielen um ca. einem zehntel Punkt höher aus als in der Laborstudie, liegen aber immer noch in einem nur befriedigenden Bereich. Eine Korrelation nach Pearson zeigt, dass Vor- und Nachtest voneinander nicht unabhängig sind ($r = .58$, $p < .001$) und bestätigt den Befund der Laborstudie. Im Vortest erreichten die Studierenden durchschnittlich 5,22 Punkte. Im Nachtest konnte sich die Gruppe der Feldstudie im Mittel nur auf 7,68 Punkte verbessern. Das entspricht einem Lernerfolg von 2,46 Punkten. Bei den Transferaufgaben erreichten sie einen Mittelwert von 5,96 Punkten. Die Lernerfolgsergebnisse der Laborstudie wurden also nicht erreicht (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Vergleich der Testergebnisse bei Feld- und Laborstudie

	Feldstudie		Laborstudie	
	M	SD	M	SD
Vortest (VT)	5,22	3,11	6,17	2,87
Nachtest (NT)	7,68	3,39	11,43	2,65
Differenz (NT-VT)	2,46	3,06	5,26	2,62
Transferaufgaben	5,96	2,58	8,46	2,64

Die Vortestergebnisse der Feldstudie liegen im Mittel um fast einen Punkt unter denen des Laborexperimentes. Die Nachtestergebnisse fallen sogar um fast vier Punkte niedriger aus. Das Differenzmaß ist dementsprechend circa zweieinhalb Punkte schlechter. Auch die Bearbeitung der Transferaufgaben gelang den Teilnehmern im Mittel um zweieinhalb Punkte schlechter. Ein t-Test für ungepaarte Stichproben bestätigt im Falle des Differenzmaßes ($t_{(91)} = 4,50$, $p < .001$) und der Transferaufgaben ($t_{(91)} = 4,22$, $p < .001$), dass die Teilnehmer der Feldstudie signifikant schlechter gelernt haben. Die hohen Standardabweichungen deuten bereits an, dass eine sehr breite Streuung in den Ergebnissen vorliegt. So verschlechterte sich ein Teilnehmer um fünf Punkte, während das beste Lernergebnis mit acht Punkten verzeichnet wurde (Abbildung 34).

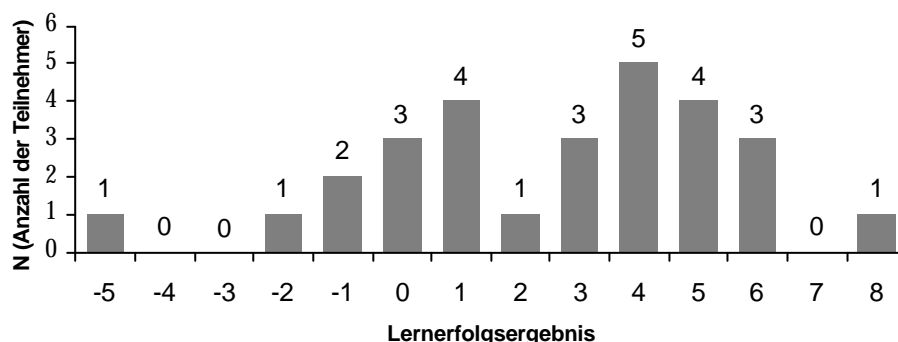


Abbildung 34: Häufigkeitsverteilung der Lernerfolgsergebnisse in der Feldstudie

In der folgenden Tabelle sind die Testergebnisse getrennt für die Gruppen Z_1 und Z_2 aufgeführt. Für die Gruppe Z_2 , dessen Teilnehmer das Lernprogramm länger benutzt haben, liegen alle Mittelwerte höher. Dieser Effekt ist jedoch genauso wenig signifikant ($t_{(26)} = -.80$, *ns*) wie ein direkter Vergleich der Lernerfolgsergebnisse mit der Lernzeit ($r = 16$, *ns*).

Tabelle 21: Vergleich der Testleistung bei den Gruppen Z_1 und Z_2

	Z_1		Z_2	
	M	SD	M	SD
Vortest (VT)	4,54	2,96	5,86	3,21
Nachtest (NT)	6,57	3,50	8,79	3,26
Differenz (NT-VT)	2,03	3,28	2,93	2,81
Transferaufgaben	5,86	2,93	6,07	2,27

4.4.7 Ergebnisse der Bewertung

Die Bewertung des Säure-Base-Kapitels in der Feldstudie ist ein wichtiger Indikator für die Einstufung diesbezüglicher Ergebnisse aus der Laborstudie. Bei abweichenden Tendenzen oder gar ganz anderen Bewertungen unter den Bedingungen einer realen alltäglichen Lernsituation wären Gründe dafür zu prüfen. Im abschließenden Fragebogen wurden zunächst die gleichen sechzehn Fragen zur Bewertung des Lernprogramms gestellt. Einer Darstellung der Ergebnisse und einem Vergleich mit denen der Laborstudie schließt sich eine Betrachtung der Bewertungen zu den einzelnen Textstrukturen an (4.4.7.1).

Tabelle 22: Ergebnisse der Bewertung des Säure-Base-Kapitels (Feldstudie)

Item	M	SD	Verteilung der Nennungen Angaben in Prozent			
			1	2	3	4
1. Das Lernen mit dem Säure-Base-Kapitel macht mir Spaß.	2,63	,74	7	30	56	7
2. Ich empfand es bei ChemNet als angenehm, selbst bestimmen zu können, was ich lesen/lernen will.	3,22	,89	4	19	30	48
3. Ich schätze meinen Lernerfolg mit dem Säure-Base-Kapitel als hoch ein.	2,11	,85	26	41	30	4
4. Auf Vorkenntnisse der Benutzer ist für mich ausreichend eingegangen worden.	2,85	,77	4	26	52	19
5. Es war für mich sehr wichtig, die Inhalte des Säure-Base-Kapitels auch wirklich zu verstehen.	3,22	,75	-	19	41	41
6. Das Säure-Base-Kapitel war für mich inhaltlich zu schwierig.	1,63	,74	48	44	4	4
7. Das Säure-Base-Kapitel enthält genügend Beispiele.	3,22	,85	7	4	48	41
8. Im Säure-Base-Kapitel werden alle unbekannt Begriffe erklärt.	3,33	,73	-	15	37	48
9. Die Inhalte des Säure-Base-Kapitels werden zu knapp präsentiert.	1,41	,57	63	33	4	-
10. Die Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel haben mir weitergeholfen.	2,74	,24	4	37	41	19
11. Es sind zu wenig Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel.	1,33	,62	74	19	7	-
12. Die Texte im Säure-Base-Kapitel sind schwer zu verstehen.	1,26	,45	74	26	-	-
13. Die Bildschirmaufteilung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich.	3,11	,61	7	11	44	37
14. Die Strukturierung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich.	3,19	,83	4	15	41	41
15. Die Farbgestaltung im Säure-Base-Kapitel ist angenehm.	3,37	,63	-	7	48	44
16. Die Bedienung im Säure-Base-Kapitel ist einfach.	3,41	,80	4	7	33	56

Legende: N = 27, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung. 1: trifft nicht zu, 2: trifft etwas zu, 3: trifft ziemlich zu, 4: trifft völlig zu.

Zu den generellen Lernaspekten (Item 1-5)

Die Aspekte 1: *Das Lernen mit dem Säure-Base-Kapitel macht mir Spaß* und 4: *Auf Vorkenntnisse der Benutzer ist für mich ausreichend eingegangen worden* wurden mehrheitlich als

ziemlich oder nur etwas zutreffend bestätigt, liegen im Mittelwert jedoch zum Item 3: *Ich schätze meinen Lernerfolg mit dem Säure-Base-Kapitel als hoch ein* noch über dem Erwartungswert von 2,5. Letzteres wurde sogar von 26 % der Lernenden als nicht zutreffend abgelehnt. Die Möglichkeit, selbst eine Auswahl der Inhalte vornehmen zu können (Item 2), wurde mehrheitlich als angenehm empfunden. 48 % stimmten diesem Item voll zu. Die Mehrheit der Teilnehmer hielt es für wichtig oder ziemlich wichtig (jeweils 41 %), die Inhalte des Säure-Base-Kapitels zu verstehen (Item 5).

Zu den inhaltlichen Aspekten (Item 6-12)

Wie in der Laborstudie ist auch in dieser Bewertung zu beachten, dass die Items 6, 9, 11 und 12 in Bezug auf eine Beurteilung des Lernprogramms negativ formuliert wurden. Daher ist die mehrheitliche Ablehnung dieser Items als überwiegende Zustimmung zu den entsprechend positiven Formulierungen zu sehen. So bewerteten 48 % der Teilnehmer das Säure-Base-Kapitel als nicht zu schwierig (Item 6). Die anderen drei Items wurden von der absoluten Mehrheit der Teilnehmer als nicht zutreffend abgelehnt. 63 % lehnten ab, dass die Inhalte zu knapp präsentiert würden (Item 9), und jeweils 74 % empfanden die Aussagen, es seien zu wenig Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel (Item 10) und die Texte des Kapitels seien zu schwer zu verstehen (Item 12), als nicht zutreffend. Letzteres wurde sogar von keinem der Teilnehmer als ziemlich oder voll zutreffend bewertet. Die Items 7: *Das Säure-Base-Kapitel enthält genügend Beispiele* und 8: *Im Säure-Base-Kapitel werden alle unbekannt Begriffe erklärt* wurden überwiegend als voll oder ziemlich zutreffend angenommen. Weniger deutlich fiel die Beurteilung des Items 10: *Die Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel haben mir weitergeholfen* aus. Immerhin 37 % der Teilnehmer stimmten dieser Aussage nur etwas zu.

Zu den Design-Aspekten (Item 13-16)

Die vier Aspekte 13: *Die Bildschirmaufteilung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich*, 14: *Die Strukturierung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich*, 15: *Die Farbgestaltung im Säure-Base-Kapitel ist angenehm* und 16: *Die Bedienung im Säure-Base-Kapitel ist einfach* wurden mit 81%, 82%, 92% und 89% (in der Reihenfolge der oben genannten Items) mit großer Mehrheit als ziemlich oder voll zutreffend angenommen.

Zusammenfassende Darstellung aller Items und Vergleich mit der Laborstudie

In Abbildung 35 sind die Abweichungen aller Mittelwerte der Bewertungsaspekte vom Erwartungswert 2,5 in einem Diagramm dargestellt. Zum Vergleich sind auch die Ergebnisse aus der Laborstudie aufgeführt. Hierbei wurden wieder die Werte der negativ formulierten Aspekte korrigiert: Sie beziehen sich jetzt auf die entsprechend positive Aussage bezüglich des zu bewertenden Aspektes.

