

Lernen mit Hypertexten im chemischen Kontext

Untersuchung von linearen und
nicht-linearen Lernumgebungen
zum Thema Seife

DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrads
der Naturwissenschaften
- Dr. rer. nat. -

Vorgelegt dem Fachbereich Chemie
der Universität Essen

von
Thomas Kummer
aus Gelsenkirchen

Essen 2000

1. Gutachterin: **Prof. Dr. Elke Sumfleth**
2. Gutachterin: **Priv.-Doz. Dr. Karin Stachelscheid**

Tag der Disputation:

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von September 1997 bis Dezember 2000 am Institut für Didaktik der Chemie im Fachbereich Chemie der Universität Essen durchgeführt.

Frau Professor Elke Sumfleth danke ich für die umfangreiche und intensive Unterstützung meiner Arbeit und die Bereitstellung ausgezeichneter Arbeitsbedingungen.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern danke ich für die zahlreichen konstruktiven Anregungen und vor allen Dingen für die sehr gute Arbeitsatmosphäre.

Besonderer Dank gilt den an der Untersuchung beteiligten Lehrern, Schülerinnen und Schülern, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Frau Priv.-Doz. Karin Stachelscheid danke ich für die Erstellung des zweiten Gutachtens und ihre Diskussions- und Hilfsbereitschaft.

Herrn Prof. Dr. Gerhard Peschel danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Charakteristika von Hypertextsystemen	3
2.1 Aufbau von Hypertextsystemen	4
2.1.1 Knoten	4
2.1.2 Links	4
2.2 Organisationsstruktur von Hypertextsystemen	6
2.3 Navigation und Orientierung in Hypertextsystemen	8
2.3.1 Navigationsprobleme	8
2.3.2 Navigationshilfen	10
2.3.3 Untersuchungen zur Navigation und zu Navigationshilfen	11
3. Lernen mit Hypertextsystemen	13
3.1 Mögliche Vorteile von Hypertextsystemen für den Lernerfolg	14
3.2 Mögliche Nachteile von Hypertextsystemen für den Lernerfolg	16
3.3 Lernervoraussetzungen für den effektiven Umgang mit Hypertextsystemen	16
3.4 Lernen mit linearen und nicht-linearen Lernumgebungen	18
3.5 Der Einfluss des Vorwissens auf den Lernerfolg mit linearen und nicht-linearen Lernumgebungen	20
4. Konzeption von Hypertext-Lernumgebungen	23
5. Einsatz von Hypertext-Lernumgebungen im Schulunterricht	27
6. Zielsetzung und Fragestellungen	29
7. Pilotstudie	31
7.1 Beschreibung der linearen und nicht-linearen Lernumgebungen zum Thema „ <i>Seifen</i> “	31
7.1.1 Gemeinsamkeiten der beiden Lernumgebungen	31
7.1.2 Unterschiede der beiden Lernumgebungen	35
7.1.3 Zur Konzeption und zum Design der Lernumgebungen	38
7.2 Charakterisierung der beteiligten Personen	39
7.3 Test- und Untersuchungsmethoden	39
7.3.1 Fragebogen zu Computerkenntnissen und Einstellungen	39
7.3.2 Own Word Mapping, Integrationstest und Verknüpfungstest	40
7.3.3 Leistungstest	44
7.3.4 Methode des Lauten Denkens	45

7.3.5 Digitale Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs	45
7.3.6 Interview	46
7.4 Untersuchungsdesign	47
7.5 Auswertung und Ergebnisse	49
7.5.1 Fragebogen zu Computervorkenntnissen und Einstellungen	49
7.5.2 Own Word Mapping, Integrationstest und Verknüpfungstest	50
7.5.3 Leistungstest	62
7.5.4 Methode des Lauten Denkens	65
7.5.5 Digitale Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs	67
7.5.6 Interview	70
7.5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse der Pilotstudie	70
8. Hauptstudie	72
8.1 Untersuchungsansatz und Untersuchungsdesign	72
8.2 Test- und Untersuchungsmethoden	74
8.2.1 Fragebogen zu Computerkenntnissen	74
8.2.2 Fragebogen zu Computerkenntnissen und Einstellungen	74
8.2.3 Own Word Mapping und Verknüpfungstest	75
8.2.4 Leistungstest	75
8.2.5 Digitale Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs	76
8.3 Beschreibung der linearen und nicht-linearen Lernumgebung zum Thema „Wirkungsweise von Seifen“	77
8.3.1 Gemeinsamkeiten der Lernumgebungen der Hauptstudie	77
8.3.2 Unterschiede der Lernumgebungen der Hauptstudie	78
8.4 Auswertung und Ergebnisse	84
8.4.1 Fragebogen zu Computervorkenntnissen und Einstellungen	84
8.4.2 Leistungstest	87
8.4.3 Own Word Mapping und Verknüpfungstest	97
8.4.4 Digitale Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs	111
9. Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick	116
10. Literaturverzeichnis	120
11. Abbildungsverzeichnis	129
12. Tabellenverzeichnis	132
13. Anhang	133

1. Einleitung

Der rasante Fortschritt der Informations- und Kommunikationstechnologien hat enormen Einfluss auf die Weiterentwicklung des Bildungswesens und damit auch auf die Qualität des Lernens. Bereits jetzt haben Begriffe wie „Just in Time Learning“, „Just in Place Training“, „Open distance Learning“ und „Tele-Learning“ Hochkonjunktur; virtuelle Universitäten erfreuen sich wachsender Beliebtheit, und es ist nur eine Frage der Zeit, bis die erste virtuelle Schule ins Leben gerufen wird. Interaktive multimediale Software und das Internet zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen werden in den kommenden Jahren und Jahrzehnten einen immer höheren Stellenwert im Schulunterricht einnehmen. Viel zu selten wird evaluiert und diskutiert, welche Lerneffekte von diesen Medien ausgehen, in welcher Form sie im Unterricht eingesetzt werden können, welche Vor- und Nachteile ihr Einsatz im Unterricht mit sich bringen kann, wie diese Medien zu konzipieren sind, damit sie möglichst erfolgreich als Lehr- und Lernmedien eingesetzt werden können, welche Voraussetzungen auf der Seite des Lerners geschaffen werden müssen, damit dieser erfolgreich mit diesen Medien lernen kann und welche Voraussetzungen auf der Seite der Lehrerinnen und Lehrer geschaffen werden müssen, damit diese kompetent genug sind, die vielfach geforderte Rolle der Moderatorin bzw. des Moderators von Unterrichtsprozessen zu übernehmen.

Interaktive multimediale Software und die meisten Internetangebote sind dadurch gekennzeichnet, dass die Informationen vernetzt dargestellt werden, d.h., dass Medium erlaubt nicht nur einen Weg die Informationen zu erarbeiten (lineare, systemgesteuerte Informationserschließung), sondern weist zumeist eine Vielzahl von Startpunkten für die Informationserschließung auf und erlaubt von diesen Punkten wiederum den Zugriff auf eine Vielzahl weiterer Punkte (nicht-lineare, lernergesteuerte Informationserschließung).

Von vielen Autorinnen und Autoren wird ein ausgeprägtes Vorwissen als Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von nicht-linearen Lernumgebungen angesehen (JONASSEN & GRABINGER 1990; MEYERHOFF 1993; JACOBSON & SPIRO 1994; GERDES 1997). Entscheidendes Argument für diese Auffassung ist, dass nur Lernende mit einem hohen inhaltlichen Vorwissen sinnvoll entscheiden können, wann sie welche Inhalte aufrufen, oder bewusst nicht aufrufen. Wenn nur Lerner mit hohem Vorwissen von nicht-linearen Lernumgebungen profitieren, ist der Einsatz derartiger Lernumgebungen im Rahmen des Schulunterrichts stark eingeschränkt. Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler mit niedrigem themenspezifischen Vorwissen müssten dann linear konzipiert werden, während Schülerinnen und Schüler mit hohem Vorwissen für ein effektives Lernen nicht-lineare Lernumgebungen benötigen. Ein gravierendes Problem für die Lehrperson ist es, einzuschätzen, wann Schülerinnen und Schüler noch über ein niedriges Vorwissen und wann bereits über ein mittleres oder hohes Vorwissen verfügen. Eine Gegenposition zu der Annahme, dass nicht-lineare Lernumgebungen generell nur für Lerner höheren Vorwissens geeignet sind, ist die, dass nicht-lineare Lernumgebungen so

konzipiert und in den Unterricht eingebracht werden können, dass Schülerinnen und Schüler unabhängig von ihrem Vorwissen von ihnen profitieren. In der vorliegenden Arbeit wird in einem praktisch orientierten Teil (Kapitel 6 bis 9) der Umgang von Lernenden mit linearen und nicht-linearen Lernumgebungen analysiert. Zuvor werden in einem theoretischen Teil (Kapitel 2 bis 5) u.a. die Charakteristika von Hypertextsystemen und mögliche Vor- und Nachteile linearer und nicht-linearer Lernumgebungen problematisiert.

Im zweiten Kapitel wird der Aufbau von Hypertextsystemen aus Knoten und Links erläutert und die aus unterschiedlichen Verknüpfungsarten resultierenden Organisationsstrukturen von Hypertextsystemen veranschaulicht. Ein weiterer Schwerpunkt im zweiten Kapitel ist die Navigation und die Orientierung in Hypertextsystemen. Es werden einzelne Navigationsformen aufgezeigt, Probleme beim Navigieren in Hypertextsystemen und mögliche Navigationshilfen verdeutlicht. Im dritten Kapitel wird das Lernen mit Hypertextsystemen spezifiziert. Vorteile und Nachteile linearer (systemkontrollierter) und nicht-linearer (lernerkontrollierter) Hypertext-Lernumgebungen werden unter besonderer Berücksichtigung der Lernervoraussetzungen diskutiert. Die Konzeption von Hypertext-Lernumgebungen thematisiert das vierte Kapitel. Es werden Hinweise darauf gegeben, welche Anforderungen an Hypertext-Lernumgebungen zu stellen sind und welche Rahmenbedingungen bei der Erstellung von Hypertext-Lernumgebungen zu beachten sind. Die Nutzungsmöglichkeiten von Hypertextsystemen im Unterrichtskontext und mögliche Vorteile, die sich daraus für den Unterricht ergeben, werden im fünften Kapitel näher betrachtet. Im sechsten Kapitel werden die Zielsetzungen und Fragestellungen der vorliegenden Arbeit konkretisiert und ein Überblick über die Pilotstudie und die Hauptstudie gegeben, die zur Beantwortung der Fragestellungen durchgeführt werden. Die zentrale Fragestellung ist, ob vernetzte Lernumgebungen auch bei Lernern mit niedrigem Vorwissen den Wissensaufbau und damit den Lernerfolg unterstützen können. Im siebten Kapitel werden die beiden Lernumgebungen zum Thema Seife vorgestellt, die Durchführung der Pilotstudie beschrieben und die Ergebnisse der Pilotstudie aufgezeigt und erörtert. Die Pilotstudie soll erste Hinweise dazu liefern, welche Parameter das Navigationsverhalten in Hypertextsystemen bestimmen und welche Parameter den Lernerfolg beeinflussen. Daneben sollen die Lernumgebungen, die in der Hauptstudie zum Einsatz kommen, optimiert werden. Die Hauptstudie wird im achten Kapitel beschrieben. Der Focus liegt hier auf dem Umgang von Schülerinnen und Schülern, die über ein niedriges themenspezifisches Vorwissen verfügen, mit linearen und nicht-linearen Lernumgebungen und den aus dem Arbeiten mit den Lernumgebungen resultierenden Lernerfolgen. Die ermittelten Ergebnisse werden aufgezeigt und analysiert. Die Ergebnisse von Pilot- und Hauptstudie werden im neunten Kapitel zusammengefasst und diskutiert.

2. Charakteristika von Hypertextsystemen

Hypertextsysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass die in ihnen enthaltenen Informationen in einzelne Informationseinheiten unterteilt und diese Einheiten untereinander verknüpft sind. Die Informationen werden in Form von sogenannten Knoten (eine Informationseinheit pro Knoten) gespeichert und verwaltet. Kennzeichnend für Hypertextsysteme ist die durch die Verknüpfungen (*Links*) entstehende nicht-lineare, netzartige Repräsentation von Informationen (Abbildung 2.1). Dies ermöglicht dem Benutzer einen flexiblen Zugriff auf die Informationseinheiten in beliebiger Reihenfolge (vgl. KUHLEN 1991).

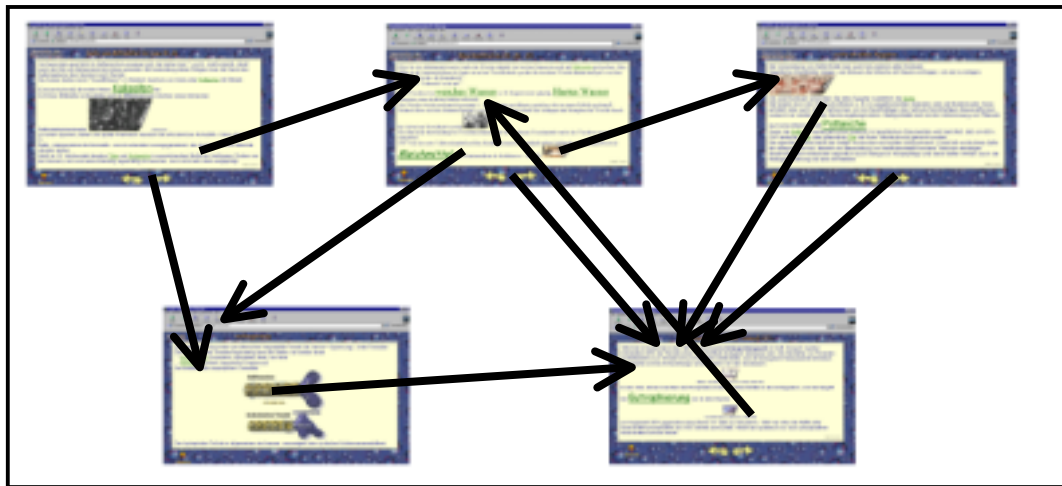


Abb. 2.1: Hypertextsystem mit fünf Knoten und neun Verknüpfungen.

Die erste Idee zur Konzeption eines Hypertextsystems wird BUSH (1945) zugeschrieben. BUSH wollte bereits in den vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts mit „*Memex*“ ein Informationssystem schaffen, in dem Informationen nicht-linear verwaltet werden sollten. Der Benutzer sollte die Möglichkeiten haben, in selbstbestimmter Reihenfolge auf Informationen zuzugreifen und neue Informationen abzuspeichern; die technischen Voraussetzungen waren damals jedoch noch nicht gegeben. Der Begriff Hypertext geht auf NELSON (1965) zurück, der BUSHs Idee aufgriff und mit „*Xanadu*“ ein Hypertextsystem konzipierte, das sämtliche Literatur verwalten sollte. *Xanadu* sollte die Informationen weltweit verfügbar machen; ein Anspruch, der durch das derzeit umfangreichste und am stärksten expandierende Hypertextsystem, das *World Wide Web*, annähernd erfüllt wird.

In einem Hypertextsystem basieren die Informationseinheiten vorwiegend auf Texten in Verbindung mit Graphiken. Hypermediasysteme sind dadurch definiert, dass sie darüber hinaus noch bewegte Bilder und Audiofiles enthalten können. Von Multimediasystemen sprechen viele Autoren, wenn sie die multimedialen Eigenschaften des Systems hervorheben wollen. Multimediasysteme müssen nicht auf der typischen Hypertextstruktur aufbauen, Hypermediasysteme dagegen schon. TOLHURST (1995) gibt einen Überblick darüber, wie verschiedene Autoren Hypertext, Hypermedia und Multimedia definieren.

2.1 Aufbau von Hypertextsystemen

2.1.1 Knoten

Knoten sind die elementaren Informationseinheiten in Hypertextsystemen. Innerhalb eines Knotens können unterschiedliche Informationsträger (Texte, Graphiken, Abbildungen) kombiniert sein. Neben diesen diskreten, zeitunabhängigen Medien können die Knoten kontinuierliche Informationsträger wie Tondokumente, Videosequenzen, Animationen und Simulationen enthalten (vgl. TOCHTERMANN 1995). Der Informationsumfang der in einem Knoten gespeichert ist, kann von Knoten zu Knoten erheblich differieren. DUNLAP und GRABINGER (1996) unterscheiden Hypertextsysteme in denen der Hypertext-Designer allein die Inhalte der einzelnen Knoten verantwortet (*designer-constructed nodes*), von Hypertextsystemen in denen der Anwender die Inhalte der Knoten bestimmt (*user-constructed nodes*).

2.1.2 Links

Ein Link ist ein elektronischer Verweis, der zwei Knoten oder spezielle Elemente innerhalb eines Knotens miteinander verknüpft. Sind zwei Knoten miteinander verknüpft, so wird der eine als Ausgangsknoten oder Ankerknoten, der andere als Zielknoten bezeichnet wird (SCHULMEISTER 1997). Nach SCHULMEISTER besteht ein Link aus einem elektronischen Verweis (dem eigentlichen Link) und einem Link-Anker. Der Link-Anker stellt den Ausgangspunkt der Verknüpfung dar. Die Ausgangspunkte sind sehr häufig als „*integrierte Menüpunkte*“ realisiert (vgl. NIELSEN 1996). Ein Wort, ein Satz, eine Grafik oder ein Element einer Grafik dient dabei gleichzeitig als Informationsträger und zur Aktivierung der Verknüpfung. Die Aktivierung geschieht in den meisten Fällen per Mausklick, wodurch der Zugriff auf das Verknüpfungsziel (in der Regel ein neuer Knoten) erfolgt. Die Link-Anker können in der Informationseinheit z.B. durch Unterstreichung, eine spezifische Farbgebung und / oder Blinken hervorgehoben werden. Nach Art der Verknüpfungsziele unterscheidet KUHLEN (1991) intrahypertextuelle, interhypertextuelle und extrahypertextuelle Links (Abbildung 2.2). Intrahypertextuelle Links verweisen dabei auf ein Ziel innerhalb eines Knotens. Diese Link-Art wird in der Regel dann gewählt, wenn der Umfang einer Informationseinheit so groß ist, dass der Inhalt nicht mehr auf einer Bildschirmseite dargestellt werden kann. Interhypertextuelle Links verweisen auf einen anderen Knoten des Hypertextsystems. Extrahypertextuelle Links verweisen auf externe Hypertextsysteme, z.B. auf Quellen im World Wide Web.