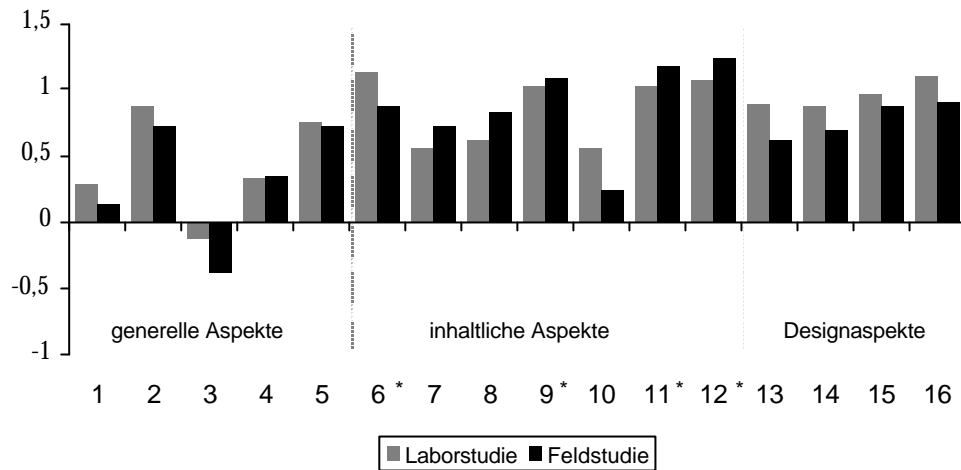


Abbildung 35: Vergleich der Bewertungen aus Feld- und Laborstudie als Abweichung der Mittelwerte für die einzelnen Aspekte vom Erwartungswert 2,5. Werte der negativ formulierten Aspekte (mit * markiert) sind korrigiert und beziehen sich auf ihre entsprechende positive Aussage.

Es wird deutlich, dass die Bewertungen in beiden Studien in der Tendenz übereinstimmen. Inhaltliche und Designaspekte sind sämtlich angenommen worden. Die inhaltlichen Aspekte wurden in der Feldstudie überwiegend besser beurteilt, lediglich die Aspekt 6 (Inhalte sind zu schwierig) und 10 (Grafiken und Abbildungen haben weitergeholfen) fielen in ihrer Bewertung schlechter aus. Alle Designaspekte wurden in der Feldstudie überwiegend schlechter bewertet, finden jedoch immer noch eine hohe Akzeptanz. Die generellen Aspekte 4 (Eingehen auf Vorkenntnisse) und 5 (Wichtigkeit des Verstehens) sind in ihrer Bewertung vergleichbar. Die ersten drei Items wurden von den Teilnehmern der Feldstudie schlechter bewertet. Besonders die Einschätzung des eigenen Lernerfolgs, in beiden Studien als einziger Aspekt eher ablehnend beurteilt, fiel in der Feldstudie noch schlechter aus.

Getrennte Bewertung der linearen und der vernetzten Struktur

Im abschließenden Fragebogen sollten die Probanden neben Items zur allgemeinen Bewertung der Maßnahme auch Items zu den einzelnen Textstrukturen beantworten. Für diese war – wie bei den anderen Bewertungen – eine Zustimmung nach dem vierstufigen Antwortschema von *trifft nicht zu* bis *trifft völlig zu* vorzunehmen. Für die Darstellung der Ergebnisse sind den Bewertungsstufen wieder die Ziffern 1-4 zugeordnet worden. Tabelle 23 gibt die Mittelwerte und die dazugehörigen Standardabweichungen wieder.

Tabelle 23: Bewertung strukturspezifischer Items

	lineare Struktur		vernetzte Struktur	
	M	SD	M	SD
17. Ich habe die Struktur häufig genutzt.	2,96	1,22	1,84	1,07
18. Mit dieser Struktur bin ich gut zurecht gekommen.	3,41	0,75	2,35	0,99
19. Ich hatte Schwierigkeiten, die für mich erforderlichen Informationen in dieser Struktur zu finden.	1,37	0,56	1,85	,93
20. Ich hatte Schwierigkeiten die Inhalte dieser Struktur zu verstehen.	1,26	0,45	1,75	0,97
21. In dieser Struktur hatte ich Orientierungsprobleme.	1,26	0,59	1,95	0,94

Legende: M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Die eigene Einschätzung über eine häufige Nutzung der linearen oder vernetzten Struktur (Item 17) entspricht der Nutzungszeit und –häufigkeit der jeweiligen Struktur. Demnach wurde die lineare Struktur häufiger genutzt als die vernetzte. Den Angaben zufolge sind die Teilnehmer mit der linearen Struktur gut zurecht gekommen (Item 18). Die anschließend negativ formulierten Items 19-21 sind mehrheitlich abgelehnt worden. Es bestanden wenig Schwierigkeiten, erforderliche Informationen in der linearen Struktur zu finden (Item 19), deren Inhalte zu verstehen oder sich zu orientieren (Item 20 und 21). Mit der vernetzten Struktur kamen die Teilnehmer nicht so gut zurecht wie mit der linearen Struktur (Item 18). Auch die Aspekte bezüglich der Informationsfindung (Item 19), dem Verständnis der Inhalte (Item 20) und der Orientierung (Item 21) sind im Vergleich zur linearen Struktur schlechter bewertet worden. Abbildung 36 vergleicht in einem Säulendiagramm die Abweichungen der Bewertungen vom Erwartungswert 2,5. Dabei sind wieder die bezüglich der Bewertung der Textstruktur negativ formulierten Aspekte korrigiert worden. Hier wird noch einmal deutlich, dass die Bewertung für die vernetzte Struktur insgesamt schlechter ausfällt. Während alle Items bezüglich der linearen Struktur eher Zustimmung finden, werden die Items 17 (Häufigkeit der Nutzung) und 18 (Gut zurecht gekommen) bezüglich der vernetzten Struktur eher abgelehnt.

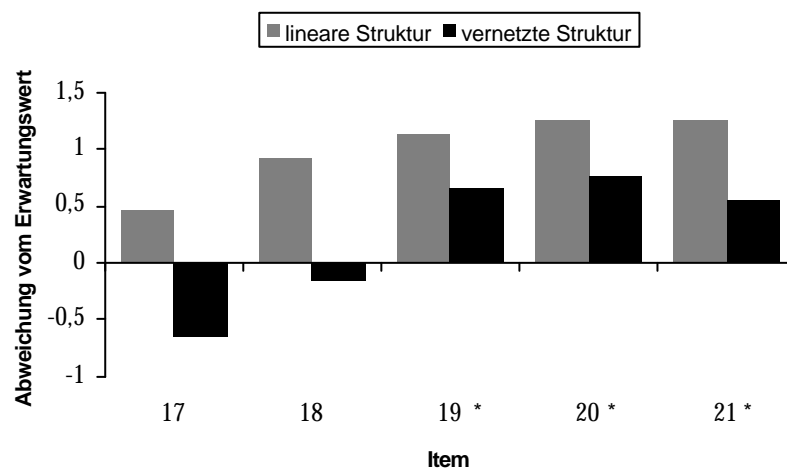


Abbildung 36: Vergleich der Bewertungen linear – vernetzt als Abweichung der Mittelwerte für die einzelnen Aspekte vom Erwartungswert 2,5. Werte der negativ formulierten Aspekte (mit * markiert) sind korrigiert und beziehen sich auf ihre entsprechende positive Aussage.

4.4.8 Diskussion

Die Feldstudie dient in erster Linie dem Vergleich der Laborstudienresultate in einem natürlichen Setting. Dabei stehen die Ergebnisse der Akzeptanzfrage im Vordergrund. Die fehlende Kontrolle der Variablen führte zu einem sehr unterschiedlichen Datenbild der Versuchsteilnehmer. So unterliegen beispielsweise die Zugriffszahlen und –zeiten von Proband zu Proband großen Schwankungen. Für eine zuverlässige Auswertung mit nahezu vollständigen und sicheren Daten konnten daher nur 28 der ursprünglich angeworbenen 50 Probanden berücksichtigt werden. Mit einer anfänglich höheren Teilnehmerzahl hätten eventuelle Schwankungen in der Zeit- oder Zugriffsvariable kompensiert werden können. Diese Variante war im Rahmen der vorliegenden Studie aus finanziellen Gründen nicht möglich und hätte außerdem zu einem weiteren größeren Selektionsprozess führen können, der die Repräsentativität der Ergebnisse beeinträchtigt hätte. Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die Datenauswertung von 28 Probanden.

In diesem Absatz werden kurz die wichtigsten Informationen und Ergebnisse im Vergleich zur Laborstudie aufgeführt: An der Feldstudie nahmen Studierende der Fächer Agrarwissenschaften und Ökotrophologie teil. Für beide Studiengänge werden die Inhalte der allgemeinen und anorganischen Chemie in einer Semesterhälfte vermittelt. Im Gegensatz dazu besuchen die Teilnehmer der Laborstudie eine einsemestrige Vorlesung mit der gleichen Wochenstundenanzahl. Die Lernvoraussetzungen der Probandengruppen unterschieden sich nicht nur in der Wahl des Studienfaches und der daraus bedingten universitären Chemieausbildung. Insgesamt hatten weniger Teilnehmer der Feldstudie einen Chemie-Leistungskurs besucht. Die durchschnittliche Abiturnote ist schlechter und der Wissenstest über das Internet wurde von ihnen mit einem marginal geringeren Erfolg bearbeitet. Der Analyse des Nutzerprotokolls zufolge wurde in 77 % aller Zugriffe die lineare Version gewählt. Die Anzahl der Zugriffe deckt sich mit der Zugriffsdauer (75 % der Gesamtzugriffszeit). Vergleichbar war ebenfalls die Angabe über die bewusste Nutzung der linearen Struktur (82 %). Die Online-Befragung ergab, dass in 80 % aller Zugriffe ein allgemeines und nicht näher spezifiziertes Informationsbedürfnis vorlag. In nur ganz wenigen Fällen äußerte der Proband ein spezielles Ziel. Die Ergebnisse der Lernerfolgskontrolle lagen mit 2,5 Punkten erheblich unter denen der Laborstudie. Die Teilnehmer der Laborstudie haben signifikant schlechter gelernt als die der Laborstudie. Vergleichbar sind nur die Vortestergebnisse, obwohl auch sie um 1,3 Punkte niedriger liegen. Eine Aufteilung der Feldstudienteilnehmer nach dem Median der Lernzeit zeigt einen Effekt zugunsten der Teilnehmer, die länger gelernt haben. Im Durchschnitt lagen deren Ergebnisse um 0,9 Punkte über dem Mittelwert der Gruppe, dessen Lernzeit unter dem Median lag. Die Bewertungen der Maßnahme stützen die Ergebnisse aus der Laborstudie und damit auch die darauf basierenden Aussagen in der oben durchgeführten Diskussion (4.3.6.4).

Überwiegend positive Bewertungen zeigen eine hohe Akzeptanz der Maßnahme, ChemNet als ein Lernprogramm einzusetzen, sowie der Darstellung der Inhalte und der Gestaltung des Lernprogramms. Die Unsicherheit über den eigenen Lernerfolg mit ChemNet kommt bei den Teilnehmern der Feldstudie noch deutlicher zum Ausdruck und bestärkt die Forderung nach einer Möglichkeit, durch eine interaktive Kontrolle

schnelle Rückmeldung über den Lernfortschritt des Lesers geben zu können. Nicht unerwähnt soll die eher mäßige Zustimmung zum Item 10 bleiben. 40 % der Teilnehmer ersehen Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel als nicht oder nur etwas hilfreich. Diese Aussage überrascht im Hinblick darauf, dass 81 % von ihnen der Aussage, es seien zu wenig Grafiken und Abbildung im Säure-Base-Kapitel (Item 11), nicht oder nur etwas zustimmen. Es ist darüber nachzudenken, ob es zwischen diesen Ergebnissen einen Zusammenhang geben könnte. Es scheint, dass sich Lernende, denen die Grafiken und Abbildungen generell nicht weiterhelfen, wenig von weiteren grafischen Hilfsmitteln versprechen. Werden also Grafiken und Abbildungen für viele Lernende generell als nicht hilfreich für das Verständnis chemischer Inhalte empfunden? Diese Frage kann durch die vorliegende Datenlage nicht beantwortet werden. Hier kann zunächst der Schluss gezogen werden, dass einem großen Teil der Lernenden die Abbildungen des Säure-Base-Kapitels subjektiv keine Unterstützung für das Verständnis der Inhalte erbringt. Insofern könnte die Ablehnung weiterer Abbildungen sich auch auf Abbildungen vergleichbaren Typs beziehen. In dieser Untersuchung stand die Wirkung verschiedener Textpräsentationsformen auf das Lernen im Vordergrund. Es wurden also bewusst die medialen Möglichkeiten, die das Internet zu bieten hat, nicht ausgeschöpft. Dennoch sind die Abbildungen und Grafiken mit bedacht als Medium zur Veranschaulichung in den Text integriert worden. Ihr lernpsychologischer Wert ist nicht abzustreiten (vergl. z.B. Brünken, Steinbacher, Schnotz & Leutner, 2001; Schnotz & Bannert, 1999). Daher sollte überlegt und geprüft werden, inwiefern Alternativen zu den verwendeten Grafiken und Abbildungen auf eine höhere Akzeptanz bei den Lernenden treffen können.

Die hohe Zugriffszahl- und Zeit auf die lineare Version erstaunt zunächst. Zwar haben alle Probanden zumindest einmal die vernetzte Version eingesehen. Jedoch wurde sie überwiegend abgelehnt und für die Ziele der Probanden als nicht geeignet empfunden. Über die Online-Befragung gaben die Teilnehmer überwiegend ein allgemeines Informationsbedürfnis als Ziel an. Vor diesem Hintergrund überrascht die Nutzung der linearen Version wiederum nicht, wurde sie doch in der Startseite von ChemNet gerade für dieses Ziel als geeignet beschrieben. Es scheint, als haben sich die Probanden von dieser Empfehlung leiten lassen. Die vornehmlich positiven Bewertungen der linearen Version geben einen Hinweis darauf, dass die Empfehlung keine Fehlleitung war. Immerhin 65 % der Teilnehmer, die bewusst mit der linearen Struktur gelernt haben, gaben an, dass sie dies aufgrund ihrer Eignung für die eigenen Ziele getan haben. Die überwiegende Nutzung der linearen Struktur kann auch damit zusammenhängen, dass die Teilnehmer mit ihr mehr vertraut sind, da sie diese Struktur von den konventionellen gedruckten Texten her kennen. Auch im Internet publizierte Skripte mit naturwissenschaftlichem Inhalt unterscheiden sich selten von dieser Textform.

Wie lässt sich nun das im Vergleich zur Laborstudie durchschnittlich schlechtere Lernergebnis erklären? Dafür sind auch wieder mehrere Punkte zu nennen, die als Gründe herangezogen werden können. Zunächst einmal lag die durchschnittliche Lernzeit mit 84 Minuten zwar nur gering unter der der Laborstudie. Allerdings haben die Teilnehmer der Feldstudie in mehreren Einheiten gelernt und nicht wie in der Laborstudie in einer kontinuierlichen Sitzung. Mit dem wiederholten Aufrufen der Startseite und dem Ausfüllen des kurzen Fragebogens ist immer ein Zeitverlust verbunden. In die gemessene Lernzeit fällt auch die Zeit für eine Orientierung in den zwei unterschiedlichen Strukturen. Da außerdem nicht kontrolliert werden konnte, ob die Teilnehmer in der Online-Zeit tatsächlich aufmerksam mit der nötigen Konzentration die Lernumgebung genutzt haben, ist insgesamt davon auszugehen, dass die tatsächliche Lernzeit in der Feldstudie noch weiter unter der gemessenen liegt. Dass jedoch der Lernerfolg von der Lernzeit abhängig ist, zeigt allein schon der Vergleich innerhalb der

Feldstudie zwischen den Gruppen Z_1 und Z_2 . Ein zweiter Grund für die schlechteren Ergebnisse könnte durch die fehlende Zielbestimmung gegeben werden. In der Laborstudie wurde durch den Hinweis, dass die Studierenden Unterschiede und Beziehungen der zentralen Begriffe kennen und in das Thema einordnen sollen auch in der Gruppe der Lernenden, die sich weitere Ziel selbst wählen sollen, eine Lernorientierung gegeben. In der Feldstudie wurden die Lernenden lediglich mit dem Hinweis darauf motiviert, dass das Thema bereits in der Hörsaal-Vorlesung behandelt wurde. Ein Ziel für sie hätte es zum Beispiel sein können, mit ChemNet offene Fragen zu klären oder Nicht-Verstandenes nachzulesen. Das Lernen in der Feldstudie war somit stärker auf die eigenen Wünsche und Bedürfnisse zugeschnitten, während das Lernen im Laborexperiment auch durch das Ziel, die gestellte Aufgabe möglichst gut zu erfüllen und in der abschließenden Wissenskontrolle möglichst gut abzuschneiden, beeinflusst gewesen sein könnte. Weiterhin sind die allgemein schlechteren Lernvoraussetzungen (Vorkenntnisse, Internetkenntnisse, Chemieunterricht in der Schule, Abiturnote) und das Hauptfach der Feldstudienteilnehmer zu berücksichtigen. Bei Studierenden der Ökotoxikologie oder Agrarwissenschaften nimmt das Fach Chemie nicht unbedingt einen Schwerpunkt ein. So könnten für einige Teilnehmern auch Motivationsprobleme beim wiederholten Ausfüllen des Wissenstest nach der Lernphase eine Rolle gespielt haben. In der Feldstudie haben sich vier Teilnehmer im Vergleich zum Vortest verschlechtert, ein Teilnehmer sogar um fünf Punkte. Drei weitere Teilnehmer erzielten ihr Vortestergebnis.

Nach diesem Vergleich der Ergebnisse beider Studien kann resümiert werden, dass sich die Maßnahme, ChemNet als Lernumgebung zum selbstgesteuerten Lernen einzusetzen, einer hohen Akzeptanz erfreut. Der in der Laborstudie gemessene Haupteffekt zugunsten der vernetzten Struktur steht einer Bevorzugung der linearen Struktur in der Feldstudie gegenüber. Das ist kein Widerspruch. Die Textstruktur der linearen Version entspricht der Struktur konventioneller Texte. Die Studierenden haben es gelernt, sich mit dieser Textform Wissen anzueignen. Die vernetzte Form ist für sie weiterhin etwas Neues und Ungewohntes. Dass auch mit dieser Struktur gelernt werden kann, müssen sie erst erfahren. Die Tendenz des erfolgreichen Lernens mit einer bestimmten Zielorientierung in der Laborstudie steht ein überwiegendes Lernen mit unbestimmten Zielen in der Feldstudie gegenüber. Diese Ergebnisse unterstützen die bereits geäußerte Überlegung, dem Lernenden durch Instruktionen Lernziele anzubieten. DÖRING schreibt in einer allgemeinen Betrachtung über das Lernen und Lehren im Internet: „Sieht man im Internet das *kosteneffiziente Unterrichtsmedium*, das selbstgesteuertes Lernen ohne Lehrer gewährleisten soll, trägt man dazu bei, die Chancenungleichheit zu vergrößern. Denn völlig ohne didaktische und pädagogische Begleitung können nur die Lernstärksten vom Netz profitieren.“ (Döring, 2000, S. 470f). Die Studie hat in einer Tendenz gezeigt, dass sich eine bestimmte Zielorientierung positiv auf das Lernen auswirkt. Es wäre daher ein Instruktionsangebot zu überlegen, das Leser mit einem allgemeinen, nicht näher spezifizierten Informationsbedürfnis im Lernen anleitet. Dies könnte zum Beispiel in einer Formulierung fachlicher Lernziele auf Themenschwerpunktseiten geschehen. Eine interaktive Kontrolle über das Erreichen der Lernziele würde außerdem der Forderung nach einer stärkeren Überprüfung des eigenen Lernerfolges gerecht werden. Unbestritten sollte der Aspekt des selbstgesteuerten Lernens im Sinne einer konstruktiven Wissensaneignung im Vordergrund stehen. Doch herrscht inzwischen weitgehend Einigkeit darüber, dass die Gestaltung einer Lernumgebung eine Integration von Konstruktion und Instruktion erfordert (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2001). REINMANN-ROTHMEIER & MANDL schlagen dafür vor, die Lernumgebung problemorientiert zu gestalten. Nun wird es schwer sein, alle Leitlinien für

problemorientiertes Lernen – wie sie von REINMANN-ROTHMEIER & MANDL vorgestellt werden – in einer internetbasierten Lernumgebung zu realisieren. Die Vorgabe einer Problemstellung könnte dennoch – gerade wenn es sich um eine authentische Problemstellung handelt – einen Leser ohne konkretes Informationsbedürfnis zum Lernen motivieren. Erfordert die Aufgabe das Erarbeiten fachchemischer Kenntnisse, so würde dadurch eine konkrete Zielorientierung induziert. Es wäre also zu prüfen, inwiefern das Bearbeiten problemorientierter Aufgaben selbstgesteuertes Lernen in einer internetbasierten Lernumgebung fördern kann.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgelegte Arbeit entstand im Rahmen eines größer angelegten Forschungsprojektes des Instituts zur Frage der Optimierung von Lernumgebungen beim Einsatz multimedialer Lehr- und Lernprogramme. Am Beispiel der internetbasierten Lernumgebung ChemNet wurde untersucht, ob und inwieweit es durch den gezielten Einsatz bestimmter Gestaltungsmerkmale – seien es inhaltliche oder strukturspezifische – gelänge, fachliches Lernen für Studierende aus unterschiedlichen Fachrichtungen – und damit mit individuellen, d.h. unterschiedlichen Vorkenntnisse und Interessen – mit dem identischen Medium zu ermöglichen.