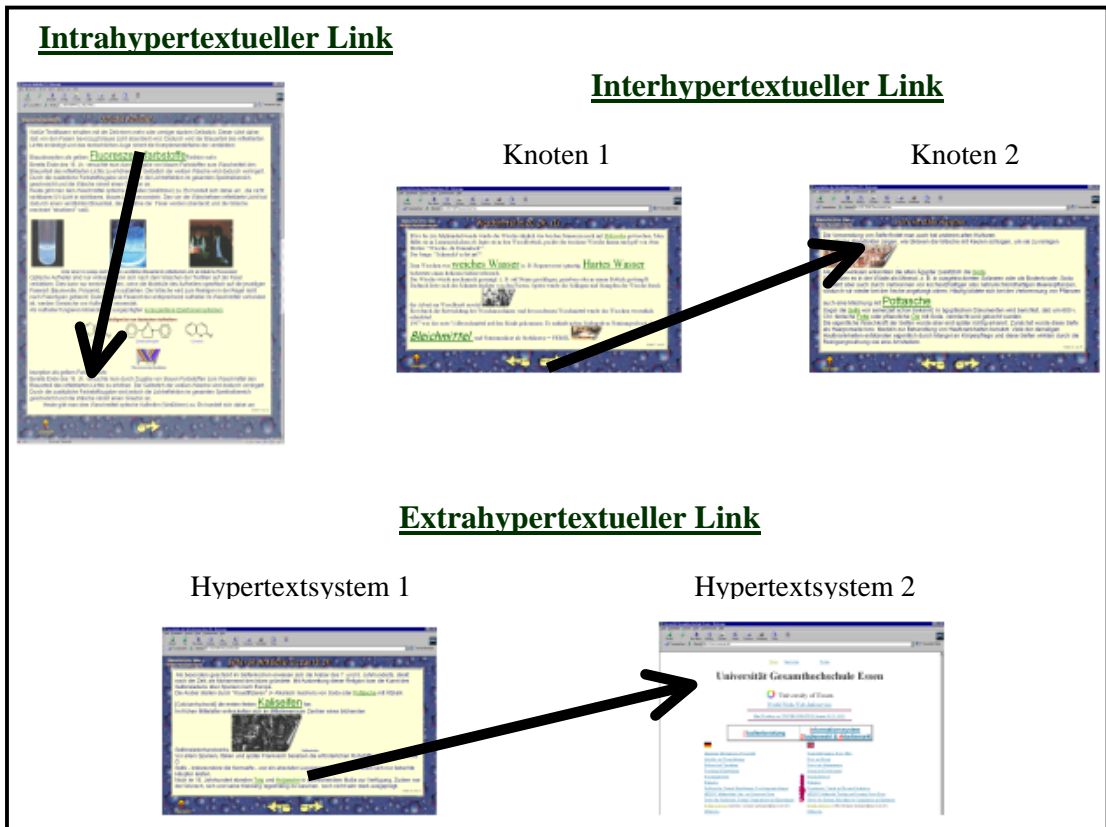


Abb. 2.2: Unterscheidung der Links nach den Verknüpfungszielen.

In Bezug auf die Richtung der Verknüpfung werden unidirektionale von bidirektionalen Verknüpfungen unterschieden (vgl. HOFFMANN & SIMON 1995 und GRABINGER & DUNLAP 1996). Abbildung 2.3 zeigt, dass unidirektionale Link vom Ausgangsknoten zum Zielknoten verweisen, während bei bidirektionalen Links zusätzlich ein Verweis vom Zielknoten zurück zum Ausgangsknoten erfolgt.



Abb. 2.3: Unidirektionale und bidirektionale Links.

In den meisten Hypertextsystemen werden nur unidirektionale Links eingesetzt. Über eine sogenannte Backtrack-Funktion kann dann zumindest auf den jeweils zuletzt gesehenen Knoten (den Ausgangsknoten) zugegriffen werden (vgl. NIELSEN 1995). In Hypertextsystemen die nur unidirektionale Links einsetzen, bekommt der Benutzer alle Verknüpfungen angezeigt die von einem Knoten ausgehen, nicht jedoch diejenigen, die auf diesen Knoten verweisen. Der Benutzer erhält dadurch keine Informationen über welche andere Verknüpfungen er den aktuellen Knoten noch hätte erreichen können (NIELSEN 1996). KUHLEN (1991) unterscheidet grundsätzlich referentielle von typisierten Verknüpfungen. Die Funktion der referentiellen Verknüpfungen besteht darin, »Einheiten nach assoziativen oder rein syntaktischen Kriterien (vorwärts, rückwärts, zum Beginn, ans Ende etc.) zu verketten« (KUHLEN 1991; S. 22). Typisierte Verknüpfungen besitzen eine „semantische Spezifikation“. Die Knoten stehen in einem gewissen Kontext zueinander, der Link deutet bereits auf die Beziehungen zwischen den Knoten hin. In einer Lernumgebung zum Thema „Kohlenstoffbindungen“ könnten z.B. auf der Startseite die Begriffe „Einfachbindung“, „Doppelbindung“ und „Dreifachbindung“ als Verknüpfungen angezeigt werden, die auf drei unterschiedliche Seiten verweisen. Die „semantische Spezifikation“ besteht darin, dass der Benutzer schon bevor er eine der Verknüpfungen aktiviert weiß, welche Thematik ihm auf der neuen Seite präsentiert wird.

2.2 Organisationsstruktur von Hypertextsystemen

Aus der Art, wie die einzelnen Knoten eines Hypertextsystems verknüpft sind, ergibt sich eine gewisse Struktur. In Anlehnung an PARUNAK (1989) und HOFMANN & SIMON (1995) unterscheidet POHL (1998) drei strukturelle Hauptklassen:

- Hypertextsysteme mit linearer oder ringartiger Struktur;
- Hypertextsysteme mit hierarchischer bzw. baumartiger Struktur;
- Netzwerkartige Hypertextsysteme.

In Hypertextsysteme mit linearer Struktur ergibt sich durch die Verknüpfung eine systemdeterminierte, enge Reihenfolge der Knoten (Abbildung 2.4). Bei diesen vordefinierten Wegen durch das Hypertextsystem wird häufig auch von Pfaden gesprochen. Erfolgt vom letzten Knoten wieder ein Verweis auf den ersten Knoten, erhält man eine ringartige Struktur.



Abb. 2.4: Hypertextsystem mit linearer Struktur.

Hypertextsysteme mit linearer Struktur widersprechen der eigentlichen Hypertext-Philosophie, die Informationen nicht-linear oder nicht-sequentiell zu präsentieren (vgl. NIELSEN 1995 und SCHULMEISTER 1997). Man findet sie beispielsweise in geführten Unterweisungen (*guided tours*) oder „*Electronic Books*“.

Hypertextsysteme mit hierarchischer bzw. baumartiger Struktur (Abbildung 2.5) kommen häufig bei sehr umfangreichen Hypertextsystemen vor, welche die Inhaltsbereiche in Kapiteln und Unterkapiteln präsentieren.

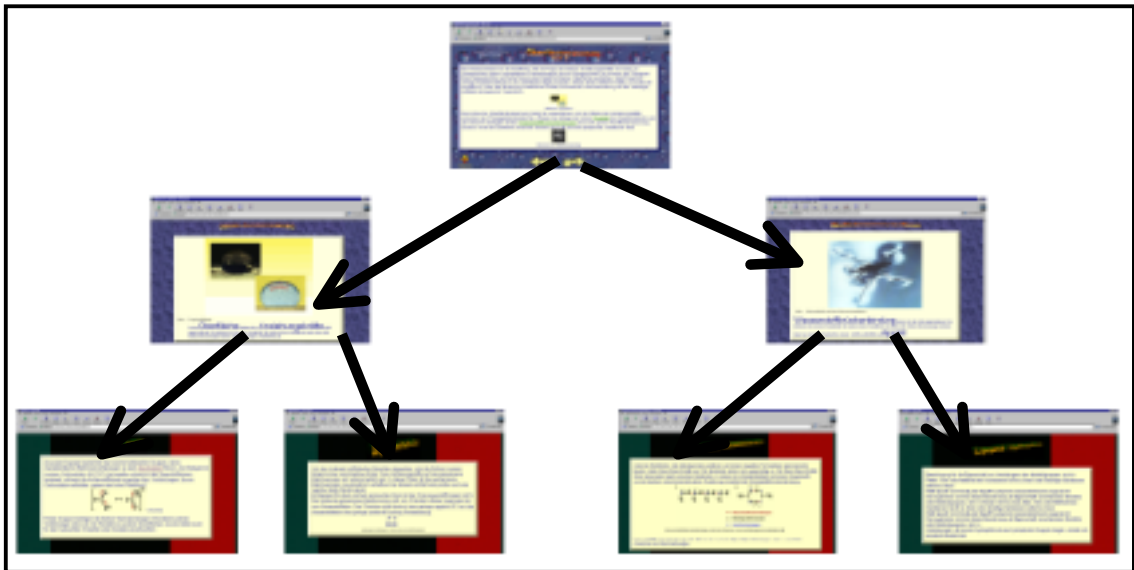


Abb. 2.5: Hypertextsystem mit hierarchischer Struktur.

Abbildung 2.6 zeigt ein Hypertextsystemen mit netzwerkartiger Struktur. Hierbei verweisen von einem einzelnen Knoten häufig zwei oder mehr unidirektionale Links zu anderen Knoten.

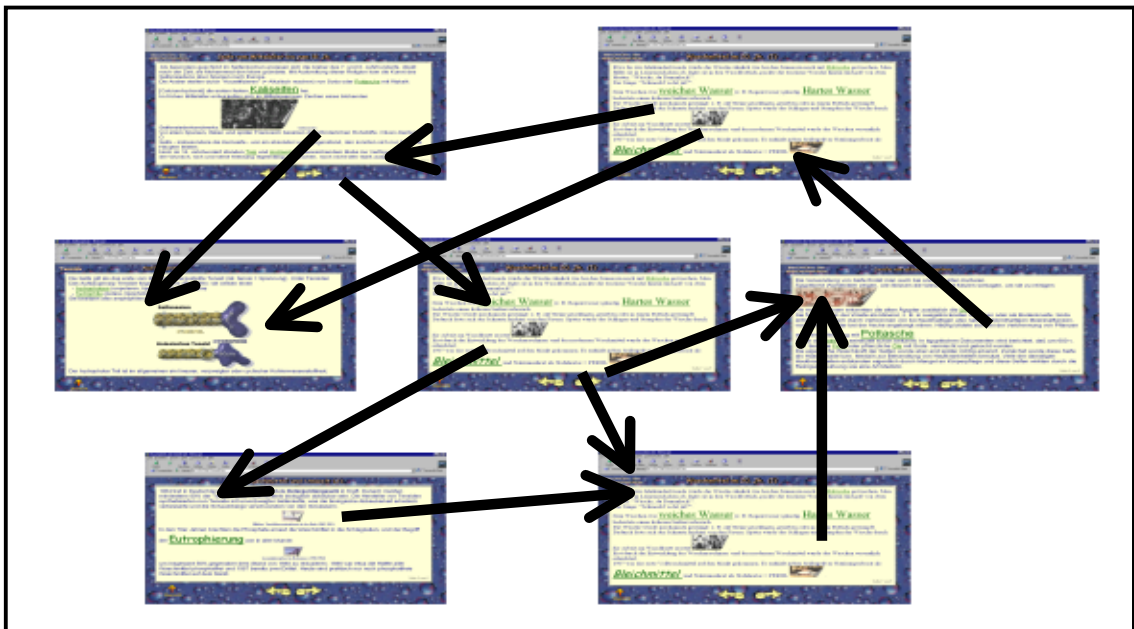


Abb. 2.6: Hypertextsystem mit netzwerkartiger Struktur.

2.3 Navigation und Orientierung in Hypertextsystemen

Der Zugriff auf einzelne Knoten (Informationseinheiten) in Hypertextsystemen wird als Navigation bezeichnet. Die Navigation wird u.a. von folgenden Parametern bestimmt (McALEESE 1989; KUHLEN 1991; TERGAN 1995; POHL 1998):

- von der Organisationsstruktur des Hypertextsystems;
- von der Präsentation der Inhalte;
- von der Zielsetzung des Benutzers;
- von den angebotenen Navigationshilfen;
- vom systemspezifischen und inhaltlichen Vorwissen des Benutzers.

Daraus resultieren unterschiedliche Formen der Navigation, die von mehreren Autoren kategorisiert wurden (vgl. KUHLEN 1991; McKNIGHT et al. 1993; HAACK 1995; TERGAN 1995; GERDES 1997; POHL 1998).

POHL (1998) unterscheidet fünf Navigationsformen:

- *Scanning* - der Benutzer überfliegt hierbei größere Inhaltsbereiche, ohne ins Detail zu gehen;
- *Browsing* - der Benutzer navigiert ungezielt durch das Hypertextsystem, bis an einer bestimmten Stelle sein Interesse erweckt wird. Dieser Knoten dient dann als Ausgangsbasis für eine zielgerichtete Navigation;
- *Searching* - der Benutzer sucht gezielt nach Informationen, häufig unter zu Hilfenahme systemimmanenter Suchfunktionen;
- *Exploring* - der Benutzer verfolgt dabei alle Verknüpfungen, die von einem bestimmten Themenkomplex ausgehen. Ziel ist es den gesamten Umfang an Informationen zu erfassen;
- *Wandering* - der Benutzer navigiert ohne konkrete Zielsetzung und lässt sich dabei häufig nur von der Attraktivität des Informationsangebotes leiten.

TERGAN (1995) unterscheidet neben *Browsing* und der gezielten Informationssuche (*Searching*) das Folgen von Pfaden. Dabei navigiert der Benutzer entlang einer vorgegebenen, linearen Abfolge von Knoten.

2.3.1 Navigationsprobleme

Bei der Navigation in Hypertextsystemen können für den Benutzer verschiedene Probleme auftreten. Häufig werden diese als „*lost in Hyperspace*“ bezeichnet oder unter dem Begriff der Desorientierung zusammengefasst (vgl. CONKLIN 1987; EDWARDS & HARDMAN 1993). ELM und WOODS (1985; S. 928f.) beschreiben derartige Schwierigkeiten wie folgt:

- »*not knowing where to go next*«;
- »*knowing where to go, but not knowing how to get there*«;
- »*not knowing where they were in the overall structure of the document*«.

GERDES (1997) spezifiziert noch weiter:

- der Benutzer kann nicht einschätzen, wo genau in Relation zu anderen Informationen des Hypertextsystems er sich gerade befindet;
- er weiß nicht, wie er zu einer bestimmten Information gelangen kann;
- er kennt den optimalen Ausgangspunkt und den optimalen Weg zur Bearbeitung seines Problems / seiner Fragestellung nicht;
- er weiß nicht, wie er zu einer bestimmten Stelle zurückgelangen kann;
- er vermag nicht zu beurteilen, ob er wirklich alle relevanten Informationen gesehen und alle relevanten Knoten angesteuert hat;
- er kann den Umfang des Hypertextsystems und die Art der Informationen, die es enthält, nicht bestimmen;
- er weiß nicht, was er an der aktuellen Position tun kann bzw. wohin er navigieren kann.

GAY & MAZUR (1991; S. 272) beschreiben das Problem des „lost in Hyperspace“ folgendermaßen: »*Navigating through extremely large hyperbases can be daunting. The nonsequential, user-controlled nature of hypermedia creates a myriad of possibilities for readers to annotate and to link information that they have discovered*«. Sie verweisen hierbei bereits auf zwei Ursachen, die häufig für die Desorientierung verantwortlich gemacht werden: der große Umfang und die Nicht-Linearität vieler Hypertextsysteme und die daraus resultierenden Freiheitsgrade¹ bei der Navigation. TERGAN (1995; S. 133) gibt zu bedenken, dass es den Benutzern »*ohne Hilfe nur schwer gelingt, sich eine Vorstellung (mental map) von der Organisationsstruktur der Datenbasis zu machen*«. DIAS et al. (1999) unterscheiden zwischen systeminhärenten Problemen und Problemen, die auf den derzeitigen Stand der Hypertextentwicklung zurückzuführen sind und demzufolge durch eine Weiterentwicklung der Hypertextsysteme zu lösen wären. Dagegen bezweifelt SCHULMEISTER (1997; S. 60) das es ein systeminhärentes Navigationsproblem gibt. Für ihn zählt die »*Hypothese vom lost in Hyperspace*« zu den »*pädagogischen Mythen von Multimedia*«. Er führt Probleme der Desorientierung auf mangelhaftes Navigationsdesign zurück. Für BERNSTEIN (1991; S. 289f.) kann eine leichte Desorientierung auch Vorteile für den Benutzer mit sich bringen. Durch die Desorientierung werden Möglicherweise die Aufmerksamkeit und der Arbeitseinsatz des Benutzers gesteigert. Daher kann es sogar in gewissen Situationen sinnvoll sein, bewusst eine Desorientierung zu erzeugen: »*While I can discover no clear evidence that hypertext is intrinsically disorienting or that hypertext navigation is intrinsically difficult, there does exist a considerable body of evidence that hypertextual techniques can be used to deliberately disorient the reader*.«

¹ FREISLER (1994) bezeichnet die Gesamtverknüpfung des Systems und die daraus resultierenden potentiellen Navigationswege (Freiheitsgrade in der Informationsauswahl) als Hyperdigma. Den tatsächlich vom Benutzer gewählten und gegangenen Navigationsweg bezeichnet er dagegen als Hypertagma.