ChemNet bietet als Hypertextsystem Informationen zu den Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie zum größten Teil in Textform an und gewährleistet einen schnellen und individuellen Zugriff auf die gewünschten Informationen. Ein wesentliches lernwirksames Potential der Hypertextsysteme liegt in der Variation der Darbietungsform ihrer Inhalte. In dieser Arbeit wird zwischen linearen Hypertexten – die im Aufbau der Inhalte mit den konventionellen gedruckten Texten vergleichbar sind – und vernetzten Hypertexten unterschieden. In der Hypertextforschung ist man sich weitestgehend einig, dass das Anbieten der Inhalte in einem Hypertextsystem selbstgesteuertes und interessengeleitetes Lernen ermöglicht; jedoch haben bisherige Untersuchungen diese Annahme nicht eindeutig belegen können, so dass weiterer Klärungsbedarf besteht. Gleiches gilt für die Frage der Lernwirksamkeit unterschiedlicher Textgestaltungen (vernetzt oder linear) insbesondere in ihrer Verbindung mit der Zielorientierung (bestimmt oder unbestimmt) und in den Vorkenntnissen der Lernenden – offensichtlich Größen, die den Lernerfolg maßgeblich beeinflussen können. Die theoretische Begründung für diese Befunde liefert das Situationsmodell zum Textverständnis von VAN DIJK & KINTSCH. Danach hängt die mentale Verarbeitung eines Textes maßgeblich davon ab, inwieweit der Leser in der Lage ist, erforderliche Interferenzen zu leisten. Bei einem guten Vorwissen sorgen besonders elaborative Interferenzen dafür, dass die Textinformationen mit vorhandenen Wissensbeständen verknüpft und somit die Informationen im Gedächtnis stärker verankert werden. Eine bestimmte Zielorientierung entbindet den Leser von der Aufgabe der Informationszielspezifikation und gewährt im somit mehr kognitive Ressourcen für die Textverarbeitung.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Erfassung wesentlicher Kenngrößen beim Wissenserwerb im Rahmen der internetbasierten Lernumgebung ChemNet. Es wurde in Anlehnung an die Untersuchung von SCHNOTZ & ZINK vermutet, dass Studierende mit einer bestimmten Zielorientierung besser mit einem vernetzten Hypertext als mit einem linearen Hypertext lernen. Lernende mit einer unbestimmten Zielorientierung sollten dagegen mit einem linearen Text bessere Lernergebnisse erzielen als mit einem vernetzten Hypertext. Als konkrete Zielorientierung wird zum Beispiel die Suche nach Inhalten zu einem bestimmten Begriff angesehen. Gründe für die Annahmen sind in den unterschiedlichen Eigenschaften der Textstrukturen zu finden: Ein vernetzter Text gewährleistet ein schnelles Auffinden erwünschter Informationen. Ein linearer Text entwickelt das Wissen in einem kohärenten Ganzen. Leser mit bestimmter Zielorientierung können den direkten Zugang zu den Informationen in der vernetzten Version effektiv nutzen. In linearen Texten müssen die Informationen gefunden und aus der kohärenten Struktur isoliert werden. Leser mit unbestimmter Zielorientierung können sich in einer linearen Textversion von der Struktur, die der Autor ihnen vorgibt, leiten

lassen. In einer vernetzten Version sind sie gezwungen, die Informationseinheiten selbst zu strukturieren, was eine kognitive Zusatzbelastung bedeutet.

Für die Untersuchung dieser Fragestellung war zunächst ein Kapitel für die Lernumgebung ChemNet in zwei Textformen – linear und vernetzt – zu entwickeln, das für eine möglichst breite Adressatengruppe zugänglich war. Hierfür wurde die Thematik *Säuren und Basen* ausgewählt; die Qualität der Lern-Software wurde im Rahmen der unten beschriebenen empirischen Untersuchung überprüft.

Die Untersuchung der oben beschriebenen Hypothesen erfolgte in einem Laborexperiment mit 65 Studierenden unterschiedlicher Fachrichtungen. Die Studierenden waren Hörer einer Chemie-Grundvorlesung. In vier Lerngruppen wurde jeweils die Textstruktur (linear – vernetzt) und die Zielorientierung (bestimmt – unbestimmt) variiert. Die weiteren erkannten Einflussgrößen Interneterfahrung und Vorkenntnisse wurden neben den Größen Chemieausbildung und Selbstkonzept der Begabung, die als Einflussgrößen auf Lernen gelten, erhoben und bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt. Im Anschluss an die Lernphase wurden die Studierenden außerdem gebeten, die Maßnahme, eine internetbasierte Lernumgebung für das Chemielernen einzusetzen, sowie die inhaltliche Gestaltung und das gesamte Design zu bewerten. In einer zusätzlich durchgeführten Feldstudie hatten fünfzig Studierende die Möglichkeit, mit beiden Textstrukturen zwei Wochen lang zu lernen. Diese alltagsnahe Benutzung von ChemNet hatte den Zweck, eine Bewertung der Lernumgebung in einem natürlichen Setting zu erfassen.

Der erwartete Interaktionseffekt zwischen Zielorientierung und Textstruktur konnte nicht bestätigt werden. Zwar lieferten die Studierenden, die mit einer konkreten Zielorientierung gelernt haben, mit der vernetzten Struktur bessere Ergebnisse als mit der linearen Struktur. Im Gegensatz zu den Erwartungen wurde dieses Ergebnis auch mit der unbestimmten Zielorientierung erreicht. Die Abweichung von den Befunden von SCHNOTZ & ZINK kann damit erklärt werden, dass die Probanden dieser Untersuchung Vorkenntnisse zum Lerngegenstand besaßen, während die Teilnehmer der Schnotz-Studie geringe Vorkenntnisse hatten. Offensichtlich reichen die Vorkenntnisse der Studierenden aus, um sich beim Lernen ohne konkrete Zielorientierung auch in der vernetzten Version gut zu orientieren. Dieses Ergebnis geht konform mit dem Ergebnis einer Studie von GERDES, wonach Lernende mit wenig Vorkenntnissen zwar besser mit einem linearen Text lernen als mit einem vernetzten Hypertext. Dieser Effekt ändert sich jedoch mit zunehmenden Vorkenntnissen zugunsten des Hypertextes.

Die vorgelegte Arbeit ist gleichzeitig auch Teil eines Netzes von empirischen Studien, die den Entwicklungsprozess der internetbasierten Lernumgebung ChemNet begleiten. Für diesen Entwicklungsprozess lässt sich aus dieser Arbeit ableiten, dass sich beim Lernen in einer so umfangreichen Lernumgebung wie das ChemNet-System eine gewisse Steuerung durch Instruktionen vorteilhaft auswirken dürfte, um Elemente der Zielorientierung zu gewährleisten.

Der Studie nach sollte eine stärkere Vernetzung der Seiten von ChemNet sich positiv auf das Lernen auswirken. Ausgehend von einem spezifischen Informationsbedarf würde eine stärker vernetzte Version einen effektiven Zugang zu den gewünschten Informationen begünstigen.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen in der vorgelegten Arbeit bezog sich auf die Frage der Variation der Textgestaltung. Der lernfördernde Effekt grafisch-visueller Veranschaulichungen sowie der Einbindung von Bild-, Photo- oder Videoelementen ist unumstritten. Jedoch besteht zur Suche nach der sinnvollen Kombination unterschiedlicher Kodierungsformen noch erheblicher Forschungsbedarf, gerade auch für die Darstellung chemischer Sachverhalte. Die im Rahmen dieser Arbeit auch erhobene ablehnende Beurteilung der Studierenden bezüglich des Nutzens

implementierter Grafiken und Abbildungen in ChemNet bestätigt diesen Bedarf offenkundig.

Literatur

- Aebli, H. (1997). *Zwölf Grundformen des Lehrens: Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage* (9. Auflage). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Anderson, J.R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- Asselborn, W., Jäckel, M. & Risch, K.T.H. (1998). *Chemie heute - Sekundarbereich II*. Hannover: Schroedel Verlag GmbH.
- Astleitner, H. & Leutner, D. (1995). Learning strategies for unstructured Hypermedia - a framework for theory, research, and practice. *Journal of Educational Computing Research*, 13 (4), 387-400.
- Atkins, P.W. (1998). *Chemie: einfach alles*. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH.
- Baird, P. & Percival, M. (1989). Glasgow Online: Database development using Apples HyperCard. In McAleese R. (Hrsg.), *Hypertext: Theory into practice* (S. 75-92). Norwood, NJ: Ablex.
- Ballstaedt, S. (1997). *Wissensvermittlung*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Ballstaedt, S.-P., Mandl, H., Schnotz, W. & Tergan, S.-O. (1981). *Texte verstehen - Texte gestalten*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Bär, P. (1997). Multimedia, Hypertext und Hypermedia: Einige Anmerkungen zu den Begriffen und zum pädagogischen Forschungsstand, *Verein "Geschichte und Informatik"* (S. 16-28).
- Battig, W.F. & Montague, W.E. (1969). Category norms for verbal items in 56 categories: A replication and extension of the Connecticut norms. *Journal of Experimental Psychology*, 80 (2), 1-46.
- Beasley, R.E. & Waugh, M.L. (1995). Cognitive mapping architectures and hypermedia disorientation: An empirical study. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 4, 239-255.
- Blumstengel, A. (1998). *Entwicklung hypermedialer Lernsysteme*. Berlin: Wissenschaftlicher Verlag Berlin.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Bransford, J.D. & Franks, J.J. (1971). The abstraction of linguistic ideas. *Cognitive Psychology*, 2, 331-350.
- Brünken, R., Steinbacher, S., Schnotz, W. & Leutner, D. (2001). Mentale Modelle und Effekte der Präsentations- und Abrufkodalität beim Lernen mit Multimedia. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15 (1), 16-27.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2000). "Anschluss statt Ausschluss" IT in der Bildung, <ftp://ftp.bmbf.de/ansch.pdf>
- Burke, P.A., Etnier, J.L. & Sullivan, H.J. (1998). Navigational aids and learner control in hypermedia instructional programs. *Journal of Educational Research*, 18 (2), 183-196.
- Buse, L. (1980). Kritik am Moderatoransatz in der Akquieszenzforschung. *Psychologische Beiträge*, 22, 119-127.
- Bush, V. (1945). As we may think. *Atlantic Monthly*, 176, 101-108.

- Chen, C. & Rada, R. (1996). Interacting with hypertext: A meta-analysis of experimental studies. *Human-Computer Interaction*, 11, 125-126.
- Collins, A.M. & Quillian, M.R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-247.
- Conklin, J. (1987). Hypertext: An introduction and survey. *IEEE Computer*, 20, 17-41.
- Cotton, F.A., Wilkinson, G. & Gaus, P.L. (1990). *Grundlagen der anorganischen Chemie*. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH.
- de Vos, W. (1999). Kontextanalyse der Säuren- und Basenbegriffe. *chimica didactica*, 25 (3), 222-241.
- Dillon, A. & Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control and style. *Review of Educational Research*, 86 (3), 322-349.
- Döring, N. (2000). Lernen und Lehren im Internet. In B. Batinić (Hrsg.), *Internet für Psychologen*. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe-Verlag.
- Eisner, W., Gietz, P., Justus, A., Schierle, W. & Sternberg, M. (1995). *Elemente Chemie*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH.
- Flörke, U. & Wolff, R. (1992). *Chemie für die Sekundarstufe II*. Bonn: Ferd. Dümmlers Verlag.
- Foltz, P.W. (1996). Comprehension, coherence, and strategies in hypertext and linear text. In J.-F. Rouet, J.J. Levonen, A. Dillon & R.J.H. Spiro (Hrsg.), *Hypertext and Cognition* (S. 109-136). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Freisler, S. (1994). Hypertext - Eine Begriffsbestimmung. *Deutsche Sprache* (1), 19-50.
- Freisler, S. (1997). Objekt-orientierte Konzepte für die Hypertext-Produktion. In K. Eickenmeyer (Hrsg.), *Technische Information in elektronischen Medien: Der aktuelle Stand der Diskussion, zusammengestellt anlässlich der Fachtagung T.I.E.M. '97*. Lübeck: Verlag Schmidt-Römhild.
- Freytag, K., Glaum, E. & Thomas, E. (1996). *Grundzüge der Chemie*. Frankfurt a.M.: Verlag Moritz Diesterweg GmbH & Co.
- Gage, N.L. & Berliner, D.C. (1996). *Pädagogische Psychologie* (5., vollständig überarbeitete Auflage). Weinheim: Beltz PVU - Psychologie Verlags Union.
- Gerdes, H. (1997). *Lernen mit Text und Hypertext*. Lengerich: Pabst.
- Gloor, P.A. & Streitz, N.A. (1990). *Hypertext und Hypermedia*. Berlin: Springer.
- Glowalla, U. & Schoop, E. (1992). Entwicklung und Evaluation computerunterstützter Lehrsysteme. In U. Glowalla & E. Schoop (Hrsg.), *Hypertext und Multimedia: Neue Wege in der computerunterstützten Aus- und Weiterbildung* (S. 21-38). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Goldman, S.R. & Saul, E.U. (1990). Flexibility in text processing: A strategy competition model. *Learning and Individual Differences*, 2 (2), 181-219.
- Gordon, S., Gustavel, J., Moore, J. & Hankey, J. (1988). The effects of hypertext on reader knowledge representation, *Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting* (S. 296-300).
- Hammer, H.O. (1995). Geschichtliche Entwicklung eines Begriffspaares. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 44 (1), 36-45.

- Hammwöhner, R. (1993). Kognitive Plausibilität: Vom Netz im (Hyper)Text zum Netz im Kopf. *Nachrichten für Dokumentation*, 44, 23-28.
- Hansford, B.C. & Hattie, J.A. (1982). The relationship between self and achievement/performance measures. *Review of Educational Research*, 52 (1), 123-142.
- Hart, H. (1989). *Organische Chemie: Ein kurzes Lehrbuch*. Weinheim, Basel, Cambridge, New York: VCH.
- Hasebrook, J. (1995a). *Multimedia-Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Hasebrook, J.P. (1995b). Lernen mit Multimedia. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 9(2), 95-103.
- Häusler, K. (1987). Die historische Entwicklung der Säure-Base-Konzepte. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, 35, 2-6.
- Häusler, K. & Pavenzinger, W. (1992). *Säuren und Basen* (Vol. Band 1). Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG.
- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W., & Mayer, J. (1998). *Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Holleman, A.E. (1995). *Lehrbuch der anorganischen Chemie* (101. verb. und stark erw. Aufl.). Berlin, New York: de Gruyter.
- Jander, G. & Jahr, K.F. (1989). *Maßanalyse: Theorie und Praxis der Titration mit chemischen u. physikalischen Indikationen*. Berlin, New York: de Gruyter.
- Jonassen, D.H. (1986). *Hypertext/Hypermedia*. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Jonassen, D.H. (1988). Designing structured hypertext and structuring access to hypertext. *Educational Technology*, 28, 13-16.
- Jonassen, D.H. & Grabinger, R.S. (1990). Problems and Issues in Designing Hypertext/Hypermedia for Learning. In D.H. Jonassen & H. Mandl (Hrsg.), *Designing Hypermedia for Learning* (S. 3-25). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Jung, W. (1974). Über die Reichweite schulischen Lernens: Sachstruktur und Zielsetzung: Manuskript für das 2. IPN-Seminar.
- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning and memory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kintsch, W. (1982). *Gedächtnis und Kognition*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Kintsch, W. & Keenan, J.M. (1973). Reading rate and retention as a function of the number of propositions in base structure of sentences. *Cognitive Psychology*, 5, 257-274.
- Kintsch, W. & van Dijk, T.A. (1978). Toward a Model of Text Comprehension and Production. *Psychological Review*, 85 (5), 363-394.
- Kintsch, W. & Vipond, D. (1979). Reading comprehension and readability in education practice and psychological theory. In L.G. Nilsson (Hrsg.), *Perspective on memory research* (S. 329-365). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Köller, O. & Schiefele, U. (1997). Zielorientierung. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 585-588). Weinheim: PVU.
- Kuhlen, R. (1991). *Hypertext. Ein nicht-lineares Medium zwischen Buch und Wissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Lachman, R. (1989). Comprehension aids for on-line reading of expository text. *Human Factors*, 31, 1-15.
- Lienert, G.A. & Raatz, U. (1994). *Testaufbau und Testanalyse* (5. völlig neubearb. und erw. Auflage). Weinheim: Beltz, PVU.
- Loftus, E.F. & Suppes, P. (1972). Structural variables that determine the speed of retrieving words from long-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 770-777.
- Mandl, H., Ballstaedt, S.-P., Schnotz, W. & Tergan, S.-O. (1980). Lernen mit Texten. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 12, 44-74.
- Mayer, R.E. (1994). Visual aids to knowledge construction: Building mental representations from pictures and words. In W. Schnotz & R.W. Kulhavy (Hrsg.), *Graphics and mental models* (S. 125-138). Amsterdam: Elsevier.
- Mayer, R.E. & Anderson, R.B. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83 (4), 484-490.
- Mayer, R.E. & Gallini, J.K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82 (4), 715-726.
- McCloskey, M. & Zaragoza, M.S. (1985). Misleading postevent information and memory for events: Arguments and evidence against memory impairment hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 1-16.
- McNemar, Q. (1969). *Psychological Statistics*. New York: John Wiley.
- Meyer, B.J.F., Brandt, D.M. & Bluth, G.J. (1980). Use of top-level structure in text: Key for reading comprehension in ninth-grade students. *Reading Research Quarterly*, 16, 72-103.
- Möller, J. & Müller-Kalthoff (2000). Lernen mit Hypertext: Effekte von Navigationshilfen und Vorwissen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14 (2/3), 116-123.
- Mortimer, C.E. (1996). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Moschner, B. (1997). Selbstkonzept. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 460-464). Weinheim: PVU.
- Nick, S., Schanze, S., Lensment, L., Rabe, K., Andresen, J., Demuth, R. & Bensch, W. (2001). ChemNet - Erste Erfahrungen mit einer Chemievorlesung im Internet. *MNU*, 54 (1), 31-37.
- Nielsen, J. (1990). The art of navigation through hypertext. *Communication of the ACM*, 33 (3), 296-310.
- Paechter, M. & Weidemann, B. (1997). Design von multimedialen Lernumgebungen. In G. Gross (Hrsg.), *Studieren und Forschen im Internet*. Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH Europäischer Verlag der Wissenschaften.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Rinehan & Winston.
- Paivio, A. (1986). *Mental representation: A dual-coding approach*. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Papert, S. (1992). *The children's machine: Rethinking school in the age of the computer*. New York: Basic Books.

- Perfetti, C.A. & Roth, S. (1981). Some of the interactive process in reading and their role in reading skill. In A.P. Lesgold, C. (Hrsg.), *Interactive process in reading* (S. 269-297). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pfeifer, P., Häusler, K. & Lutz, B. (1997). *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (Neuaufgabe). München: R. Oldenbourg Verlag GmbH.
- Pfundt, H. (1978). Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge. *MNU*, 28, 157-162.
- Quillian, M.R. (1966). *Semantic memory*. Cambridge, M.A.: Bolt, Beranak and Newman.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B.H. Weidemann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 601-646). Weinheim: Psychologische Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Retterer, O.J. (1991). *Learning from a hypertext: The effect of reading interactive text containing non-sequential, associative linkages on comprehension*: UMI 9200771, Dissertation: University of Toledo.
- Reuber, R.H. (1972). *Chemikon: Chemie in Übersichten*. Frankfurt a.M.: Umschau Verlag.
- Rips, L.J., Shoben, E.J. & Smith, E.E. (1973). Semantic distance and the verification of semantic relations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12, 1-20.
- Rogosa, D.R., Brandt, D. & Zimowski, M. (1982). A growth curve approach to the measurement of change. *Psychological Bulletin*, 90, 726-748.
- Rogosa, D.R. & Willet, J.B. (1983). Demonstrating the reliability of the difference score in the measurement of change. *Journal of Educational Measurement* (20), 335-343.
- Rogosa, D.R. & Willet, J.B. (1985). Understanding correlates of change by modelling individual differences in growth. *Psychometrika*, 50, 203-228.
- Rouet, J.-F. (1990). Interactive text processing by inexperienced (hyper-) readers. In A. Rizk, N. Streitz & J. André (Hrsg.), *Hypertexts: Concepts, systems, and applications* (S. 250-260). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Sacher, W. (1998). Multimedia und Computersimulationen im Unterricht. *MNU*, 51 (8), 452-458.
- Schenkel, P., Tergan, S.-O. & Lottmann, A. (2000). *Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme: Evaluationsmethoden auf dem Prüfstand*. Nürnberg: BW Bildung und Wissen Verlag und Software GmbH.
- Schiefele, U. (1996). *Motivation und Lernen mit Texten*. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe-Verlag.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 3, 217-236.
- Schnotz, W. & Zink, T. (1997). Informationssuche und Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Hypertext. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 11 (2), 95-108.
- Schulmeister, R. (1997). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme* (2. aktualisierte Auflage.). München, Wien: R. Oldenbourg Verlag GmbH.