2.3.2 Navigationshilfen

Um die negativen Effekte der Desorientierung zu minimieren oder gar zu beheben, wurden diverse Navigations- und Orientierungshilfen entwickelt, die den Benutzer bei der Informationssuche und der Navigation unterstützen sollen (vgl. JONASSEN 1989; SIMPSON & McKNIGHT 1990; GAY & MAZUR 1991; JONASSEN 1991a; HAAKE et al. 1991; HAMMOND 1992; HAACK 1995; GERDES 1997; SCHULMEISTER 1997)

Hierzu gehören:

- *Backtrack-Funktionen*; sie ermöglichen die Rückverfolgung des bisherigen Navigationsweges von Knoten zu Knoten;
- *Grafische Übersichten / grafische Browser*; sie ermöglichen eine „räumliche“ Visualisierung der Organisationsstruktur. Die Verknüpfungen der Knoten untereinander werden angezeigt und dadurch potentielle Navigationswege dargestellt und Zusammenhänge verdeutlicht;
- *Guided tours / Pfade*; sie führen den Benutzer - bedingt durch die lineare Strukturierung der Knoten - durch das Hypertextsystem;
- *Textorientierte Übersichten*; hierzu gehören Inhaltsverzeichnisse, Register und Glossare. Sie ahmen zumeist Orientierungshilfen linearer Medien (Bücher, Zeitschriften etc.) nach;
- *Navigationsmetaphern*; sie versuchen Analogien zwischen der Struktur des Hypertextsystems und einem dem Benutzer vertrauten Kontext herzustellen; z.B. zu einer Reise oder einer Bibliothek;
- *Lesezeichen*; sie gestatten die individuelle Markierung einzelner Knoten.
- *Such-Tools*; dies sind z.B. Filter oder Suchmasken, die eine themen- oder wortspezifische Suche ermöglichen;
- *History-Listen*; sie präsentieren alle bisher aufgerufenen Knoten in zeitlicher Abfolge und ermöglichen so den schnellen und gezielten Zugriff auf bereits gesehene Inhalte;
- *Spezifische Designkriterien für Hypertextsysteme*, hierzu gehören z.B. das Layout der Oberfläche, Überschriften, Hervorhebungen und der Umfang einzelner Knoten. Auf diese Designkriterien wird im Rahmen der Entwicklung einer Lernumgebung (Kapitel 4; S. 23ff) näher eingegangen.

KUHLEN (1991) betont, dass der Benutzer den Umgang mit Hypertextsystemen und darin enthaltenen Navigationshilfen erlernen muss. Die Implementation von Navigationshilfen in Hypertextsystemen führt allein noch nicht zum Erfolg. Ein enormer Fortschritt für die Anwender wären Standards und Vereinheitlichungen über viele Lernumgebungen hinweg, damit der zeitliche und der kognitive Aufwand für die Einarbeitung in die Navigationshilfen minimiert wird. Die Anzahl der Navigationshilfen innerhalb einer Lernumgebung beeinflusst die Gesamtstruktur der Lernumgebung. ASTLEITNER et al. (1998) weisen darauf hin, dass mit der Zunahme der im Hypertextsystem vorhandenen Navigationshilfen die Nicht-Linearität abnimmt, d.h. die Struktur des Systems immer linearer wird.

2.3.3 Untersuchungen zur Navigation und zu Navigationshilfen

Die Navigationsstrategien in Hypertextsystemen und die Effektivität diverser Navigationshilfen sind vielfach untersucht worden. Die dabei erhaltenen Untersuchungsergebnisse widersprechen sich jedoch zum Teil. Ursachen für die differierenden Ergebnisse (vgl. SCHULMEISTER 1997; DIAS et al. 1999) sind möglicherweise Unterschiede:

- in der Methodik;
- in der Zielsetzung;
- in den Aufgabenstellungen;
- im Umfang des Hypertextsystems;
- im Vorwissen der Probanden.

SMITH (1996) untersuchte Navigationsverhalten und Äußerungen von zwanzig Jugendlichen während der Nutzung eines Hypertextsystems. Anhand von Videodaten deutete SMITH u.a. folgendes Verhalten als Desorientierung:

- wiederholte Betätigung des Zurück-Buttons;
- lange Navigationspausen;
- die Bitte der Probanden um Hilfe;
- Äußerungen der Probanden wie »Ich komme nicht weiter«.

Es stellt sich die Frage, ob diese Verhaltensweisen nicht auch andere Ursachen haben könnten. Zurückblättern, langes Verweilen auf einzelnen Seiten und das Erbitten von Hilfe kommen auch beim Lesen von Sachbüchern vor, ohne das dann sofort von Desorientierung gesprochen wird. Nach SIMPSON und McKNIGHT (1990) kann Desorientierung dazu führen, dass einige Knoten übersehen werden und andere Knoten wiederholt aufgesucht werden. Dies erlaubt jedoch nicht den Umkehrschluss, dass das Weglassen von Knoten oder das mehrfache Aufsuchen von Knoten unweigerlich auf eine Desorientierung zurückzuführen sind. Möglicherweise lässt der Benutzer Knoten absichtlich aus, weil sie ihn momentan nicht interessieren oder bei einer Problemlösung nicht weiterhelfen. Eventuell sucht er Knoten erneut auf, weil er sich etwas verdeutlichen will oder er auf neue Ideen gekommen ist. Auf die tatsächlichen Beweggründe lassen eher Interviews oder spontane Äußerungen, evtl. noch die Verweilzeiten beim erneuten Zugriff auf Knoten schließen. EDWARDS und HARDMAN (1993) kamen in einer Studie zu dem Ergebnis, dass die Implementierung mehrere Navigationshilfen in einem Hypertextsystem bei den Benutzern eher zu einem Gefühl der Desorientierung führt als das Angebot von nur einem Navigationsmittel. Allerdings hatten die Benutzer keine Computererfahrungen. Auch JONASSEN (1993) warnt davor, dass zu viele Navigationshilfen sich negativ auf den Lernerfolg auswirken können. McDONALD und STEVENSON (1998) stellen fest, dass Studenten ohne themenspezifisches Vorwissen stärkere Navigationsprobleme haben als solche mit Vorwissen. Als um so wichtiger sehen sie es an, Navigationshilfen zu entwickeln, die diese Probleme minimieren. In einer Untersuchung zum Nutzen von Navigationshilfen sollten 36 Studenten mit einem Hypertextsystem zum menschlichen Lernen arbeiten. Dabei stand einem Drittel der Studenten eine graphisch orientierte Navigationshilfe zur Verfügung, einem Drittel eine Inhaltsliste und einem Drittel keine Navigationshilfe. Ergebnisse waren u.a., dass:

- Benutzer der Navigationshilfen mehr unterschiedliche Knoten aufrufen als Benutzer ohne Navigationshilfe (Reihenfolge: graphisch orientierte Navigationshilfe > Inhaltsliste > keine Navigationshilfe);
- die Anzahl der mehrfach aufgerufenen Knoten in der Reihenfolge – graphisch orientierte Navigationshilfe → Inhaltsliste → keine Navigationshilfe – zunahm;
- bei der Beantwortung von Aufgaben mit Hilfe des Hypertextsystems Benutzer der Navigationshilfen mehr Aufgaben korrekt beantworten konnten;
- Probanden mit niedrigem Vorwissen von den Navigationshilfen stärker profitierten als Probanden mit hohem Vorwissen.

Auch eine Studie von MÜLLER-KALTHOFF & MÖLLER (2000) an 56 Psychologiestudenten zeigte, dass gerade Probanden mit niedrigem themenspezifischen Vorwissen von einer Navigationsübersicht profitierten. Probanden mit hohem Vorwissen, die das Hypertextsystem mit Navigationsübersicht genutzt hatten, unterschieden sich im Lernerfolg nicht von Probanden mit hohem Vorwissen, denen keine Navigationsübersicht zur Verfügung stand.

3. Lernen mit Hypertextsystemen

Die Aneignung von Wissen wird heute in der Regel unter kognitionstheoretischer und / oder konstruktivistischer Perspektive betrachtet (vgl. EULER 1994; SCHNOTZ 1994 und 1995; MANDL et al. 1995; REINMANN-ROTHMEIER & MANDL 1996; SCHULZ-ZANDER 1996; TULODZIECKI 1997; KERRES 1998; REITER 1998). Kennzeichnend für die Wissensaneignung ist demnach, dass:

- sie in aktiver Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand erfolgt;
- neue Informationen mit bereits vorhandenen Wissensselementen verknüpft werden;
- die Verknüpfung von Informationen mit Wissensselementen individuell verschieden ist, daraus resultieren subjektive Wissensnetze;
- multiple mentale Repräsentationen aufgebaut werden;
- Wissen vom Lernenden immer wieder neu konstruiert und reflektiert wird;
- Wissensaneignung immer situiert und damit abhängig von der spezifischen Lebens- und Lernsituation ist;
- sie abhängig von den zum jeweiligen Zeitpunkt vorhandenen subjektiven Erfahrungsstrukturen ist;
- Lehrende als Berater und Mitgestalter von Lernprozessen fungieren.

Als besonders wichtig für den Prozess der Wissensaneignung werden dabei die Lernstrategien der Lernenden und das Vorwissen angesehen. In den Mittelpunkt des Forschungsinteresses beim Lernen mit Neuen Medien rücken in Anlehnung an TULODZIECKI (1997) und BRÜNKEN & LEUTNER (2000) u.a. folgende Fragestellungen:

- Wie sollten Lerninhalte strukturiert und sequenziert sein, um die individuelle Verknüpfung neuer Informationen mit vorhandenen Wissensselementen möglichst effektiv zu unterstützen?
- Welche persönlichen Unterschiede sind für die Wissensaneignung im jeweiligen Lehr-Lernkontext bedeutend?
- Welche prozessbezogenen Lernhilfen und welche Rückmeldungen können die Wissensaneignung unterstützen?
- Welche motivationalen und emotionalen Faktoren sind zu berücksichtigen?

Als mögliche Vorteile, die der Einsatz von Hypertextsystemen bietet, können viele der Argumente angeführt werden, die allgemein die positiven Eigenschaften von computerunterstützten Lernumgebungen hervorheben (vgl. MARCHIONINI 1988; KUHLEN 1991; KOZMA 1991; SILVA 1992; SWITALLA 1994; HAACK 1995; HASEBROOK 1995; GRÄSEL 1997; TERGAN 1997a und 1999; WEIDENMANN 1997). Dazu gehören u.a.:

- schneller Informationszugriff;
- Lernerkontrolle in Bezug auf Inhaltsauswahl, Zeiteinteilung und Lern-tempo;
- multicodale und multimodale Repräsentation der Inhalte;
- Aktualität;
- starker Bezug zur Realität;
- hohe Motivationsleistung.

Im Folgenden wird näher auf Vor- und Nachteile, die möglicherweise mit der Nicht-Linearität² von Hypertextsystemen in Verbindung stehen, eingegangen.

3.1 Mögliche Vorteile von Hypertextsystemen für den Lernerfolg

Für KUHLEN (1991) ist ein entscheidendes Argument für den Einsatz von Hypertextsystemen der *informationelle Mehrwert*. KUHLEN meint damit den schnellen Informationszugriff, der durch die Verknüpfungen ermöglicht wird. ASTLEITNER et al. (1998) geben dagegen zu bedenken, dass durch das schnelle Aufrufen und wieder Verlassen der Informationseinheiten möglicherweise nur oberflächlich gelernt wird.

Durch die vernetzte Struktur der Hypertextsysteme wird ein individueller, flexibler und selektiver Zugriff auf die Informationseinheiten gewährleistet. Der Benutzer wird zu einem selbstgesteuerten Lernen angeregt, er interagiert mit der Lernumgebung und beeinflusst so den Prozess der Wissensaneignung. Eben weil Hypertextsysteme die Möglichkeit zur interaktiven und lernergesteuerte Informationserschließung bieten, sieht EULER (1994) in Hypertextsystemen eine aktuelle Variante zur Unterstützung des Problemlösungsparadigmas. ROLFF (1991) verweist darauf, dass der Benutzer die Informationseinheiten explorativ erkunden kann, um sich dann für bestimmte Informationseinheiten zu entscheiden, die von momentanem Interesse sind oder für die Lösung einer Aufgabe benötigt werden. Dies wird besonders im Umgang mit den Neuen Medien wichtig, da die angebotene Informationsfülle ein Selektionsproblem mit sich bringt (vgl. KORING 1997; KAMMERL 2000). In einem Hypertextsystem kann der Benutzer sich an seinen eigenen Lernbedürfnissen orientieren. Nach ASTLEITNER et al. (1998) kann das Erlebnis der eigenen Einflussnahme auf das Geschehen (*self efficacy*) die Lerner motivation und den Lernerfolg entscheidend stimulieren. Auch ZINK (1997) hält das selbstgesteuerte, eigenaktive Lernen für motivationsfördernd. Er führt gleichzeitig an, dass Hypertextsysteme die Möglichkeit bieten die kognitive Flexibilität zu steigern. Die Theorie der Kognitiven Flexibilität geht auf SPIRO et al. (1988) zurück. Kognitive Flexibilität beschreibt die Fähigkeit, Wissen in unterschiedlichen Anwendungssituationen flexibel zu nutzen. Voraussetzung dafür ist, dass das vorhandene Wissen so strukturiert ist, dass es in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendungssituation umstrukturiert werden kann. SPIRO et al. (1990, 1991a und 1991b) sehen in Hypertextsystemen die Chance kognitive Flexibilität zu fördern: »*In particular, multidimensional and nonlinear hypertext systems (...) have the power to convey ill-structured aspects of knowledge domains and to promote features of cognitive flexibility in ways that traditional learning environments (textbooks, lectures, computer-based drill) could not.*« (1991a; p. 24). Hierfür schlagen SPIRO et al. die Entwicklung spezieller Lernumgebungen vor, die sie als »*Cognitive Flexibility Hypertexts*« bezeichnen und in denen komplexe und unstrukturierte (*ill-structured*) Inhalte unter multiplen Kontexten, mit verschiedenen Zielsetzungen und unterschiedlichen Perspektiven (»*Landscape Criss-crossing*«) angeboten werden. Es könnte sein, dass der Umgang mit dem nicht-linearen Hypertextsystem den Lerner dazu befähigt, Informationen nicht isoliert,

² Nichtlinearität kann sich nur auf die Struktur des Hypertextsystems beziehen. Die mögliche Informationserschließung erfolgt sequentiell. TERGAN (1993) spricht daher von Multilinearität und FREISLER (1994) von nicht deterministischen Hypertagmen.

sondern im Zusammenhang, in Wechselwirkung mit anderen Informationen zu sehen.

Vorwiegend in den 80er Jahren und zu Beginn der 90er Jahre wurde von einigen Autoren (JONASSEN 1986, 1988, 1989 und 1991b; KUHLEN 1991; JONASSEN & WANG 1994) eine Verbindung zwischen der vernetzten kognitiven Struktur und der vernetzten Struktur der Informationseinheiten in Hypertextsystemen gezogen. Hypertextsysteme wurden unter der Hypothese der kognitiven Plausibilität als besonders effiziente Lernumgebungen betrachtet und zwar sowohl für die Autorensseite als auch für die Benutzersseite. Dafür wurden folgende Behauptungen angeführt:

- die nicht-lineare Struktur der Informationseinheiten in Hypertextsystemen ähnelt den vernetzten, nicht-linearen Strukturen im Gehirn, wodurch neues Wissen leichter verknüpft werden kann;
- Autoren von Hypertextsystemen können ihre nicht-lineare Wissensstruktur einfacher in Hypertextsystemen abbilden.

Die Hypothese der kognitiven Plausibilität wird stichhaltig von WHALLEY (1990), NELSON & PALUMBO (1992), HAMMWÖHNER (1993), JONASSEN (1993), DILLON (1996), GERDES (1997) und ZINK (1997) u.a. mit folgenden Argumenten widerlegt:

- selbst in nicht-linearen Hypertextsystemen erfolgt die Informationserschließung zeitlich linear, da zu einem bestimmten Zeitpunkt immer nur eine Informationseinheit betrachtet werden kann;
- es besteht nur eine marginale strukturelle Ähnlichkeit zwischen der vernetzten Struktur der Informationseinheiten in Hypertextsystemen und dem menschlichen kognitiven Netzwerk. Letzteres ist viel komplexer, dynamischer und umfangreicher;
- die vernetzte Struktur der Informationseinheiten in Hypertextsystemen kann nicht direkt in eine mental repräsentierte Wissensstruktur überführt werden; vielmehr ist ein aktiver und konstruktiver Umgang mit Hypertextsystemen nötig. Die konstruierte mentale Wissensstruktur ist dann situations- und lernerspezifisch.