- Shavelson, R.J., Hubner, J.J. & Stanton, G.C. (1976). Self-concept: Validation of construct interpretations. *Review of Educational Research*, 46 (3), 407-441.
- Simons, P.R.J. (1992). Lernen, selbstständig zu lernen. In M. H. & H.F.H. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien* (S. 251-264). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe.
- Smith, E.E., Shoben, E.J. & Rips, L.J. (1974). Structure and process in semantic memory: A feature model for semantic decision. *Psychology Review*, 81, 214-241.
- Spiro, R.J., Coulson, R.L., Feltovich, P.J. & Anderson, D.K. (1988). Cognitive flexibility theory, 10. *Annual Conference of the Cognitive Science Society* (S. 375-383): Hillsdale N.J., Erlbaum.
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Jacobson, M.L. & Coulson, R.L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology*, 24-33.
- Spiro, R.J. & Jehng, J.C. (1990). Cognitive flexibility and hypertext. Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In D.S. Nix, J.R. (Hrsg.), *Cognition, education, and multimedia. Exploring ideas in high technology* (S. 163-205). Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Stahl, E. & Bromme, R. (1997). Verständnis von Hypertext-Strukturen durch die Konstruktion von Hypertexten? Beobachtungen zum Umgang mit Hypertexten im Unterricht. In D. Janetzko (Hrsg.), *CAW-97: Beiträge zum Workshop 'Cognition & Web'* (S. 158-175). Freiburg i.Br.
- Stork, H. (1988). *Zum Chemieunterricht der Sekundarstufe I*. Kiel: IPN.
- Streitz, N.A. (1990). Hypertext: innovatives Medium zur Kommunikation von Wissen. In P.A.S. Gloor, N.A. (Hrsg.), *Hypertext und Hypermedia* (S. 10-27). Berlin: Springer.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P. & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology*, 119, 176-192.
- ten Voorde, H. (1983a). Das Entstehen des Chemiekontextes im Chemieunterricht. *chimica didactica*, 9, 129-137.
- ten Voorde, H. (1983b). Die Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Ein Problem des Unterrichtens. *chimica didactica*, 9, 138-175.
- ten Voorde, H. (1987). Die Überbrückung der Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Eine Aufgabe des Unterrichts Teil I. *chimica didactica*, 13, 117-148.
- Tergan, S.-O. (1997). Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 122-137). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Tergan, S.-O. (2000). Bildungssoftware im Urteil von Experten. 10 + 1 Leitfragen zur Evaluation. In P. Schenkel, S.-O. Tergan & A. Lottmann (Hrsg.), *Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme: Evaluationsmethoden auf dem Prüfstand* (S. 137-163). Nürnberg: BW Bildung und Wissen Verlag und Software GmbH.
- Unz, D.C. & Hesse, F.W. (1999). The use of hypertext for learning. *Journal of Educational Research*, 20 (3) , 279-295.

- van Dijk, T.A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- van Hiele, P. (1986). *Structure and insight: A theory of mathematics education*. New York: Academic Press, Inc.
- Vogelzang, M. (1988). Zum Verhältnis von Unterrichtskonzeption und den didaktischen Prämissen (chemischer) Begriffsbildung - erläutert am Stoffbegriff. *chimica didactica*, 10, 217-256.
- Waller, R. & Whalley, P. (1987). Graphically organized prose. In E.d. Corte, H. Lodewijks, R. Parmentier & P. Spann (Hrsg.), *Learning and instruction. European research in an international context Vol. 1* (S. 369-381). Oxford: Leuven University Press and Pergamon Press.
- Weidemann, B. (2001). Lernen mit Medien. In A. Krapp & B. Weidemann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 415-465). Weinheim: Psychologische Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Wenzel, E. (1982). Der Unterscheidung von reinen Stoffen und deren wäßrigen Lösungen mehr Beachtung! *Chemie in der Schule*, 8 (9), 370-372.
- Wilkins, A.T. (1971). Conjoint frequency, category size, and categorization time. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 10, 382-385.
- Zimmermann, D.W. & Williams, R.H. (1982). Gain scores in research can be highly reliable. *Journal of Educational Measurement*, 19, 149-154.

ANHANG

Die Frage- und Arbeitsbögen sind dem Format dieser Arbeit angepasst und auf das Wesentliche reduziert. Sie entsprechen inhaltlich jedoch den Originalen. In den Tests sind die Bestantworten mit (x) gekennzeichnet.

A Startfragebogen

Liebe Studentin, lieber Student,

im Rahmen einer Dissertation soll die von Mitarbeitern des IPN erstellte Internet-Vorlesung **ChemNet** bewertet werden. Die Untersuchung hat zum Ziel, die Wirksamkeit und Qualität von **ChemNet** zu überprüfen.

Alle von Ihnen zu diesem Zwecke erhobenen Daten werden absolut vertraulich behandelt.

Wie nehmen Sie an der Untersuchung teil?

- Füllen Sie als erstes diesen Fragebogen vollständig aus. Ihnen steht dafür ausreichend Zeit zur Verfügung.
- Anschließend haben sie die Möglichkeit, für 90 Minuten das Säure-Base-Kapitel von **ChemNet** zum Lernen zu benutzen.
- Zum Abschluss erhalten Sie einem weiteren Fragebogen, dessen Daten der Verbesserung des Lernprogramms dienen sollen.

Damit die Angaben dieses und eines späteren Fragebogens einander zugeordnet werden können, ist es notwendig, eine Kennzeichnung der Fragebögen vorzunehmen. Dazu benötigen wir Angaben die einerseits individuell sind, andererseits keine Rückschlüsse auf Ihre Person erlauben, um die Vertraulichkeit zu wahren. Tragen Sie deshalb bitte folgende Angaben ein:

Erster Buchstabe des ersten Vornamens Ihrer Mutter	ö
Monatstag der Geburt ihrer Mutter (Bsp.: 4. August 1956 → 04)	ö ö
Erster Buchstabe des ersten Vornamens Ihres Vaters	ö
Monatstag der Geburt ihres Vaters	ö ö

Wie alt sind Sie? _____ Jahre

Geschlecht? männlich weiblich

Welches Hauptfach studieren Sie?

Welche Nebenfächer studieren Sie?

In welchem Semester studieren Sie Ihr Hauptfach? .Semester

Wie oft haben Sie die Internet-Vorlesung ChemNet bisher genutzt?

- noch nie
 - einmalig
 - selten
 - mehrere Male im Monat
 - mehrere Male in der Woche
 - täglich
-

Wie häufig haben Sie bisher das Internet genutzt?

- noch nie
 - einmalig
 - selten
 - mehrere Male im Monat
 - mehrere Male in der Woche
 - täglich
-

Wo nutzen Sie das Internet?

- gar nicht
 - zu Hause
 - in der Universität
 - bei Bekannten/Verwandten
 - sonstiges (wenn möglich; bitte angeben): _____
-

Haben Sie eine Chemie-Vorlesung schon in einem anderen Semester besucht?

- nein
 - ja, einmal
 - ja, zweimal
 - ja, mehr als zweimal
-

Bis zu welchem Schuljahr hatten Sie Chemie-Unterricht?

- bis einschließlich 10. Klasse
 - bis einschließlich 11. Klasse
 - bis einschließlich 12. Jahrgang
 - bis einschließlich 13. Jahrgang
-

Für den Fall eines Oberstufen-Unterrichts: Hatten Sie

Grundkurs Chemie oder
Leistungskurs Chemie?

Hatten Sie über die Schulbildung hinaus während einer Berufsausbildung Chemie-Unterricht?

nein

ja, in folgender Ausbildung: _____ .

Nennen Sie ihre Abiturnote (Note 1-6): __ , __

Es folgen nun einige Fragen zum Thema Säuren und Basen. Kreuzen Sie bitte zu jeder Aufgabe die Alternative an, die den Satz nach ihrer Meinung richtig ergänzt. Entscheiden Sie sich immer nur für *eine* Antwortalternative.

!!! Nur eine Antwortmöglichkeit ist richtig !!!

Eine Säure ist

ein Elektronenpaarakzeptor.

eine Lösung in der sich viele H_3O^+ -Ionen befinden.

ein Stoff, dessen wässrige Lösung Indikatoren charakteristisch färbt. (x)

ein Protonendonator.

eine Lösung, dessen pH-Wert niedriger als 7 ist.

Welcher der folgenden Stoffe ist eine Säure?

Chlorwasserstoff (x)

Natriumchlorid

Salzsäure

Urin

Wasser

Welcher der folgenden Stoffe ist eine Base?

Alkohol

Natronlauge

Natriumhydroxid (x)

OH^-

Natriumchlorid

Eine Brønsted-Base ist

ein Elektronenpaardonator.

ein Stoff, der Protonen aufnimmt.

eine schwache Base.

- ein Protonenakzeptor. (x)
 - ein Elektronendonator.
-

Welches Teilchen kann gegenüber Wassermolekülen als Brønsted-Säure wirken?

- NH₃
 - Cl
 - Na
 - NH₄⁺ (x)
 - O₂
-

Ein Protonenakzeptor ist

- eine Base.
 - eine Brønsted-Base. (x)
 - ein Stoff, der Elektronen aufnimmt.
 - eine Säure.
 - ein Stoff, der Protonen aufnimmt.
-

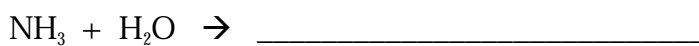
Ein saures Oxid ist

- ein Oxid, das in einer Säure ist.
 - eine Säure, die mit Wasser reagiert hat.
 - ein positiv geladenes Sauerstoff-Ion.
 - ein in Wasser Protonen abgebendes Oxid.
 - ein Oxid, das mit Wasser eine saure Lösung bildet. (x)
-

Eine alkalische Lösung ist

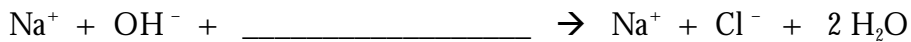
- eine wässrige Lösung einer Base. (x)
 - eine Lösung mit einem pH-Wert kleiner als 7.
 - eine Base.
 - eine Lösung mit einem Überschuss an Elektronen.
 - eine in Wasser gelöste Säure.
-

Welches der folgenden Antworten ergänzt das Reaktionsschema



- NH₄⁺ + OH⁻ (x)
- NH₃O + H₂
- NOH₅
- NH₂⁻ + H₃O⁺
- NOH + 2 H₂

Welches der folgenden Antworten ergänzt das Reaktionsschema



2 HCl

ClH_3O^+

H_3Cl

$\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ (x)

OH_2Cl

Eine starke Säure ist

eine sehr konzentrierte Säure.

eine Säure, die in wässriger Lösung nahezu vollständig dissoziiert. (x)

eine Säure mit einem sehr niedrigen pH-Wert.

eine Säure, die viele Protonen abgeben kann.

eine Säure mit einem pH-Wert kleiner als 3.

Der pH-Wert ist

ein Wert zur Feststellung des Wasserstoff-Gehaltes einer wässrigen Lösung.

der negative dekadische Logarithmus des pK_s -Wertes.

die Konzentration der Hydroxonium-Ionen in einer wässrigen Lösung.

der Härtegrad einer Flüssigkeit oder einer wässrigen Lösung.

der negative dekadische Logarithmus des Wertes der Hydroxoniumionen-Konzentration. (x)

Was kennzeichnet ein pH-Wert, der kleiner ist als 7?

eine Säure

eine saure Lösung (x)

eine Base

ein basisches Teilchen

viele Hydroxid-Ionen

Eine Neutralisation ist

die Herstellung eines gleichen Verhältnisses von Säure und Base.

eine Reaktion einer sauren und einer alkalischen Lösung zu einem Salz und Wasser. (x)

eine Lösung, in der weder Kationen noch Anionen vorliegen.

eine Reaktion, bei der sich Ladungen von Säuren und Basen aufheben.

eine Redoxreaktion

Eine Lewis-Säure ist

- ein Säurekomplex.
 - ein Protonendonator.
 - eine chemische Verbindung, die mit H_3O^+ -Ionen reagiert.
 - ein Elektronenpaarakzeptor. (x)
 - ein Protonenakzeptor.
-

Es folgen nun einige Fragen über Ihre Kenntnisse im Umgang mit dem Internet.