3.2 Mögliche Nachteile von Hypertextsystemen für den Lernerfolg

In Kapitel 2.3.1 wurde bereits auf potentielle Navigations- und Orientierungsprobleme eingegangen. Für das Lernen mit Hypertextsystemen wird erstmals von CONKLIN (1987) das Problem des „*Cognitive overhead*“, der kognitiven Überlastung erwähnt. Gemeint ist damit, dass der Benutzer von Hypertextsystemen neben der Anstrengungen, die er für die Informationsverarbeitung aufbringen muss, sich noch auf systemspezifische Anforderungen konzentrieren muss. Darunter fallen nach MEYERHOFF (1993), WENGER & PAYNE (1996) und TERGAN (1995) folgende Anforderungen:

- der Benutzer muss sich ständig für oder gegen das Aufrufen einer Informationseinheit entscheiden;
- Informationseinheiten die noch nicht aufgerufen wurden, aber als subjektiv wichtig eingestuft werden, müssen „im Auge“ behalten werden, damit sie zu einem späteren Zeitpunkt aufgerufen werden;
- der Benutzer sollte sich die Informationseinheiten, die bereits aufgesucht wurden merken, um diese nicht ständig neu aufzurufen und um Desorientierung zu vermeiden;
- der Benutzer muss sich in einer konkreten Situation für oder gegen den Gebrauch von Navigationshilfen aussprechen;
- die Nutzung von Navigationshilfen erfordert zusätzliche geistige Anstrengung.

All diese Anforderungen belasten das Arbeitsgedächtnis des Benutzers zusätzlich, so dass eventuell wichtige Ressourcen für den eigentlichen Lernprozess verloren gehen. Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit sich durch ein schlüssiges Design, Kurz-Coachings zur Einführung in die Lernumgebung und intuitiv zu bedienende Hilfen derartige Belastungen reduzieren lassen. Darüber hinaus erfordert jede offen gestaltete Lernumgebung, in der der Benutzer eigenständig über Lerninhalte, Lernwege, Lernziele und Lerntempo entscheidet, zusätzliche Energien. Die Belastung des Arbeitsgedächtnis ist insofern systemimmanent, vom Autor bewusst eingeplant und muss vom Benutzer nicht zwangsläufig als negativ empfunden werden.

3.3 Lernervoraussetzungen für den effektiven Umgang mit Hypertextsystemen

Nicht genau geklärt ist derzeit, ob für die effektive Nutzung von Hypertextsystemen neben generellen medienspezifischen Kompetenzen (vgl. SCHELL et al. 1999; REIN 1996) spezifische Lernervoraussetzungen nötig sind und unter welchen Bedingungen das Lernen mit Hypertextsystemen besonders effizient erfolgt. In Anlehnung an STEINER (1993) und KERRES (1998) wird die Wirksamkeit der Nutzung von Hypertextsystemen - wie die Wirksamkeit des Lernens generell - von folgenden Faktoren beeinflusst:

- von der Zielsetzung und von Aufgabenmerkmalen;
- vom Umfang und vom Schwierigkeitsgrad der angebotenen Informationen;
- vom inhaltlichen Strukturierungsgrad;
- von der Interpretation des Benutzers, wie er die Situation und die Anforderungen die das Hypertextsystem an ihn stellt einschätzt;

- vom Vorwissen (sowohl themenspezifisch als auch systemspezifisch);
- von den Lernstrategien;
- von Lernmotivation und -interesse;
- von der Metakognition des Lernens.

Nach KUHLEN (1991) und MARCHIONINI (1988 und 1995) bringen Hypertextsysteme vor allen Dingen dann Vorteile mit sich, wenn ein „gewisses“ Vorwissen auf der Lernerseite vorhanden ist und wenn der Lernende stark motiviert ist. MARCHIONINI (1988) gibt zu bedenken, dass die Freiheit der Entscheidung auch Verwirrung stiften kann und vergleicht den Umgang eines neugierigen, undisziplinierten Lerners mit einem Hypertext mit der Situation, in die man einen Schüler bringt, wenn man ihm eine Fernbedienung in die Hand drückt und er zwischen 80 Actionfilmen auswählen kann. Nur mit einem ausreichend inhaltlichen Vorwissen kann der Lernende sinnvoll entscheiden, wann er welche Inhalte aufruft, oder nicht aufruft (JONASSEN & GRABINGER 1990; MEYERHOFF 1993; JACOBSON & SPIRO 1994; GERDES 1997). Mit ansteigendem Vorwissen navigieren Lerner auffallend zielbewusster (MacGREGOR 1999). Dies würde bedeuten, dass nur Lerner mit hohem Vorwissen von Hypertextsystemen profitieren können. SCHNOTZ & ZINK (1997) vertreten dagegen eher die These, dass durch geeignete Lernhilfen (z.B. spezifische Aufgabenstellungen) der Wissenserwerb mit Hypertextsystemen auch bei Lernanfängern zumindest genauso effektiv gestaltet werden kann wie der Wissenserwerb mit linearen Texten. Dennoch führen SCHNOTZ & ZINK (1997, S.97) an, dass die Freiheit hinsichtlich der Informationsauswahl auch neue Anforderungen an den Lerner stellt: »*Der Lernende benötigt eine hinreichend klare Vorstellung des anzueignenden Wissens, um eigene Wissenslücken zu erkennen. Er muss entsprechende Informationsziele spezifizieren, die betreffenden Informationen suchen und die bei der Suche vorgefundenen Informationen jeweils hinsichtlich ihrer Zielrelevanz bewerten*«. Diese Anforderungen kommen sicherlich auch auf den Benutzer eines linearen Textes zu, zumindest wenn dieser den Text aktiv liest. BOEKAERTS (1999) gibt zu bedenken, dass offen gestaltete Lernumgebungen nicht nur selbstreguliertes, selbstbestimmtes Lernen fördern, sie fordern es auch; d.h. ein effektiver Umgang mit derartigen Lernumgebungen setzt Erfahrungen im selbstbestimmten Lernen voraus. Die Ergebnisse zweier Studien von AYERSMAN und REED (1998) deuten zumindest darauf hin, dass erfahrene Hypertextnutzer stärker von der nicht-linearen Informationspräsentation profitieren können als von der linearen Informationspräsentation. Einige Autoren gehen davon aus, dass der Lernende im Umgang mit nicht-linearen Hypertextsystemen spezifische kognitive Fähigkeiten ausbilden. JONASSEN und GRABINGER (1990) beschreiben sie als „*information literacy*“, BEEMAN (1989) als „*non-linear-thinking*“. Gemeint sind damit nach FRINDTE (1999) u.a. Denkstile, mit deren Hilfe der Lernende eine Problemlösung auf unterschiedlichen Wegen anstreben kann.

An dieser Stelle können nicht alle Studien und Forschungsergebnisse erwähnt werden, die sich mit Hypertextsystemen beschäftigen. Einen umfangreichen Überblick über Studien mit Hypertextsystemen, bieten AYERSMAN (1996), FOLTZ (1996), TERGAN (1997a) und UNZ & HESSE (1999). Im Folgenden

wird näher auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten beim Lernen mit linearen Texten und nicht-linearen Hypertexten eingegangen.

3.4 Lernen mit linearen und nicht-linearen Lernumgebungen

Lineare Texte unterscheiden sich von nicht-linearen Hypertexten hauptsächlich dadurch, dass in ihnen die Leseabfolge vorgegeben ist und sie eher eine hierarchische Struktur aufweisen. Weitere Unterschiede, die sich u.a. auf Kohärenz, Akzeptabilität und den medienhistorischen Status beziehen, finden sich bei HUBER, O. (1998), FREISLER (1994) und HAMMWÖHNER (1993 & 1997).

Mögliche Vorteile linearer Lernumgebungen gegenüber nichtlinearen Hypertextsystemen sind:

- der Lerner vermag den Umfang sehr genau einzuschätzen; während der Umfang nicht-linearer Lernumgebungen häufig überschätzt wird und damit Lernmotivation und Lernstil negativ beeinflussen kann (vgl. ASTLEITNER et al. 1998);
- die systematische Präsentation der Inhalte erleichtert die Rezeption und der Textzusammenhang wird leichter erfahrbar. Die lineare Präsentation erleichtert somit den Aufbau eines ausgeprägten mentales Modells (vgl. SCHNOTZ 1987);
- der Lerner verliert nicht die Übersicht (kein *lost in Hyperspace*);
- der Lerner kann sich stärker auf die Inhalte konzentrieren und muss sein Arbeitsgedächtnis nicht zusätzlich belasten (kein cognitive overhead).

Mögliche Nachteile linearer Lernumgebungen sind:

- multiple Lernkontexte sind nur schwer realisierbar (vgl. STARK et al. 1995);
- der Lerner fühlt sich bevormundet und systemgesteuert;
- der Lerner hat größere Schwierigkeiten individuellen Lernbedürfnissen und eigenen Interessen nachzugehen;
- gezielte selektive Informationszugriffe sind nur schwer möglich (SCHNOTZ & ZINK 1997);
- komplexe Inhalte müssen in eine lineare Struktur gezwängt werden, dadurch wird die themenspezifische Komplexität für den Lernenden nur schwer erfahrbar.

Die Beschränkung der Lerneraktivität auf das Weiterklicken zur nächsten Seite kann ebenso zu Motivationsverlusten führen, wie die freie Navigation in einer riesigen Informationsmenge ohne Fortschrittsanzeige (SCHULMEISTER 1997). KERRES (1998) hält lineare Lernumgebungen eher dann für geeignet, wenn die inhaltliche Strukturierung relativ einfach gehalten ist (z.B. bei chronologischer oder stark hierarchischer Abfolge der Informationseinheiten).

TERGAN (1997b) gibt zu bedenken, dass die meisten empirisch belegten Vorteile von linearen Texten an Texten nachgewiesen wurden, die dem realen Kontext nicht entsprechen:

- die Texte wiesen nur eine geringe Wortanzahl auf (meist nur 500 Worte);
- die Texte waren gut strukturiert;
- der Sachverhalt war eng umschlossen;
- die Beschreibung der Sachverhalte erfolgte nur aus einer Perspektive.

Hinzu kommt die Tatsache, dass Lernende im realen Lese- oder Lernkontext vielfach selbstgesteuert Texte erarbeiten. TERGAN warnt davor, bestehende Untersuchungsergebnisse unreflektiert zu verallgemeinern, da es sein könnte, »dass sich eine Reihe von Forschungsbefunden der Textforschung als Artefakte des verwendeten Forschungsparadigmas erweisen« (S. 240). SCHNOTZ & ZINK (1997) sehen in Hypertexten und linearen Texten unterschiedliche Informationspräsentationen, die jedoch keine »inhärenten Eigenschaften besitzen, denen per se ein lernfördernder Effekt zukommt« (S. 96). Ziel ist es, die Bedingungen auszumachen, unter denen mit der jeweiligen Form der Informationspräsentation am besten gelernt werden kann. Als eine der Bedingungen nennen sie die spezifische Zielorientierung. In einer Studie sollten sich 60 Studierende mit dem Phänomen der Zeit- und Datumsunterschiede auf der Erdoberfläche auseinandersetzen. Sie wurden in Bezug auf die Thematik als Lernanfänger eingestuft. Zur Unterstützung der Zielorientierung erhielt die Hälfte von ihnen konkrete Aufgabenstellungen, z.B. zu Zeit- und Datumsunterschieden zwischen verschiedenen Städten auf der Erde, die andere Hälfte nicht. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass Hypertexte für den Wissenserwerb mit spezifischer Zielorientierung besser geeignet sind als lineare Texte. Lineare Texte sind dagegen für einen Wissenserwerb ohne spezifische Zielorientierung besser geeignet als Hypertexte (SCHNOTZ & ZINK 1997).

KUHLEN (1991) verweist auf Verfechter der sog. Emulationsthese, die davon ausgehen, dass die Informationspräsentation in linearen Texten für das Lernen sehr günstig ist. Um die positiven Eigenschaften von Büchern auf Hypertextsysteme zu übertragen, sollten Hypertextsysteme daher durch Einschränkungen der Verknüpfungen (*constraints*) möglichst linear gestaltet werden und die Eigenschaften des Hypertextsystems den Eigenschaften des Buches angeglichen werden (vgl. BÖHLE et al. 1997). Als Vorteile der Hypertextsysteme gegenüber den Schulbüchern blieben dann immer noch die weltweite Repräsentationsmöglichkeit der Informationen über das Internet, die einfachere und schnellere Aktualisierungsmöglichkeit, die Chance Videos, Animationen und Audiofiles zu implementieren und ein kleiner Rest an Interaktivität.

Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Hypertextsystemen und Büchern beschreiben WEI (1991) und ASTLEITNER et al. (1998). Demnach ist zum Beispiel die Zugriffsschnelligkeit auf Informationen bei Hypertextsystemen schnell, in Büchern im Gegensatz dazu durch das Blättern und die Hilfsmittelverwendung gering. Während die Interaktivität und die Lernerkontrolle in Hypertextsystemen hoch ist, ist sie in Büchern kaum vorhanden. Der Bezug zur Realität wird für Hypertextsysteme als hoch bis mittel, für Bücher als mittel bis niedrig eingestuft. Die Kosten zur Erreichung eines Lehrziels sind dagegen für Hypertextsysteme in der Regel höher als für Bücher. Übersichten zu Ver-

gleichsuntersuchungen zwischen Büchern und Hypertextsystemen findet man etwa bei McKNIGHT et al (1991) und SCHULMEISTER (1997). An dieser Stelle soll nicht weiter auf Ergebnisse dieser Untersuchungen eingegangen werden, da der Vergleich zweier Medien immer mit zusätzlichen Schwierigkeiten verbunden ist, nämlich zum Beispiel mit:

- den Einschätzungen des Lerners zur Schwierigkeit des Mediums und damit verbundene mentale Anstrengungen (vgl. SALOMON 1984);
- Neuigkeitseffekten beim Einsatz von Computern (*Hawthorne-Effekt*; vgl. SCHULMEISTER 1997);

Die Anzahl der variablen Faktoren ist so groß, dass Unterschiede in den Ergebnissen kaum auf einen bestimmten Faktor zurückgeführt werden können. Darüber hinaus sollte die Fragestellung nicht lauten, welches Medium „besser“ ist, sondern unter welchen Voraussetzungen Lernerfolge mit einem Medium beziehungsweise in einer Lernumgebung erzielt werden können (vgl. CLARK 1994; MAYER 1997).

3.5 Der Einfluss des Vorwissens auf den Lernerfolg mit linearen und nicht-linearen Lernumgebungen

Tiefes und bedeutungsvolles Lernen erfolgt immer dann, wenn neue Informationen mit bestehendem Vorwissen verknüpft werden (ANDERSON 1983; KINTSCH 1982 und 1994). Für das Lernen mit Texten spricht WINTER (1998) in diesem Kontext von elaborativer Textverarbeitung durch den Leser: bestehendes themenspezifisches Wissen wird aktiviert und die neu verarbeiteten Informationen werden sowohl untereinander als auch mit dem Vorwissen verknüpft. Nach SCHNOTZ (1994) werden dabei mentale Modelle aufgebaut, d.h. es bildet sich eine vernetzte mentale Wissensstruktur, die sukzessiv erweitert werden kann. Werden die neuen Informationen dagegen nur oberflächlich verarbeitet und eine isolierte Textrepräsentation gebildet, führt dies zum schnellen Vergessen (vgl. SUMFLETH et al. 1991). GLOWALLA et al. (1992a und 1992b) differenzieren zwischen dem Neuerwerb von Wissen und der Aktualisierung vorhandenen Wissens. Die Aktualisierung vorhandenen Wissens bezeichnen sie als Wiedererlernen von Wissen. Damit beim Wiedererlernen vorhandenes Wissen möglichst effektiv aufgefrischt und ergänzt werden kann, sind folgende Schritte notwendig:

- Beurteilung des Wissensstands durch den Lerner;
- Suche nach fehlenden Informationen;
- Schließen der festgestellten Wissenslücken.

Bei einem Wiedererlernkurs mit 52 Studenten (GLOWALLA 1992b) zeigte sich, dass Studenten die mit einem Hypertextsystem arbeiteten zu ähnlich guten Ergebnissen kamen, wie Studenten die mit einer langjährig erprobten äußerst effizienten selektiven Methode arbeiteten. GLOWALLA et al. betonen jedoch, dass gezielte Informationshilfen und Studiervorgaben notwendig sind.

Zwischen linearen Texten und den Informationseinheiten in Hypertexten gibt es sicherlich Parallelen. GROEBEN (1982) unterscheidet beim Verstehen eines Textes zwischen „*Textverständlichkeit*“ und „*Textverständnis*“. Während die Textverständlichkeit leserunabhängig ist, da sie durch Textmerkmale bestimmt wird, wird das Textverständnis durch individuelle Lesermerkmale beeinflusst,

z.B. durch Interessen des Lesers, durch sein Vorwissen und seine Lese- und Lernstrategien. Groeben unterscheidet vier Dimensionen der Textverständlichkeit:

- *Stilistische Einfachheit*; sie wird u.a. durch die Verwendung bekannter Wörter und kurzer, einfacher Sätze gewährleistet;
- *Semantische Redundanz*; sie bezieht sich auf ein harmonisches Gleichgewicht zwischen Textlänge und erforderlichen Wiederholungen;
- *Kognitive Strukturierung*; sie ergibt sich u.a. durch die inhaltliche und formale Gliederung;
- *Kognitiver Konflikt*; er wird beim Leser z.B. durch den Vergleich von bekannten mit unbekanntem Zusammenhängen / Informationen ausgelöst.

Nach Untersuchungsergebnissen von SUMFLETH & SCHÜTTLER (1995) ist für das Textverstehen das Schaffen von Anknüpfungsmöglichkeiten an vorhandenes Wissen entscheidend. Das Textverständnis wird dabei am stärksten durch die kognitive Strukturierung und die semantische Redundanz der Texte beeinflusst. Ähnliche Parameter sollten für die Informationseinheiten in Hypertextsystemen gelten. Wenn ein Text nicht kohärent aufgebaut ist, weil wichtige Informationen fehlen oder zusammengehörende Bedeutungseinheiten weit auseinandergerissen sind, kommt es zur Ausbildung von Kohärenzlücken (vgl. MANDL 1981). Diese Kohärenzlücken kann der Leser evtl. durch Inferenzen (Schlussfolgerungen) schließen. Dies gelingt besonders dann, wenn beim Leser das Vorwissen und geeignete Schemata aktiviert werden. Auf der kognitiven Ebene konstruiert der Leser dabei ausgehend vom Text Propositionen. Diesen Prozess und die daraus resultierende erschlossene Proposition bezeichnet MANDL als Inferenz. Da das Schließen der Kohärenzlücken ein aktiver und konstruktiver Prozess ist, wird besonders effektiv gelernt. Sind die Kohärenzlücken für den Leser zu groß um sie zu schließen, wird der Text nicht oder nur unvollständig verstanden. Ein Text sollte demnach so konzipiert sein, dass er eine Reihe von Kohärenzlücken aufweist, diese aber nur so groß sind, dass der Leser sie mit mentaler Anstrengung überbrücken kann. WINTER (1994) und GERDES (1997) gehen davon aus, dass kohärente Texte für Lerner mit niedrigem Vorwissen optimal sind, für Lerner mit hohem Vorwissen sollten die Texte dagegen Kohärenzlücken enthalten (inkohärente Texte). Hypertexte werden von den meisten Autoren (vgl. FREISLER 1994 und GERDES 1997) als weniger kohärent angesehen als lineare Texte. Demzufolge sollten Lerner mit niedrigem Vorwissen stärker von einem linearen Text als von einem Hypertext profitieren. Bei zwei Untersuchungen, die GERDES mit Studenten durchführte, zeigte sich dann auch, dass die Versuchspersonen (Vpn) mit niedrigem Vorwissen mit den linearen Texten bessere Lernergebnisse erzielten als mit den verwendeten Hypertextsystemen. Nur Versuchspersonen mit hohem Vorwissen konnten von den Hypertextsystemen stärker profitieren als von den linearen Texten. Ein generelles Problem dabei ist die Definition von niedrigem und hohem Vorwissen. Nach GERDES Aussagen verfügte zumindest in der ersten Untersuchung keine Versuchsperson über wirklich hohes Vorwissen: »Obwohl einige Vpn unerwarteterweise 20 Punkte im Vorwissenstest erreichten, blieben diese Werte doch weit entfernt von den maximal 78 zu erreichenden Punkten« (GERDES 1997, S. 176). Von 70 Versuchspersonen erreichten »20 Vpn 10 Punkte oder mehr, 10 Vpn 15 Punkte oder mehr, fünf Vpn sogar 20 Punkte oder mehr« (S. 154). Für die zweite Untersuchung werden die Ergebnisse des

Multiple-Choice-Tests, der zur Einschätzung des Vorwissens eingesetzt wurde, nicht genauer spezifiziert. Es wird auch nicht ersichtlich, wie stark die verwendeten Hypertextsysteme vernetzt sind. Die Lernumgebung der ersten Untersuchung zu *Ausmaßen, Gestalt und Schalenbau der Erde* umfasst in der linearen Version dreiundvierzig Seiten mit einundzwanzig Themenfeldern. Diese einundzwanzig Themenfelder weisen im Hypertextsystem fünfundzwanzig semantische Links auf, was recht wenig erscheint. Im linearen Text werden Begriffe über Fußnoten erläutert (nicht wie üblicherweise über ein Glossar). In der Hypertextumgebung muss der Benutzer die Begriffe erst anklicken. Die Themenfelder der Lernumgebungen sind in beiden Untersuchungen eher hierarchisch gegliedert. Hier sollen keinesfalls die Untersuchungsergebnisse von GERDES geschmälert werden. Es gilt nur genauer hinzuschauen, wie die Lernumgebungen konzipiert waren und unter welchen Bedingungen die Ergebnisse erzielt wurden, damit Untersuchungsergebnisse nicht pauschalisiert werden. Es stellt sich die Frage, ob Hypertextsysteme unter bestimmten Bedingungen auch bei Lernern mit niedrigem Vorwissen erfolgreicher eingesetzt werden können als ihre linearen Pendanten.

4. Konzeption von Hypertext-Lernumgebungen

Bei der Konzeption von Hypertext-Lernumgebungen ist zwischen allgemeinen und speziellen Anforderungen, die an die Lernumgebung gestellt werden, zu differenzieren. Allgemeine Anforderungen an eine Hypertext-Lernumgebung sind u.a. (vgl. SEEL et al. 1992; EULER 1994; LSW 1994; WAGNER 1995; NIELSEN 1996; VAN LÜCK 1996; TULODZIECKI 1996), dass sie

- als Informationsangebote zu gestalten sind, die selbstorganisierte und reflexive Lernprozesse zulassen;
- ein entdeckendes und aktiv konstruierendes Lernen ermöglichen;
- die Konzentrations- und Lernfähigkeit fördern;
- die Ergebnisqualität verbessern (effizienzsteigernd wirken);
- einen motivierenden Effekt ausüben und sich so positiv auf Lerndauer und den Lernerfolg auswirken;
- das Erkenntnisinteresse fördern und einen wissenschaftsorientierten Unterricht unterstützen;
- das Vorwissen aktivieren um möglichst viele Anknüpfungspunkte zur Integration neuer Informationen zu gewährleisten;
- die Informationen lebensnah darstellen (Alltagsbezug);
- die Sach- und Sinnzusammenhänge fachlich korrekt und hinreichend komplex repräsentieren;
- Richtlinien- und Lehrplananforderungen entsprechen;
- eine möglichst hohe Transparenz aufweisen, d.h. für den Benutzer durchschaubar sind;
- einfach in der Bedienung sind (möglichst intuitiv zu nutzen);
- eine niedrige Fehlerrate aufweisen, d.h. dem Benutzer nur wenig Fehler unterlaufen, die er problemlos rückgängig machen kann;
- gerne vom Benutzer ausgewählt werden.

Aus diesen allgemeinen Anforderungen resultieren zum Teil die speziellen Anforderungen, die z.B. die Inhaltsauswahl, die Anzahl der Knoten, den Umfang der Knoten, die Verknüpfungszahl, die Inhaltspräsentation, das Seitenlayout und die Navigationshilfen betreffen. Auf die speziellen Anforderungen wird genauer bei der Beschreibung der Lernumgebungen zum Thema Seife eingegangen.

Der Prozess zur Erstellung einer Lernumgebung lässt sich in mehrere Phasen unterteilen, wobei – je nach Autor und Schwerpunktsetzung – Zahl und Abgrenzung der Phasen variieren kann (vgl. REINMANN-ROTHMEIER et al. 1994, JARZ 1997; BRUNS & GAJEWSKI 1999). Grob können vier Phasen unterschieden werden (Abbildung 4.1): die Vorüberlegungs- und Entwurfphase, die Produktionsphase, die Praxis- oder Anwendungsphase und die Phase der Qualitätssicherung, die sich über den gesamten Entwicklungsprozess erstrecken kann.

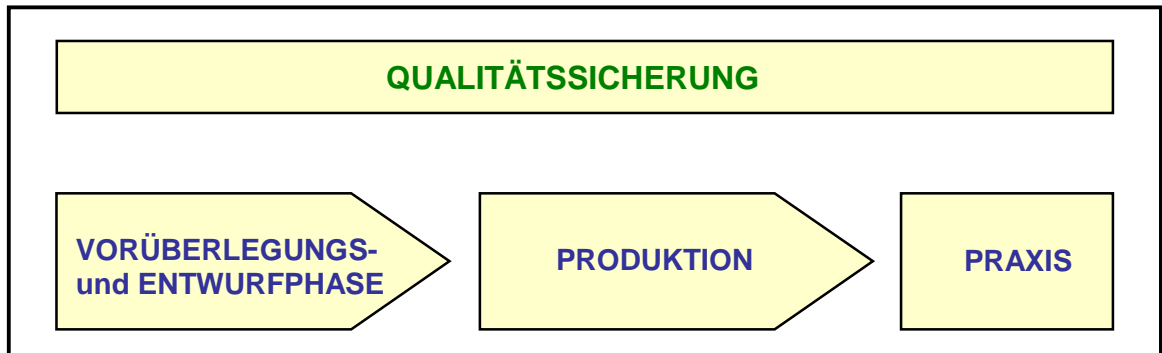


Abb. 4.1: Phasen zur Erstellung einer Hypertext-Lernumgebung.

In der 1. Phase, der Vorüberlegungs- und Entwurfphase, sind zunächst die Rahmenbedingungen des Projektes zu klären (Abbildung 4.2) und ein Projektplan zu entwerfen. Die Rahmenbedingungen beziehen sich auf die Projektbeteiligten (wer produziert?), die Zielgruppe (für wen?), die Inhalte und die programmtechnische Organisation (was?), die technischen und finanziellen Ressourcen (womit?) und die zeitliche Strukturierung (wann?). Die einzelnen Rahmenbedingungen beeinflussen sich gegenseitig, z.B. kann sich ein geringes Budget auf die Inhaltpräsentation und die Projektbeteiligten auswirken, weil z.B. kein Layout-Designer angestellt werden kann oder weil auf die Implementierung von 3D-Graphiken verzichtet werden muss. Die einzelnen Rahmenbedingungen sind in Tabelle 4.1 genauer spezifiziert. Anhand der Rahmenbedingungen wird dann der Projektplan konzipiert. Er soll die Hypertext-Lernumgebung und die Produktionsphasen widerspiegeln. Essentiell für die Konzeption ist eine modulare Gliederung, damit bei zeitlichen oder finanziellen Engpässen Teilbereiche ausgegliedert werden können oder das Hypertextsystem bei Bedarf problemlos weiterentwickelt werden kann.



Abb. 4.2: Rahmenbedingungen eines Projektes zur Hypertextsystemerstellung.

Rahmenbedingungen	Spezifikation
Projektbeteiligte	<ul style="list-style-type: none"> - Auftraggeber - Projektmanagement - Spezialisten (Programmierer, Graphik-Designer ...)
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> - Zielgruppenanalyse - Alter - Lernerbiographie (thematische / programmtechnische Vorkenntnisse) - Motivation - Homogenität bzw. Heterogenität der Benutzergruppe
Inhalte und programmtechnische Organisation	<ul style="list-style-type: none"> - Informationspräsentation (multicodal oder auch multimodal)? - Navigationsmöglichkeiten - Freiheitsgrade für den Anwender (bezogen auf Lernstrategie und Lernweg) - Navigationshilfen - Hilfefunktionen - Screendesign (Funktionale Flächen, Hintergründe, Schriftbild, Logos...) - Inhaltlicher Gesamtumfang und Umfang der Teilbereiche - Fachliche und didaktische Strukturierung der Teilbereiche - Richt- und Groblernziele - Formen der Informationspräsentation für einzelne Inhaltsbereiche
Technische und finanzielle Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> - Hardware, die genutzt werden kann (PCs, Digitale Kameras, Scanner...) - Software (Graphikprogramme, 3D-Zeichenprogramme, Autorensysteme, HTML-Editoren...) - Budget
Zeitliche Strukturierung	<ul style="list-style-type: none"> - Termine für einzelne Graphiken, Bilder, Textsegmente... - Deadline für Teilbereiche / Module - Deadline für das Gesamtprojekt

Tab. 4.1: Spezifizierung der Rahmenbedingungen zur Erstellung einer Hypertext-Lernumgebung.

In der zweiten Phase erfolgt die Produktion des Hypertextsystems. Primäres Ziel ist es, die Vorüberlegungen der ersten Phase in die Produktionsphase zu transferieren und erneut zu reflektieren. Bei der Produktion sind neben speziellen Designprinzipien für Hypertext (vgl. JONASSEN 1988; KEARSLEY 1988; CATES 1992; LANDOW 1992; LSW 1994; GLOOR 1997; HARBECK & SHERMAN 1999) auch Prinzipien des Textdesigns (vgl. GROEBEN 1982; FREISLER 1994; JARZ 1997), des Graphikdesigns (vgl. WEIDENMANN 1991, 1994 und 1995) und des Screendesigns (vgl. GRABINGER 1996; LYNCH & HORTON 1999) zu berücksichtigen.

An die Produktionsphase schließt sich die Praxisphase an. In dieser Phase wird das Hypertextsystem getestet, gewartet und ggf. erweitert. Die Phase der Qualitätssicherung erstreckt sich im Idealfall über den gesamten Projektverlauf. Es sind Qualitätsstandards zu erstellen und das Hypertextsystem sollte bereits während der Produktionsphase beurteilt und überprüft werden (Formative oder Entwicklungs-Evaluation), so dass Anregungen noch in die laufende Produktion einfließen können. Als Prüfer können externe Experten, Anwender der Zielgruppe und Projektbeteiligte (interne Betatesters) fungieren. Qualitätskriterien, die zur Beurteilung und Überprüfung des Hypertextsystems herangezogen werden können, finden sich bei GRÄBER (1992), TOLHURST (1992), TESSMER (1996), ASTLEITNER et al. (1998), KUITTINEN (1998), TERGAN (1998) und TULODZIECKI (2000). Die formative Evaluation kann sehr gut in die Methode des Rapid Prototyping (Spiralmodell, vgl. Dunn 1993) einfließen. Beim Rapid Prototyping werden die einzelnen Phasen zur Erstellung eines Hypertextsystems (oder allgemein für eine Software-Entwicklung) mehrfach in kurzen Zyklen durchlaufen (siehe Abb. 4.3). Dies hat den Vorteil, dass schon sehr früh erste lauffähige Versionen der Hypertext-Lernumgebung existieren, die dann getestet und optimiert werden können.

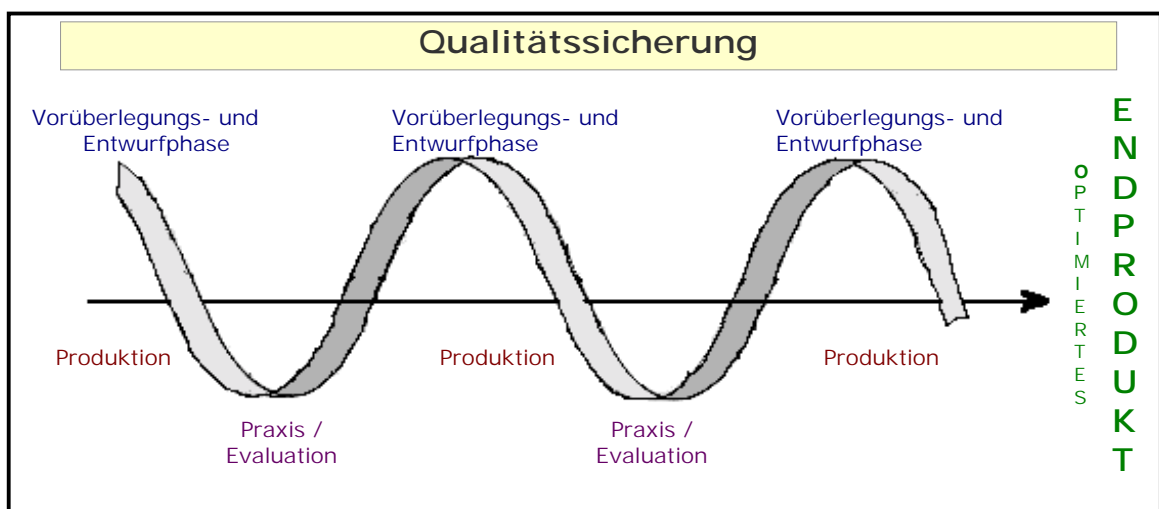


Abb. 4.3: Rapid Prototyping zur Erstellung und Optimierung einer Hypertext-Lernumgebung.