Bitte kreuzen Sie jeweils nur eine Antwort an. Lassen Sie keine Frage aus.

Was ist ein „Link“?

- Ein spezieller Hinweis zur Benutzung der aufgerufenen Seite.
 - Eine Direktleitung zu einem anderen Computer.
 - Ein Verbindungselement zwischen Hypertext-Seiten. (x)
 - Ein Virus, der über das Internet auf Computer übertragen werden kann.
-

Was sind „Meta-Suchsysteme“?

- Suchsysteme, die bei einer Stichwortsuche gleichzeitig mehrere Suchmaschinen abfragen. (x)
 - Suchsysteme, denen eine elektronische Metabasis zugrunde liegt.
 - Suchsysteme, die nicht nur Inhalte aus dem WWW, sondern auch aus den Newsgroups auswerten.
 - Suchsysteme, die zu einem Personennamen die E-Mail-Adresse ermitteln.
-

Was ist ein „Chat“?

- Eine elektronische Live-Unterhaltung via Tastatur. (x)
 - Ein Beitrag in einer Online-Diskussionsgruppe.
 - Ein Verstoß gegen die Internet-Benutzerregeln.
 - Eine Internet-Umfrage zu Online-Nutzungsgewohnheiten.
-

Was versteht man unter dem „Download“ einer Software?

- Das Herunterfahren einer Software, um den Rechner auszuschalten.
 - Das Überspielen einer über das Internet angebotenen Software auf dem eigenen Rechner. (x)
 - Das Laden einer Software in den Arbeitsspeicher.
 - Das Abspielen einer Internet-Software im Hintergrund, ohne also den Internet-Zugang zu stoppen.
-

Was ist ein „Broken Link“?

- Ein Programmierfehler in einer HTML-Datei.
 - Der Abbruch eines Downloads.
 - Ein Hyperlink, der auf eine Seite verweist, die nicht existiert. (x)
 - Die Unterbrechung einer Internet-Sitzung durch Störimpulse in der Telefonleitung.
-

Wie nennt man einen Internet-Rechner, der mehrere Dienste zur Verfügung stellt (z.B. WWW und FTP)?

- Router
- Host (x)
- Hub
- Client

Bitte beantworten Sie auch die folgenden Fragen!

	trifft nicht zu	trifft etwas zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1. Obwohl ich mir bestimmt Mühe gebe, fällt mir Chemie schwer.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Für Chemie bin ich einfach nicht so begabt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Wenn ich in Chemie etwas nicht verstanden habe, denke ich, dass ich es wohl nie verstehen werde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Chemie liegt mir einfach nicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Chemie würde ich lieber machen, wenn das Fach nur nicht so schwer wäre.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

B Vorstudie

Liebe Studentin, lieber Student,

Im Rahmen einer Dissertation soll die von Mitarbeitern des IPN erstellte Internet-Vorlesung **ChemNet** bewertet werden. Diese Bewertung hat nicht zum Ziel, Sie in ihrer Leistung zu beurteilen oder zu kontrollieren. Es ist jedoch eine Vorstudie erforderlich, für die ich Sie um Ihre Mitarbeit bitten möchte. Im Folgenden werden Fragen zur bisherigen beruflichen Ausbildung und Fachfragen aus dem Bereich *Säuren und Basen* gestellt. Sie können sich sicher sein, dass alle Daten, die erfasst werden, absolut vertraulich behandelt werden.

Für den Fall, dass Sie bei der Studie erneut teilnehmen, ist es hilfreich, wenn Fragebögen derselben Person identifiziert werden können. Um die Vertraulichkeit zu wahren, tragen Sie bitte folgende Daten korrekt ein:

Erster Buchstabe des ersten Vornamens Ihrer Mutter	ö
Monatstag der Geburt ihrer Mutter (Bsp.: 4. August 1956 → 04)	ö ö
Erster Buchstabe des ersten Vornamens Ihres Vaters	ö
Monatstag der Geburt ihres Vaters	ö ö

Welches Hauptfach studieren Sie?

Welche Nebenfächer studieren Sie?

In welchem Semester studieren Sie Ihr Hauptfach? öö.Semester

Bis zu welchem Schuljahr hatten Sie Chemie-Unterricht?

bis einschließlich 10. Klasse

bis einschließlich 11. Klasse

bis einschließlich 12. Jahrgang

bis einschließlich 13. Jahrgang

Für den Fall eines Oberstufen-Unterrichtes: Hatten Sie

Grundkurs Chemie oder

Leistungskurs Chemie?

Hatten Sie über die Schulbildung hinaus während einer Ausbildung Chemie-Unterricht?

nein

ja, in folgender Ausbildung: _____ .

Es folgen nun ein paar Fragen zum Thema Säuren und Basen. Wir sind dabei weniger an einer genauen Definition als an einer Beschreibung der Konzepte und Vorstellungen interessiert, die Sie mit der Frage in Verbindung bringen. Wir möchten also nicht nur erfahren, was die in der Frage angesprochene Sache ist, sondern auch, was sie Ihrer Meinung nach sein könnte. Mit diesem Vorgehen wollen wir nicht nur richtige, sondern auch falsche Vorstellungen erfassen, um daran anknüpfend Routinen zu entwickeln, mit denen solche falschen Vorstellungen ausgeräumt oder überwunden werden können.

Schreiben Sie bitte zu jeder Frage eine Antwort auf. Wenn Sie die richtige Lösung nicht wissen, versuchen Sie einfach zu beschreiben, was eine Lösung sein könnte. Wenn Ihnen weitere Lösungsvorschläge (also auch falsche) einfallen, können Sie diese hinzufügen.

1. Eine Säure ist
2. Eine Base ist
3. Nennen Sie Beispiele für Säuren.
4. Nennen Sie Beispiele für Basen.
5. Eine Brønsted-Säure ist
6. Eine Brønsted-Base ist
7. Benennen Sie die folgenden Teilchen:
 H_3O^+ OH^-
8. Nennen Sie zwei Moleküle, die gegenüber Wasser-Molekülen als Brønsted-Säuren wirken können.
9. Ein Protonenakzeptor ist
10. Ein saures Oxid ist
11. Eine alkalische Lösung ist
12. Ergänzen Sie die folgende Reaktionsschemata
 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \underline{\hspace{4cm}}$
 $\text{Na}^+ + \text{OH}^- + \underline{\hspace{4cm}} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \underline{\hspace{1cm}} \text{H}_2\text{O}$
13. Eine starke Säure ist
14. Der pH-Wert ist
15. Was kennzeichnet ein pH-Wert, der kleiner ist als 7?
16. Eine Neutralisation ist
17. Eine Lewis-Säure ist

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit

C Arbeitsanweisung: Vorgegebene Zielorientierung

Liebe Studentin, lieber Student,

mit dem Säure-Base-Kapitel der Internetvorlesung ChemNet sollen Sie sich in den nächsten 90 min. Wissen über zentrale Begriffe und Definitionen zu Säuren und Basen aneignen.

Damit Sie eine Vorstellung davon haben, auf welche fachlichen Ausdrücke es uns besonders ankommt, haben wir für Sie eine Liste zusammengestellt.

Lernliste

Die verschiedenen Säure-Base-Begriffe
saure und alkalische Lösung
Neutralisation
Säure- und Baseanhydride
Säurestärke
Das Ionenprodukt des Wassers
Der pH-Wert

Am Ende der Sitzung sollen sie

1. Beziehungen und Unterschiede der zentralen Begriffe zueinander erkennen können (z.B. das Verhältnis von Säure zu saurer Lösung oder von Säure zu Base).
2. die Begriffe in das Thema *Säuren und Basen* einordnen können.

Mit dem abschließenden Mehrfachantworttest wollen wir prüfen, ob Sie mithilfe der Internetvorlesung ihren Wissensstand zu Säuren und Basen verbessern konnten.

Haben Sie noch Fragen? Ansonsten wünschen wir Ihnen viel Spaß und viel Erfolg!

D Arbeitsanweisung: Selbst gewählte Zielorientierung

Liebe Studentin, lieber Student,

mit dem Säure-Base-Kapitel der Internetvorlesung ChemNet sollen Sie sich in den nächsten 90 min. Wissen über zentrale Begriffe und Definitionen zu Säuren und Basen aneignen.

Am Ende der Sitzung sollen sie

1. Beziehungen und Unterschiede der zentralen Begriffe zueinander erkennen können (z.B. das Verhältnis von Säure zu saurer Lösung oder von Säure zu Base).
2. die Begriffe in das Thema *Säuren und Basen* einordnen können.

Mit dem abschließenden Mehrfachantworttest wollen wir prüfen, ob Sie mithilfe der Internetvorlesung ihren Wissensstand zu Säuren und Basen verbessern konnten.

weitere Aufgabe

Überlegen und notieren Sie sich bitte zwei Fragen zu dem Thema *Säuren und Basen*. Äußern Sie die Fragen als persönliche Anliegen, für die Sie sich in den nächsten 90 min. Klärung erhoffen. Lassen Sie die Sätze beginnen mit Formulierungen wie:

Ich will herausfinden, ...

Mich interessiert, ...

- 1.
- 2.

Haben Sie noch Fragen? Ansonsten wünschen wir Ihnen viel Spaß und viel Erfolg!

E Abschließender Fragebogen

Bitte tragen Sie als Erstes Ihre Kennnummer ein:

Erster Buchstabe des ersten Vornamens Ihrer Mutter	ö
Monatstag der Geburt ihrer Mutter (Bsp.: 4. August 1956 → 04)	ö ö
Erster Buchstabe des ersten Vornamens Ihres Vaters	ö
Monatstag der Geburt ihres Vaters	ö ö

Es folgen einige Fragen zum Thema Säuren und Basen. Kreuzen Sie bitte zu jeder Aufgabe die Alternative an, die den Satz nach ihrer Meinung richtig ergänzt. Kreuzen Sie jeweils bitte *nur eine Alternative* an. Nur eine Antwortmöglichkeit ist richtig.

HIER FOLGEN DIE FRAGEN 1-15 AUS DEM STARTFRAGEBOGEN

Die nächsten Aufgaben umfassen jeweils mehrere Bereiche des Themas *Säuren und Basen*.

Mehrere Antworten können daher richtig sein!

Ordnen Sie dem folgenden Satz richtige Ergänzungen zu:

Natronlauge ist Natriumhydroxid.

- eine wässrige Lösung von (x)
- die Base von
- nicht identisch mit (x)
- die Brønsted-Säure von
- eine stärkere Base als
- eine alkalische Lösung von (x)
- eine andere Bezeichnung für
- die Brønsted-Base von
- das Gegenteil von
- das Anhydrid von
- Keine Antwort ist richtig.