5. Einsatz von Hypertext-Lernumgebungen im Schulunterricht

Der Einsatz von Lehr- und Lernsoftware im Schulunterricht und die Nutzung des Internets als Informations- und Kommunikationsplattform hat in den vergangenen Jahren in der Schule stetig zugenommen. In Nordrhein-Westfalen sollen laut NRW-Bildungsministerin BEHLER (2000) bis zum Ende des Jahres 2000 alle Schulen „am Netz“ sein. Die Koalitionsvereinbarung der Landesregierung NRW sieht vor, dass bis zur Mitte der Legislaturperiode (also bis 2002) in allen Klassen Internetanschlüsse und Computer verfügbar sind (vgl. MSWF 2000). Ähnliche Initiativen wie die dazu in NRW ins Leben gerufene Initiative *e-nitiative.nrw* (e-nitiative.nrw 2000) finden sich in anderen Bundesländern und parallel zu der hardwaretechnischen Ausstattung der Schulen sollen die Lehrkräfte für das Lernen und Lehren mit „Neuen Medien“ weiterqualifiziert werden. Erklärtes Ziel ist es, so Staatssekretär MEYER-HESEMANN in der Eröffnungsrede zur Tagung „Technikwartung und IT-Management von Schulen in NRW“, am 26. Oktober 2000 in Leverkusen, dass »jede Schülerin und jeder Schüler, jede Lehrerin und jeder Lehrer tatsächlich in allen Fächern und Jahrgangsstufen die Möglichkeit haben sollen, die Arbeitsmittel Computer, Multimedia und Internet sinnvoll für den Lernprozess einzusetzen« (MEYER-HESEMANN 2000). Selbstgesteuertes, betreutes Lernen und neue Formen des Lernens im Internet werden nach Prognosen der Bundesministerin für Bildung und Forschung BULMAHN (2000) im zukünftigen Unterricht eine wachsende Rolle spielen. Dabei ist es durchaus denkbar, dass auf Hypertexten basierende Lehr- und Lernsoftware die Funktionen von Schulbüchern ersetzen werden. Ähnlich wie für das Schulbuch gibt es auch für Lehr- und Lernsoftware und für das Informationsangebot im World Wide Web diverse Nutzungsmöglichkeiten im Unterrichtskontext (Abbildung 5.1). Sie können u.a. eingesetzt werden (vgl. WEBER 1992; ESCHENHAGEN et al. 1993; Rat für Forschung, Technologie und Innovation 1995):

- als Unterrichtsvorbereitung für Schülerinnen und Schüler;
- zur fachlichen Vorbereitung und zur Strukturierung von Unterrichtsinhalten für die Lehrkraft;
- zum Lesen und Interpretieren von Texten im Unterricht;
- zur Generierung von Fragestellungen;
- zur Besprechung von Abbildungen, Diagrammen, Tabellen, Animationen, Simulationen und Videosequenzen;
- zur Erarbeitung von Inhalten, zur Bearbeitung von Fragestellungen oder zur Lösung von Aufgaben in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit;
- als Anregung zur Durchführung von Experimenten, Exkursionen, Diskussionsrunden, Befragungen etc.;
- als Hilfe bei der Hausaufgabenbearbeitung;
- zur Wiederholung und zur Festigung des Gelernten und zur Nachbereitung des Unterrichts;
- zur Vorbereitung auf Klausuren und Referate;
- als Ersatz oder Ergänzung für andere Medien (z.B. Originaltexte, Abbildungen, Arbeitsblätter, Modelle, Videos, Overheadfolien etc.).

FRIZ (1997) und ASTLEITNER et al. (1998) verweisen darauf, dass die Effizienz von Schulbüchern, Lehr-/Lernsoftware und Internetangeboten von der Qualität der Fragestellungen abhängen, die Schülerinnen und Schüler zu Beginn oder im Laufe der Beschäftigung mit dem Informationsangebot entwickeln und von der Art und der Qualität der Rückmeldung, die die Schülerinnen und Schüler auf ihre Lösungsversuche erhalten. Ausschlaggebend dafür und damit für den erfolgreichen Einsatz der Informationsangebote ist neben der didaktischen Kompetenz der Lehrkräfte die Qualität der Informations-Angebote. Momentan sind die Hypertextelemente im WWW vielfach chaotisch strukturiert. Es existieren zu einzelnen Themengebieten zwar eine Vielzahl von Einzeldokumenten, diese erschließen die Thematik aber häufig nur bruchstückhaft, sind untereinander ungenügend verknüpft, seltenst aufeinander abgestimmt und zumeist kaum oder nur unzureichend didaktisch reflektiert. Es existieren eine Vielzahl positiver Ausnahmen, die aber bei der Fülle an Gesamtinformationen doch nur Ausnahmen bleiben. Zur Zeit sind Schulbücher als Lernsysteme für die meisten Themengebiete die bessere Wahl. Diese Situation kann sich in den kommenden Jahren ändern. Die Realisierung von Hypertext- und Multimedia-Anwendungen für den Schulsektor setzt jedoch die mediendidaktische Fundierung und experimentelle Absicherung zwingend voraus (vgl. ISSING, 1994). Sollten sich dabei die bisherigen Untersuchungsergebnisse u.a. von GERDES (1997) bestätigen, dass vernetzte Hypertextsysteme nur bei Lernern mit hohem Vorwissen Vorteile gegenüber linearen Lernumgebungen bieten, so ist dies bei der Nutzung des Internets im Schulunterricht und bei der Konzeption von Hypertextsystemen zu berücksichtigen.

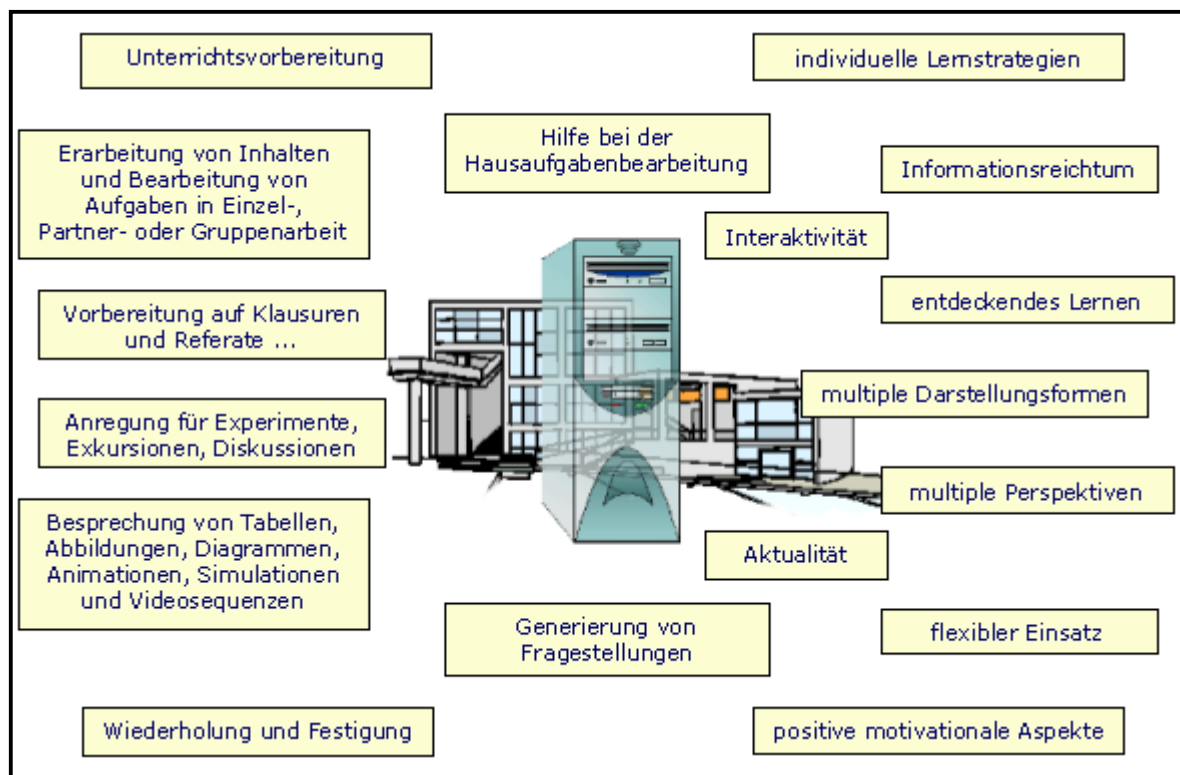


Abb. 5.1: Einsatzmöglichkeiten und Vorteile von Hypertext-Lernumgebungen im Unterrichtskontext.

Experimenteller Teil

6. Zielsetzung und Fragestellungen

In der vorliegenden Arbeit wird der Umgang von Lernenden mit linearen und nicht-linearen Hypertext-Lernumgebungen und damit verbundene Lernerfolge analysiert. Als Zielgruppe von besonderem Forschungsinteresse im Hinblick auf einen Einsatz von Hypertext-Lernumgebungen im Schulunterricht sind dabei Lernende, die über ein niedriges Vorwissen verfügen. Die im Rahmen der Arbeit eingesetzten Lernumgebungen beziehen sich auf chemische Kontexte, genauer auf die Thematik *Seifen*. Die beiden Lernumgebungen sind inhaltlich redundant aufgebaut und unterscheiden sich nur in ihrem Verknüpfungsgrad. Es wird Wert darauf gelegt, dass die Lernumgebungen unter fachlichen, fachdidaktischen, mediendidaktischen und gestalterischen Gesichtspunkten entwickelt und optimiert werden. Bisherige Erkenntnisse zur Konzeption von Hypertext-Lernumgebungen werden berücksichtigt (vgl. Kapitel 3).

Gerade die Chemie ist eine Wissenschaft, deren einzelne Teilbereiche stark miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig bedingen, die aber auch zu anderen Wissenschaften, z.B. zur Physik, Biologie und Mathematik zahlreiche Verknüpfungspunkte besitzen, was nicht zuletzt das aktuelle deutschlandweite Projekt *Vernetztes Studium Chemie* zeigt. Diese Aspekte und die Tatsachen, dass die Chemie einen ständigen enormen Wissenszuwachs erfährt und dass zum Verständnis und zur Erklärung chemischer Sachverhalte auf ein breites, fundiertes Grundlagenwissen zurückgegriffen werden muss, prädestinieren chemische Inhalte dafür, in vernetzten Lernumgebungen aufgearbeitet und präsentiert zu werden. Sollte sich herausstellen, dass Lernende mit geringem Vorwissen generell durch vernetzte Lernumgebungen überfordert werden, könnten derartige Lernumgebungen im Schulunterricht erst zum Abschluss von Unterrichtseinheiten eingesetzt werden oder wären auf den universitären Bereich und auf Weiterbildungsmaßnahmen beschränkt. Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit lautet daher:

Können vernetzte Hypertextsysteme auch bei Lernern mit niedrigem Vorwissen den Wissensaufbau und damit den Lernerfolg unterstützen?

Zunächst wird eine Pilotstudie durchgeführt, an der acht Erstsemesterstudierende und fünf Experten (2 Referendare, 1 Lehrer 1 Chemiker und 1 Fachdidaktiker) beteiligt sind. Mit der Pilotstudie werden verschiedene Ziele verfolgt:

- Erprobung und Optimierung der eingesetzten linearen und nicht-linearen Lernumgebungen unter fachlichen, fachdidaktischen, mediendidaktischen und gestalterischen Aspekten;
- Erprobung und Optimierung verschiedener Testinstrumentarien (Fragebogen, Own-Word-Mapping, Leistungstest, Methode des Lauten Denkens) in Bezug auf ihre Einsatzfähigkeit und Aussagekräftigkeit in der Hauptstudie. Der Fragebogen dient dazu, die Vorerfahrungen im Bereich Computer / Internet zu erfassen. Anhand der Own-Word Maps und der konventionellen Aufgaben werden zunächst das Vorwissen der Erstsemesterstudierenden und nach dem Arbeiten mit einer Hypertext-Lernumgebung der Lernerfolg erhoben. Die Laut-Denken-Protokolle werden erstellt, während die Studierenden mit einer der Hypertext-Lernum-

gebungen arbeiten um Hinweise auf die Intentionen für das Anklicken oder Nicht-Anklicken bestimmter Verknüpfungen zu erhalten.

- Sie soll erste Hinweise geben, welche Faktoren das Navigationsverhalten bestimmen und welche Faktoren das Antwortverhalten der Lernenden in den Posttests bestimmen. Dabei arbeiten die Erstsemesterstudierenden entweder mit der linearen oder der nicht-linearen Lernumgebung.

Die sich anschließende Hauptstudie wird mit Schülerinnen und Schülern dreier elfter Klassen der gymnasialen Oberstufe durchgeführt. Computerkenntnisse und Vorwissen der Schülerinnen und Schüler werden erhoben. Einige Wochen später arbeiten die Schülerinnen und Schüler in Einzelarbeit mit einer der optimierten linearen oder nicht-linearen Hypertext-Lernumgebungen, wobei das Navigationsverhalten festgehalten wird. In einem direkt anknüpfenden Posttest werden die Lernerfolge erhoben. In der folgenden Graphik sind die wichtigsten Teilbereiche der Untersuchung graphisch zusammengefasst.

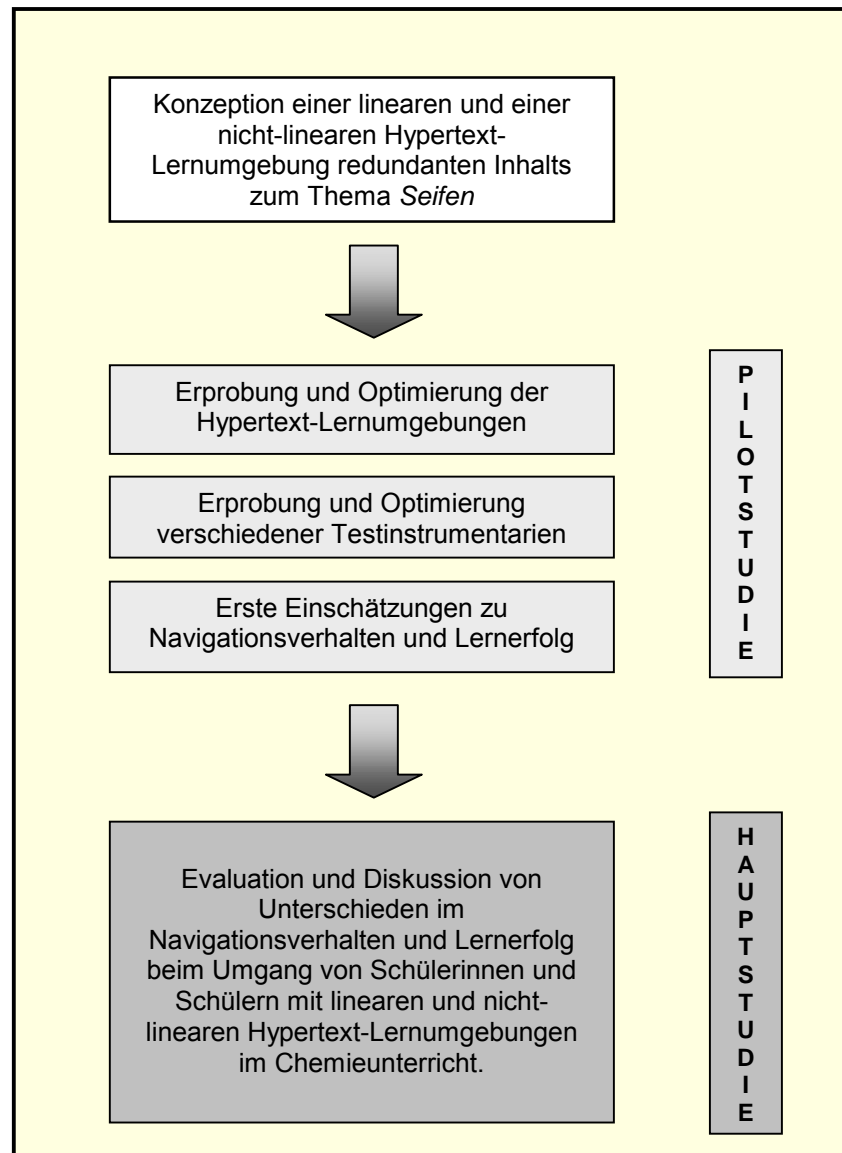


Abb. 6.1: Teilbereiche der Untersuchung.

7. Pilotstudie

7.1 Beschreibung der linearen und nicht-linearen Lernumgebungen zum Thema „Seifen“

In den folgenden Abschnitten werden die lineare und die nicht-lineare Lernumgebung zum Thema „Seifen“ charakterisiert und Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Lernumgebungen hervorgehoben.

7.1.1 Gemeinsamkeiten der beiden Lernumgebungen

Inhaltlich sind beide Lernumgebungen identisch. Behandelt wird das Thema „Seifen“, wobei die Thematik in die Kapitel „Herstellung und Zusammensetzung heutiger Seifen“, „Wirkungsweise von Seife“ und „Nachteile beim Waschen mit Seife“ unterteilt ist.

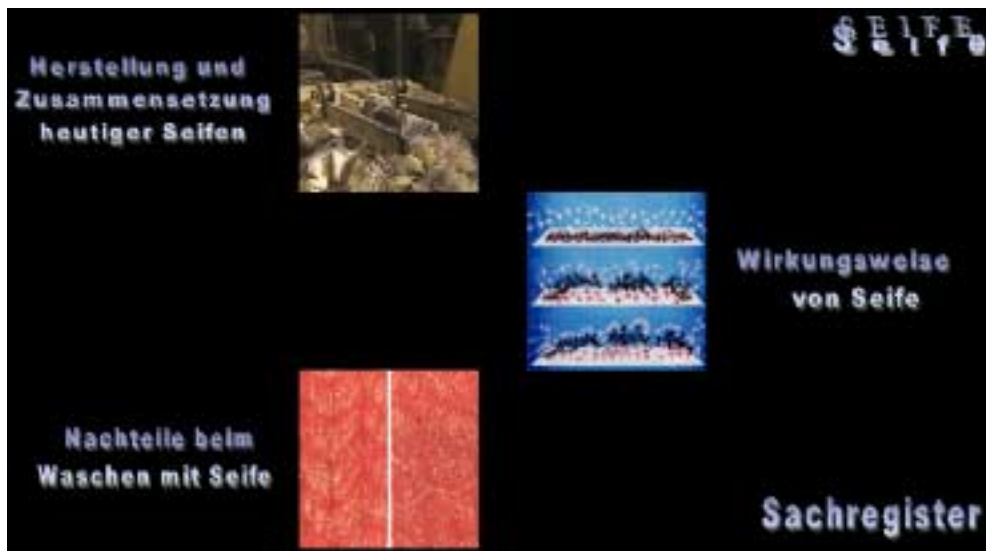


Abb. 7.1: Übersichtsseite der Lernumgebung „Seife“.

Abbildung 7.1 zeigt die Übersichtsseite der Lernumgebungen. Die drei Graphiken sollen die drei Kapitel symbolisieren. Durch Anklicken der Graphiken oder der Schriftzüge navigiert der Anwender zu den Kapiteln. Beim Darübergleiten mit dem Mauszeiger öffnet sich automatisch ein kleines Textfenster (mauszeigersensitive Textfenster), in dem angezeigt wird, zu welcher Seite der Link führt; darüber hinaus verändert der Mauszeiger seine Form, so dass der Anwender die Verknüpfung erkennt. Außerdem können die Anwender über ein Sachregister verfügen (Abbildung 7.2) und so direkt auf bestimmte Themenbereiche zugreifen. Siebzig Begriffe sind hierin verschlagwortet.

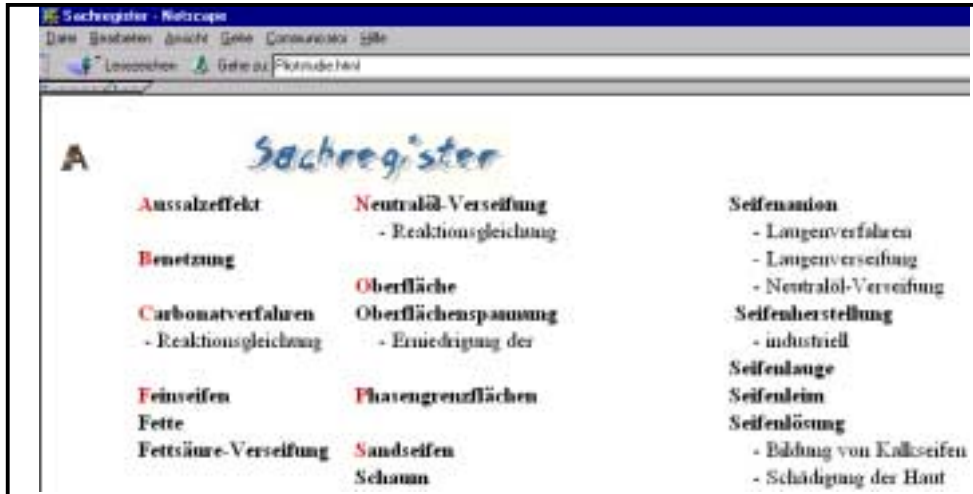


Abb. 7.2: Ausschnitt aus dem Sachregister.

Wählt der Anwender auf der Übersichtsseite ein Kapitel, z.B. „*Wirkungsweise von Seife*“, aus so gelangt er über eine Seite, in der das ausgewählte Kapitel benannt wird (Abbildung 7.3) in das entsprechende Kapitel. Diese zusätzliche Seite soll dem Anwender bewusst machen, in welches Themengebiet er nun navigiert.



Abb. 7.3: Übergangseite zu einem ausgewählten Kapitel.

Innerhalb der Kapitel gibt es drei verschiedene Typen von Seiten: Hauptseiten, Nebenseite und Begriffsdefinitionsseiten. Neben den inhaltlichen Unterschieden differieren diese Seiten im Layout von Überschrift und Hintergrundbild, dies soll die Orientierung innerhalb der Lernumgebung unterstützen. Die Hauptseiten bilden den „Rumpf“ der Lernumgebung (Abbildung 7.4).



Abb. 7.4: Hauptseite im Kapitel „Wirkungsweise von Seife“.

Die Hauptseiten gliedern sich in einen inneren Inhaltsbereich (hell hinterlegt) und einen äußeren Bereich, der Navigationsbutton und Informationen über das aufgerufene Kapitel enthält. Über die Button kann der Anwender z.B. die Übersichtsseite aufrufen oder innerhalb des Kapitels vor und zurück navigieren. Der eigentliche Inhaltsbereich ist eher textorientiert konzipiert. Nach Möglichkeit sind die Seiten dabei so gestaltet, dass jeweils der gesamte Inhalt einer Seite auf einer bis maximal zwei Bildschirmseiten wiedergegeben werden kann, der Anwender also nicht zu viel mit Hilfe der rechten Bildlaufleiste „scrollen“ muss. Durch das „Anklicken“ kleiner Vorschaubilder gelangt der Anwender zu den Nebenseiten. Diese sind stärker graphisch orientiert (Abbildung 7.5). Ihre Funktion ist es, die Inhalte der Hauptseiten zu ergänzen und zu verdeutlichen.



Abb. 7.5: Graphisch orientierte Nebenseite.

Von einer Nebenseite kann der Anwender nur wieder zurück zur Ausgangshauptseite oder zur Übersichtsseite.

Die Begriffsdefinitionsseiten (Abbildung 7.6) enthalten ähnlich wie ein Lexikon Informationen zu naturwissenschaftlichen Fachausdrücken. Dabei handelt es sich um Fachausdrücke, die innerhalb der Lernumgebung erwähnt werden und von denen der Anwender zumindest ein Grundverständnis benötigt um bestimmte Zusammenhänge aus dem Bereich *Seifen* verstehen zu können. Die Begriffsdefinitionsseiten sollen dem Anwender ein bestimmtes „Vorwissen“ vermitteln. Dabei können die Informationen auf den Begriffsdefinitionsseiten für den Anwender völlig neu sein, so dass diese neu erlernt werden müssen; es kann aber auch sein, dass der Anwender zu diesen Begriffen im Laufe seine Lebens bereits gelernt hat, sich aber ad hoc nicht erinnern kann. In diesem Fall sollen die Begriffsdefinitionsseiten ein Wiedererlernen von Wissen unterstützen. Insgesamt gibt es zu achtundzwanzig naturwissenschaftlichen Fachausdrücken Begriffsdefinitionsseiten, z.B. zu *Adsorption*, *Dipolmolekül*, *Emulsion*, *Fette*, *Katalysator*, *Lipophil* und *Wasserstoffbrückenbindungen*.

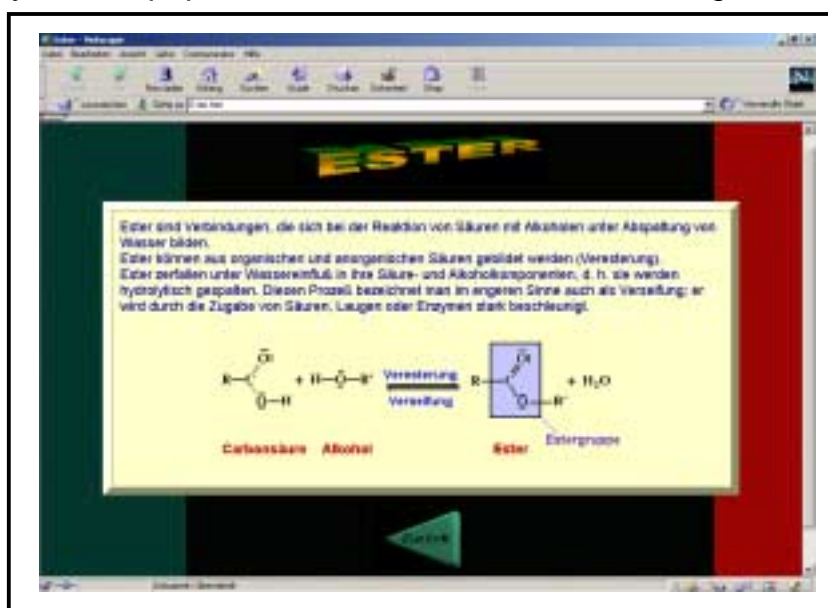


Abb. 7.6: Begriffsdefinitionsseite zum Begriff „Ester“.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Anzahl der Haupt- und Nebenseiten, Graphiken und Wörter:

	Anzahl Hauptseiten	Anzahl Nebenseiten	Anzahl Wörter	Anzahl Graphiken*
Kapitel „Herstellung und Zusammensetzung heutiger Seifen“	4	7	765	10
Kapitel „Wirkungsweise von Seifen“	10	15	2187	24
Kapitel „Nachteile beim Waschen mit Seifen“	2	2	331	7
Gesamtzahl	16	24	3283	41

*: Nur Graphiken mit themenspezifischem Inhalt; keine Button, Überschriften, Vorschaubilder (Links)

Tab. 7.1: Seiten innerhalb der linearen und nicht-linearen Lernumgebung zum Thema Seifen.

7.1.2 Unterschiede der beiden Lernumgebungen

Die beiden Lernumgebungen unterscheiden sich in der Art und Anzahl der Verknüpfungen der Seiten untereinander und damit in der Möglichkeit auf Informationen zuzugreifen. In der linearen Lernumgebung können die Anwender mit Hilfe der Übersichtsseite auf einzelne Kapitel zugreifen und innerhalb der Kapitel über Vorwärts- und Rückwärts-Button von einer Seite zur nächsten navigieren. Innerhalb der Hauptseiten haben sie die Möglichkeit auf die graphisch orientierten Nebenseiten zuzugreifen; von hier aus können sie nur zurück zu der Hauptseite, von der aus sie auf die Nebenseite Zugriff erlangt haben. Um auf die Begriffsdefinitionsseiten zugreifen zu können, müssen die Anwender über einen Button in der Navigationsleiste (Abbildung 7.4) zum Glossar navigieren, das eine Übersicht über alle verfügbaren Begriffsdefinitionsseiten (Abbildung 7.7) bietet. Über die Zurück-Funktion des Browsers gelangt der Anwender dann auf die Hauptseite, von der aus er das Glossar aufgerufen hat.

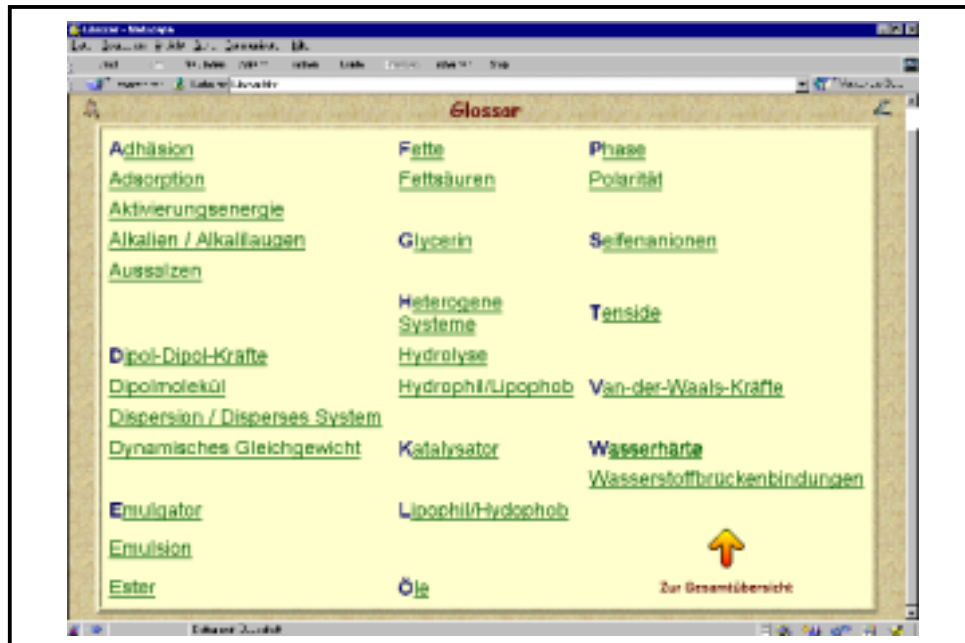


Abb. 7.7: Glossar der linearen Lernumgebung.

Die Abbildung 7.8 zeigt die Navigationsmöglichkeiten innerhalb der einzelnen Kapitel in der linearen Lernumgebung. In der Abbildung ist nicht berücksichtigt, dass der Anwender von jeder Seite aus noch auf das Glossar und damit auf die Begriffsdefinitionsseiten zugreifen kann. Außerdem gelangt er von jeder Seite auf die Übersichtsseite und von dort aus auf ein anderes Kapitel.

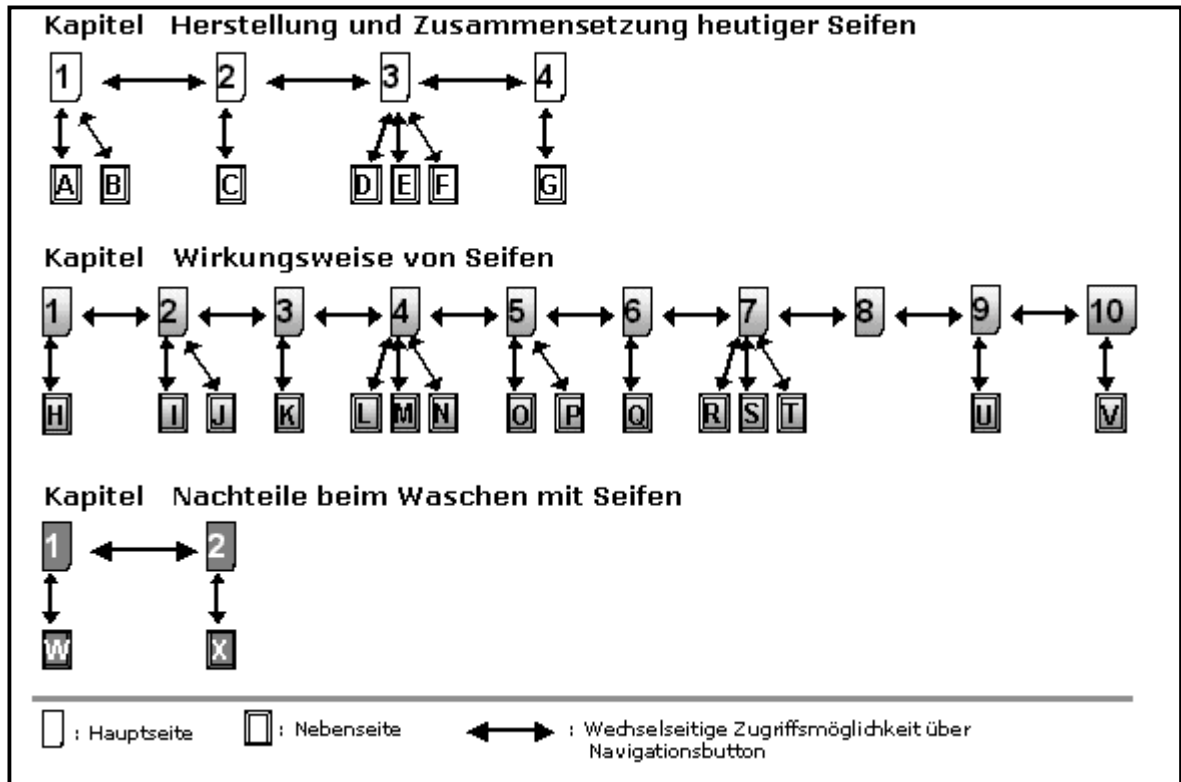


Abb. 7.8: Navigationsmöglichkeiten innerhalb der linearen Lernumgebung.

In der nicht-linearen Lernumgebung haben die Anwender darüber hinaus die Möglichkeit zwischen verschiedenen Hauptseiten – auch unterschiedlicher Kapitel – zu „springen“. Wenn es von der Thematik her sinnvoll erscheint sind zusätzliche Links integriert. Dabei dient ein Wort gleichzeitig als Informationsträger und als „übergreifender Link“. Abbildung 7.9 zeigt eine Hauptseite in der nicht-linearen Lernumgebung. Der Begriff „Oberflächenspannung“ dient hierbei als Informationsträger und als übergreifender Link, d.h. durch Aktivierung der Verknüpfung gelangt der Anwender auf eine andere Hauptseite, auf der näher auf die Thematik „Oberflächenspannung“ eingegangen wird. Die übergreifenden Links sind sowohl farblich als auch durch eine vom restlichen Text abweichende Schriftart kenntlich gemacht. Zusätzlich öffnet sich beim Darübergleiten mit dem Mauszeiger automatisch ein kleines Textfenster, in dem angezeigt wird zu welcher Hauptseite der Link führt. Gelangt der Anwender über einen solchen übergreifenden Link auf eine andere Hauptseite, so kann er ggf. über die Zurück-Funktion des Browsers auf die vorher gesehene Hauptseite zugreifen. Ein weiterer Unterscheidungspunkt zu der linearen Umgebung ist die Zugriffsmöglichkeit auf die Begriffsdefinitionsseiten. Der Anwender kann direkt von den Haupt- oder Nebenseiten auf entsprechende Begriffsdefinitionsseiten zugreifen. Auch hierbei dient der Begriff im Text sowohl als Informationsträger als auch als Link zu der Begriffsdefinitionsseite. Ein solcher Link ist farblich und durch Unterstreichung gekennzeichnet. Abbildung 7.9 zeigt eine Hauptseite, in der der Begriff „Phasen“ direkt mit der Begriffsdefinitionsseite „Phase“ verbunden ist. Greift der Anwender auf eine solche Seite zu, so kann er von hier aus über einen integrierten Zurück-Button auf die Ausgangsseite zurückgelangen.