Ein Reinigungsmilch-Hersteller wirbt für sein Produkt wie folgt:

REAKTION REINIGUNGSMILCH *mit Frischpflanzen-Extrakt erhält die natürliche Hautfeuchtigkeit. Die Geschmeidigkeit und Elastizität der Haut werden verbessert. pH-hautneutral, pH-Wert 5,5.*

Kreuzen Sie richtige Aussagen an

- Die Aussage ist im chemischen Sinne korrekt, da der pH-Wert der Haut einem neutralen pH-Wert entspricht.

Die Aussage *pH-hautneutral* deutet an, dass der pH-Wert der Haut nicht dem pH-Wert einer chemisch neutralen Lösung entspricht. (x)

Die Aussage ist falsch, da der pH-Wert 5,5 nicht dem einer chemisch neutralen Lösung entspricht.

Der pH-Wert der Haut muss der Werbung nach 7 betragen.

Die Aussage ist korrekt, da der pH-Wert einer neutralen Lösung ungefähr bei 5,5 liegt.

Die Aussage ist im chemischen Sinne korrekt, da der pH-Wert der Haut nicht mit dem pH-Wert einer chemisch neutralen Lösung gleichgesetzt wird. (x)

Der pH-Wert der Reinigungsmilch liegt bei 5,5. (x)

Der pH-Wert der Haut liegt bei 5,5. (x)

Die Reinigungsmilch ist eine saure Lösung. (x)

Die Reinigungsmilch ist im chemischen Sinne neutral.

Die Reinigungsmilch ist eine alkalische Lösung.

Der pH-Wert einer wässrigen Lösung ist kleiner als 7. Was für ein Stoff *könnte* gelöst worden sein?

Eine Säure. (x)

Ein Salz aus einer schwachen Säure und einer starken Base.

Ein Säureanhydrid. (x)

Ein alkalischer Puffer.

Ammoniumchlorid (NH_4Cl). (x)

Ein Salz aus einer starken Säure und einer schwachen Base. (x)

Bariumnitrat ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$).

Ein Baseanhydrid.

Eine Base.

Ein saurer Puffer. (x)

Keine der Angaben ist richtig.

Für die Lerngruppen mit vorgegebener Zielorientierung:

Versuchen Sie sich nun, an die fachlichen Ausdrücke von der Arbeitsanweisung zu erinnern, die wir Ihnen zu Beginn der Sitzung als Liste gegeben haben. Notieren Sie diese bitte hier:

Für die Lerngruppen mit selbst gewählter Zielorientierung:

Notieren Sie nun bitte noch einmal mit eigenen Worten die Fragen, die Sie zu Beginn dieser Sitzung als persönliches Anliegen formuliert haben:

Zu guter letzt möchten wir erfahren, wie Ihnen das Arbeiten mit der Internetvorlesung „ChemNet“ gefallen hat. Für jede der kommenden Aussagen ist dazu ein vierstufiges Antwortformat vorgegeben. Bitte wählen Sie eine der Antwortmöglichkeiten zwischen „trifft nicht zu“ und „trifft völlig zu“ aus.

Und wieder gilt: Kreuzen Sie denjenigen Punkt an, der Ihre Meinung am Besten widerspiegelt. Entscheiden Sie sich immer nur für eine Antwortalternative, auch wenn Sie

einmal zwischen Zweien hin und her schwanken. Ihr spontaner, erster Gedanke ist es, der uns interessiert.

	trifft nicht zu	trifft etwas zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1. Das Lernen mit dem Säure-Base-Kapitel macht mir Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Ich empfand es bei ChemNet als angenehm, selbst bestimmen zu können, was ich lesen/lernen will.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Ich schätze meinen Lernerfolg mit dem Säure-Base-Kapitel als hoch ein.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Auf die Vorkenntnisse der Benutzer ist für mich ausreichend eingegangen worden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Es war für mich sehr wichtig, die Inhalte des Säure-Base-Kapitels auch wirklich zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Das Säure-Base-Kapitel war für mich inhaltlich zu schwierig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Das Säure-Base-Kapitel enthält genügend Beispiele.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Im Säure-Base-Kapitel werden alle unbekanntes Begriffe erklärt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Die Inhalte des Säure-Base-Kapitels werden zu knapp präsentiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Die Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel haben mir weitergeholfen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Es sind zu wenig Grafiken und Abbildungen im Säure-Base-Kapitel.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Die Texte im Säure-Base-Kapitel sind schwer zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Die Bildschirmaufteilung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Die Strukturierung im Säure-Base-Kapitel ist übersichtlich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. Die Farbgestaltung im Säure-Base-Kapitel empfinde ich als angenehm.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Die Bedienung des Säure-Base-Kapitels ist einfach.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

F Ablauf einer Lerneinheit in der Laborstudie

- a) Vorbereitung: Jeder Computer bekommt eine eindeutige Nummer (von 1 bis 10) die zur Identifizierung der Nutzerprotokolle dienen soll. Die Computer werden gestartet.
- b) Die Teilnehmer werden begrüßt und erhalten Instruktion über den Verlauf der Untersuchung:

Instruktion: Wir möchten Sie zu dieser Untersuchung begrüßen und bedanken uns für ihr Erscheinen. Für diese Untersuchung sind zwei Stunden und fünfzehn Minuten, maximal zweieinhalb Stunden Zeit vorgesehen. Sie dürfen jederzeit den Raum verlassen um die Toilette zu benutzen. Wir möchten Sie jedoch bitten, nicht mehr Zeit als nötig dafür aufzuwenden.

Die Untersuchung besteht aus drei Teilen: Nach dieser Instruktion erhalten Sie einen Fragebogen. Er dient dazu, die individuellen Personenmerkmale zu erfassen, die wir für die Auswertung benötigen. Damit wir die Daten des Fragebogens mit den anderen Daten, die während dieser Untersuchung erhoben werden, in Verbindung bringen können, fordern wir Sie im Fragebogen dazu auf, einen individuellen Code anzugeben. Seien Sie sich versichert, dass alle Daten anonym erhoben und vertraulich behandelt werden. Auf der ersten Seite des Fragebogens stehen genaue Instruktionen zum Ausfüllen. Bitte beachten Sie, wann eine Frage mit einem Kreuz zu beantworten ist und wann mehr als ein Kreuz erlaubt ist. Sie sollten nicht mehr als zwanzig Minuten für das Ausfüllen benötigen. Wenn Sie Schwierigkeiten mit der Beantwortung einer Frage haben, dann grübeln Sie nicht zu lange. Entscheiden Sie sich spontan. Häufig ist der erste Gedanke derjenige, der Ihrer Meinung am ehesten entspricht.

Anschließend haben Sie neunzig Minuten Zeit, sich mithilfe eines Kapitels der Internet-Vorlesung ChemNet über das Thema *Säuren und Basen* zu informieren. Zum Abschluss bekommen Sie dann noch einmal einen Fragebogen, dessen Bearbeitung nicht länger als fünfzehn Minuten Zeit beanspruchen sollte. Wir wünschen Ihnen viel Spaß.

- c) Der Startfragebogen wird ausgeteilt, von den Teilnehmern ausgefüllt und anschließend eingesammelt.
- d) ChemNet wird gestartet. Dafür werden die individuellen Nutzernamen mitgeteilt³⁰.
- e) Die Arbeitsanweisungen und das Notizpapier werden ausgeteilt.

Instruktion: Bitte lesen Sie sich die Arbeitsanweisung genau durch. Sie haben ab jetzt 90 Minuten Zeit, ChemNet zu nutzen. Für eigene Notizen können Sie das zusätzlich ausgeteilte Papier verwenden.

- f) Nach 90 Minuten werden die Arbeitsanweisungen eingesammelt und der Verlauf bzw. die History von den Teilnehmern aus dem Protokoll des Browsers gelöscht, damit die nachfolgenden Probanden durch die angezeigten benutzten Links nicht beeinflusst werden können. Danach wird der Computer heruntergefahren und ausgeschaltet.
- g) Abschließend werden die Teilnehmer aufgefordert, ihre Notizen beiseite zu legen. Der Endfragebogen wird ausgeteilt, von den Teilnehmern ausgefüllt und eingesammelt.

³⁰ Der Nutzername enthält die PC-Nummer und das Datum des jeweiligen Untersuchungstages. Dadurch sind die Nutzerprotokolle, die von einem Programm auf dem ChemNet-Server aufgezeichnet werden, auf die Teilnehmer zurückzuführen.

Instruktion: Zum Abschluss möchten wir Sie bitten, einen weiteren Fragebogen auszufüllen. Legen Sie vorher die Notizen beiseite. Sie dürfen sie mit nach Hause nehmen; stecken Sie die Notizen also am Besten in ihre Tasche.

Bitte achten Sie darauf, dass sie in den Fragebogen den gleichen Code wie beim ersten Fragebogen eintragen. Lesen Sie bitte wieder genau die Instruktionen zu den Fragekomplexen durch. Es gibt nun einen Komplex mit Fragen, bei denen Sie mehr als eine Antwort ankreuzen können.

G Abschließender Fragebogen (Feldstudie)

Der erste Teil des Fragebogens war mit dem abschließenden Fragebogen der Laborstudie identisch. Die Bewertungsfragen wurden um Fragen zu den beiden Strukturen ergänzt:

Das Säure- Base-Kapitel der Vorlesung wird in *zwei unterschiedlichen Strukturen* angeboten. Sie hatten bei jedem Zugang die Entscheidung zu treffen, welche der beiden Strukturen – linear oder themenbezogen/vernetzt – sie nutzen möchten. Mit den folgenden Fragen möchten wir von Ihnen erfahren, ob Sie diese in ihrer Funktion und ihrem Nutzen als unterschiedlich empfunden haben. Kreuzen Sie bitte die nächsten Fragen zu beiden Strukturen an, sofern Sie beide ausreichend genutzt haben (ausreichend bedeutet in diesem Falle, dass Sie genügend von der Struktur gesehen haben, um sich ein Urteil darüber bilden zu können).

	trifft nicht zu	trifft etwas zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
Fragen zur linearen Struktur				
Ich habe die lineare Struktur häufig genutzt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mit dieser Struktur bin ich gut zurecht gekommen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte Schwierigkeiten, die für mich erforderlichen Informationen in dieser Struktur zu finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte Schwierigkeiten, die Inhalte dieser Struktur zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In dieser Struktur hatte ich Orientierungsprobleme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	trifft nicht zu	trifft etwas zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
Fragen zur themenbezogenen, vernetzten Struktur				
Ich habe die themenbezogene Struktur oft genutzt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mit dieser Struktur bin ich gut zurecht gekommen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte Schwierigkeiten, die für mich erforderlichen Informationen in dieser Struktur zu finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte Schwierigkeiten, die Inhalte dieser Struktur zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In dieser Struktur hatte ich Orientierungsprobleme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>