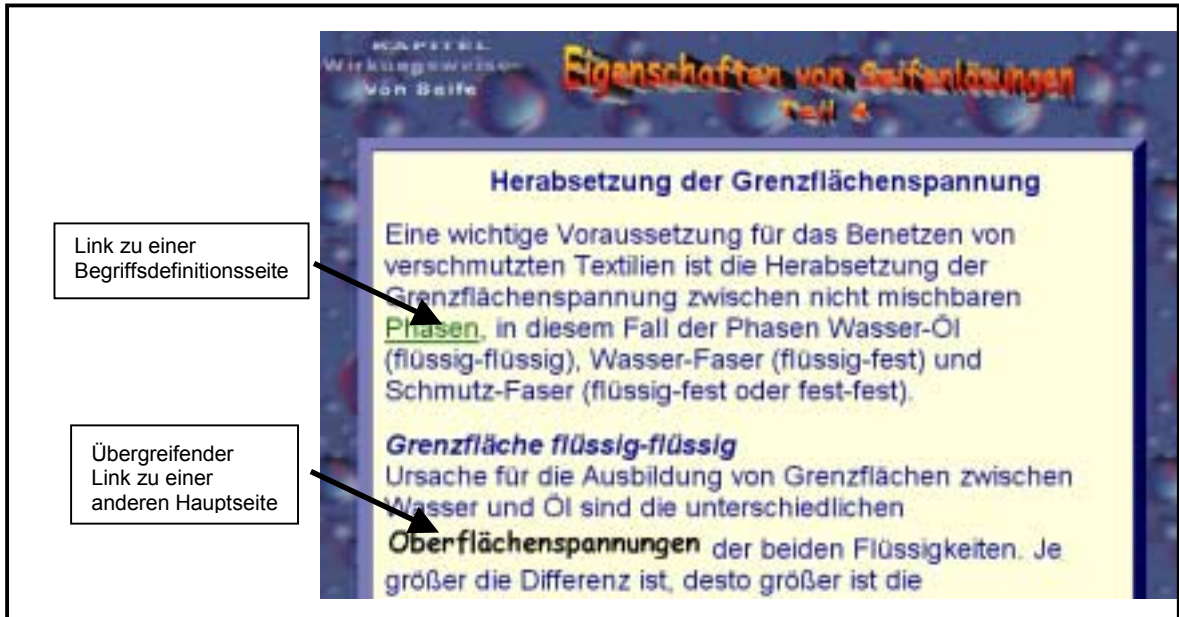


Abb. 7.9: Zusätzliche Navigationsmöglichkeiten innerhalb der nicht-linearen Lernumgebung.

Die Abbildung 7.10 zeigt die Navigationsmöglichkeiten in der nicht-linearen Lernumgebung. In der Abbildung ist nicht berücksichtigt, dass der Anwender von jeder Seite aus auf die Übersichtsseite und von dort aus auf ein anderes Kapitel zugreifen kann und das z.T. einzelne Begriffsdefinitionsseiten untereinander weiter verknüpft sind.

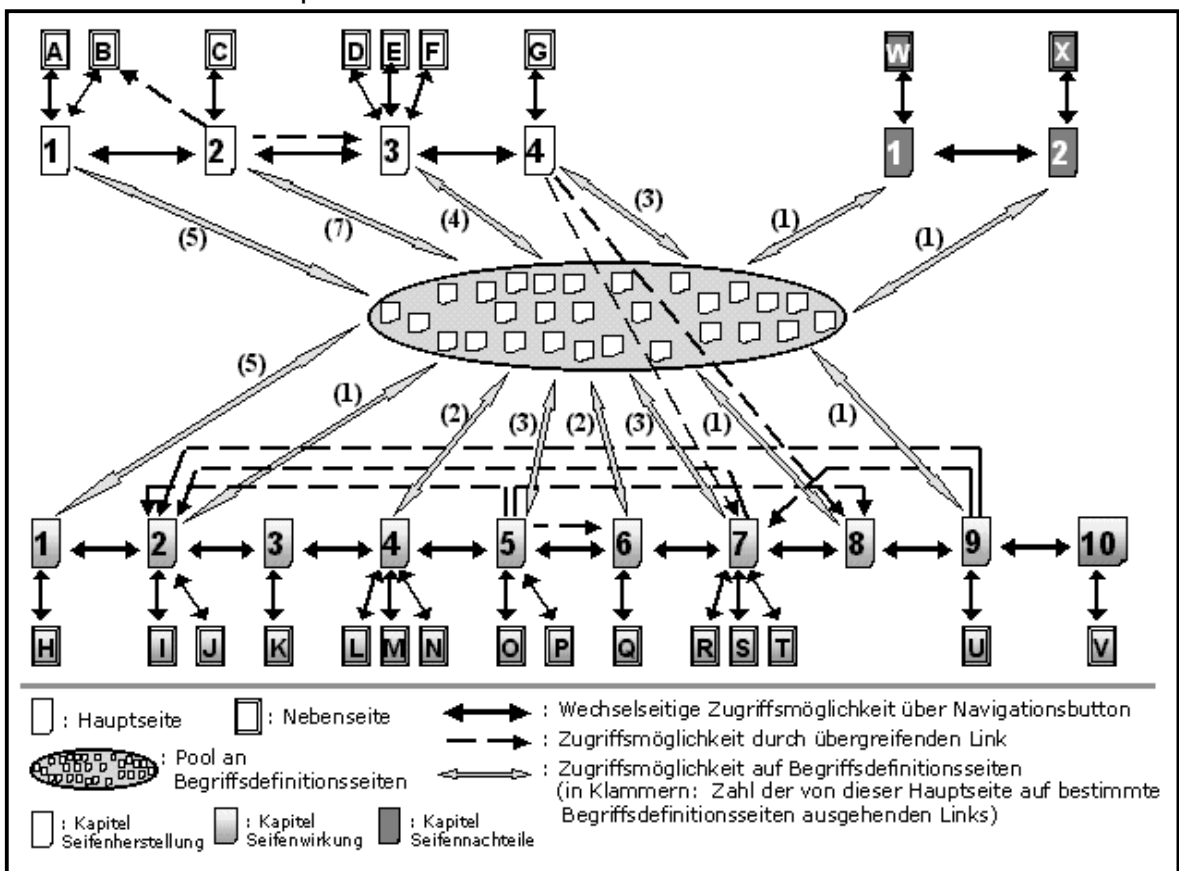


Abb. 7.10: Navigationsmöglichkeiten innerhalb der nicht-linearen Lernumgebung.

7.1.3 Zur Konzeption und zum Design der Lernumgebungen

Die Hypertextseiten sind in der Programmiersprache HTML (Hyper-Text Markup Language) verfasst und lassen sich mit einem Internetbrowser, z.B. dem Netscape Navigator oder dem Internet Explorer darstellen. Dies hat den Vorteil, dass vielen Anwendern das Layout und die Bedienelemente wie Zurück-Funktion, Bildlaufleiste und Adressen-Symbolleiste der Internetbrowser bereits bekannt sind. Um Desorientierung während des Umgangs mit den Lernumgebungen zu vermeiden oder zu minimieren wurden u.a. folgende Maßnahmen getroffen:

- eindeutige Benennung der Hypertextseiten, die dann im Titelfenster des Browsers erscheint;
- Verwendung von Kapitel- und Seitenüberschriften auf jeder Hypertextseite;
- Zugriffsmöglichkeit auf die Übersichtsseite von jeder Hypertextseite aus;
- Kennzeichnung aller Links;
- Erläuterung der Funktion (z.B. Zielseite) aller Button und Vorschaubilder, durch Unterschriften und mauszeigersensitive Textfenster;
- Nutzung eines Standard-Internetbrowsers mit Zurück-Funktion;
- verschiedene Hintergrundbilder für Haupt-, Neben- und Begriffsdefinitionsseiten, die sich harmonisch in das Gesamtbild einfügen;
- Beschränkung von Text und Graphik pro Hypertextseite auf maximal zwei Bildschirmseiten;
- zielgenaues Aufrufen der Ausgangsseite bei Betätigung des Zurück-Buttons (besonders dann relevant, wenn die aufgerufene Seite größer als eine Bildschirmseite ist);
- Anordnung und Design der Button folgen logischen Zusammenhängen; d.h. z.B., dass die Navigationsbutton auf allen Hypertextseiten an der gleichen Position zu finden sind, dass vom Design der Button auf deren Funktion geschlossen werden kann und das ein einheitliches und durchgängiges Navigationskonzept vorhanden ist.

Auf die Implementation von Videos, Simulationen und Animationen wird verzichtet, weil sie für die eigentliche Zielsetzung der Arbeit, den Vergleich einer linearen mit einer nicht-linearen Lernumgebung, irrelevant ist und weil dadurch ein zusätzlicher Zeit- und Kostenaufwand entsteht. Die Lernumgebung ist damit zwar multimedial aber monomodal. Um die Ladezeiten zu minimieren, wird für Photos das JPEG-Format und für alle anderen Graphiken das GIF-Format gewählt. Animierte GIF-Bilder mit Eyecatcherfunktion werden nicht verwendet, da ihre Wirkung in Lernumgebungen eher negativ bewertet werden muss. Als Schrift wird Arial gewählt, mit einer Schriftgröße von Punkt 18 bei einer Bildschirmauflösung von 1024 x 768. Hier ist jedoch zu beachten, dass der Anwender über den Browser bei Bedarf die Schrift vergrößern oder verkleinern kann. Zu kleine Schriften können jedoch Ermüdungseffekte hervorrufen und die Motivation negativ beeinflussen.

Die Inhalte der Lernumgebung sind nach fachlichen und didaktischen Gesichtspunkten ausgewählt und in Abschnitte gegliedert. Sie sind in Anlehnung an die Richtlinien für die gymnasiale Oberstufe in NRW und unter Zuhilfenahme diverser Schul- und Fachbücher (u.a. SCHALLIES 1980; HEUßLER & WOLF 1990; FRÜHAUF & TEGEN 1993; TAUSCH 1993; WAGNER 1993a & 1993b; HENKEL 1994), Zeitschriftenartikel (u.a. BAHNEMANN 1982; GROßMANN 1982a & 1982b; GROßMANN & SCHMIDKUNZ 1982; HÄUSLER 1982; DIETRICH 1994 & 1996; MELOEFSKI 1996) und Internetquellen (u.a. HUBER, 1998; SCHICKOR 1998; SOMMERFELD et al. 1998; EducETH 1999) produziert worden.

7.2 Charakterisierung der beteiligten Personen

Die Pilotstudie wird mit acht Erstsemesterstudierenden des Lehramtsstudiengangs Biotechnik und fünf Experten (2 Referendare, 1 Lehrer, 1 Chemiker und 1 Fachdidaktiker) durchgeführt. Während die Experten mit der fachlichen und didaktischen Beurteilung der Lernumgebung betraut sind, dient die Untersuchung mit den Erstsemesterstudierenden dazu, verschiedene Testinstrumentarien zu erproben und zu optimieren und erste Hinweise darauf zu geben, welche Faktoren das Navigationsverhalten bestimmen und welche Faktoren das Antwortverhalten der Lernenden in den Posttests bestimmen. Im Hinblick auf die Vorkenntnisse im Bereich der organischen Chemie handelt es sich um eine eher heterogene Gruppe.

7.3 Test- und Untersuchungsmethoden

Im Rahmen der Pilotstudie werden die folgenden Test- und Untersuchungsmethoden eingesetzt:

- Fragebogen zu Computervorkenntnissen und Einstellungen;
- Own-Word-Mapping & Integrationstest;
- Leistungstest;
- Methode des Lauten Denkens;
- PC-Camcordersoftware;
- Interview.

7.3.1 Fragebogen zu Computerkenntnissen und Einstellungen

Dieser Fragebogen (Abbildung 7.11) ist Bestandteil des Prätests und soll einen groben Überblick über die Computerkenntnisse der Versuchspersonen, die Nutzungshäufigkeit des Computers und Einstellungen gegenüber dem Computer geben. Die Ergebnisse dienen dazu, die Versuchspersonen in punkto Vorkenntnisse gleichmäßig auf die beiden Untersuchungsgruppen (Untersuchungsgruppe A arbeitet mit der linearen Lernumgebung; Untersuchungsgruppe B arbeitet mit der nicht-linearen Lernumgebung) zu verteilen und dazu, bei der Auswertung nach möglichen Zusammenhängen zwischen Vorkenntnissen bzw. Einstellungen und den Untersuchungsergebnissen zu suchen.

<p>1. Computernutzung (Kreuzen Sie alle Antworten an, die auf Sie zutreffen)</p> <table><tr><td><input type="radio"/> Programmierkenntnisse</td><td><input type="radio"/> Graphikbearbeitung</td></tr><tr><td><input type="radio"/> Internet</td><td><input type="radio"/> Multimediale Lexika</td></tr><tr><td><input type="radio"/> Textverarbeitung</td><td><input type="radio"/> Hypertextsysteme</td></tr><tr><td><input type="radio"/> Computerspiele</td><td><input type="radio"/> Lernsoftware</td></tr></table> <p>2. Wie viel Stunden verbringen Sie pro Woche vor dem Computer und womit?</p> <p>a) Stundenzahl / Woche:</p> <p>b) Anwendungsbereiche (Reihenfolge nach Häufigkeit)</p> <ol style="list-style-type: none">1.2.3. <p>3. Sie wollen sich auf eine Klausur vorbereiten und Ihnen steht ein Lehrbuch und ein multimediales Lehrbuch als Software zur Verfügung. Womit würden Sie sich auf die Klausur vorbereiten?</p> <table><tr><td><input type="radio"/> Lehrbuch</td><td><input type="radio"/> multimediales Lehrbuch</td></tr></table> <p>Geben Sie kurz die Vorzüge der von Ihnen bevorzugten Lehrbuchform an:</p> <p>4. Einstellung gegenüber Lernsoftware</p> <table><tr><td><input type="radio"/> Ich benutze gerne Lernsoftware</td></tr><tr><td><input type="radio"/> Ich benutze Lernsoftware ungern und nur wenn ich muss</td></tr><tr><td><input type="radio"/> Ich lehne Lernsoftware ab</td></tr></table> <p>Geben Sie eine kurze Begründung für Ihre Einstellung:</p>	<input type="radio"/> Programmierkenntnisse	<input type="radio"/> Graphikbearbeitung	<input type="radio"/> Internet	<input type="radio"/> Multimediale Lexika	<input type="radio"/> Textverarbeitung	<input type="radio"/> Hypertextsysteme	<input type="radio"/> Computerspiele	<input type="radio"/> Lernsoftware	<input type="radio"/> Lehrbuch	<input type="radio"/> multimediales Lehrbuch	<input type="radio"/> Ich benutze gerne Lernsoftware	<input type="radio"/> Ich benutze Lernsoftware ungern und nur wenn ich muss	<input type="radio"/> Ich lehne Lernsoftware ab
<input type="radio"/> Programmierkenntnisse	<input type="radio"/> Graphikbearbeitung												
<input type="radio"/> Internet	<input type="radio"/> Multimediale Lexika												
<input type="radio"/> Textverarbeitung	<input type="radio"/> Hypertextsysteme												
<input type="radio"/> Computerspiele	<input type="radio"/> Lernsoftware												
<input type="radio"/> Lehrbuch	<input type="radio"/> multimediales Lehrbuch												
<input type="radio"/> Ich benutze gerne Lernsoftware													
<input type="radio"/> Ich benutze Lernsoftware ungern und nur wenn ich muss													
<input type="radio"/> Ich lehne Lernsoftware ab													

Abb. 7.11: Fragebogen zu Computervorkenntnissen und Einstellungen.

7.3.2 Own Word Mapping, Integrationstest und Verknüpfungstest

Mapping-Verfahren ermöglichen es die Art und die Struktur des Wissens zu einem Themenbereich zu analysieren (HUCKE & FISCHER 2000). Viele Forscher gehen mittlerweile davon aus, dass durch Mapping-Verfahren durchaus andere Ebenen des Verständnisses angesprochen werden können als durch konventionelle Leistungstests (vgl. SCHECKER & KLIEME 2000). In der Pilotstudie kommen daher sowohl ein konventioneller Leistungstest als auch ein Mapping-Verfahren zum Einsatz und zwar als Prä- und als Posttests. Als Mapping-Verfahren wird das Own Word Mapping durchgeführt, das von SUMFLETH und TIEMANN entwickelt wurde (vgl. TIEMANN 1999; SUMFLETH & TIEMANN 2000a). Im Gegensatz zu Concept Mapping Verfahren werden beim Own Word Mapping keine Begriffe als Vorgabe ausgewählt sondern Bilder, die von den Lernenden durch Begriffssequenzen verbunden werden sollen. Der Vorteil der Bilder liegt darin, dass die Lernenden in ihrer Individualität und Freiheit, bestimmte Themenbereiche zu beschreiben, weniger stark eingeschränkt werden als durch die zumeist in Concept Maps verwendeten fachsystematischen Begriffe. Da die Lernenden in der jeweiligen Situation ihr Wissen spontan konstruieren, nimmt die Vorgabe (Begriffe oder Bilder) Einfluss auf den Denkprozess und die Äußerungen der Lernenden. In einer entsprechenden Untersuchung konnten SUMFLETH und TIEMANN (2000b) nachweisen, dass Lernende mehr Assoziationen generieren wenn sie durch Bilder angeregt werden, als wenn die Lernenden durch Begriffe, die den Bildern vermeintlich entsprechend, angeregt werden. An das Own Word Mapping schließen sich in der Pilotstudie ebenso wie bei SUMFLETH und TIEMANN ein Integrations- und ein Verknüpfungstest an. Zur Erstellung des Own Word Maps

in der Pilotstudie erhalten die Lernenden 3 Bilder, die durch Begriffssequenzen miteinander verbunden werden sollen. Die dabei assoziierten Begriffe werden von den Lernenden durch Pfeile miteinander verbunden und chronologisch durchnummeriert. Die Lernenden werden zunächst schriftlich in die Technik des Own Word Mappings und die Aufgabenstellung eingewiesen (Abbildung 7.12).

Teil I
Bitte lesen Sie sich zunächst die Erläuterungen aufmerksam durch und beachten Sie auch das im Anschluss angeführte Beispiel !

Vor sich sehen Sie drei Bilder. Betrachten Sie die Bilder genau und kleben Sie die Bilder auf der DIN A3-Seite in beliebiger Reihenfolge in die dafür vorgesehenen Platzhalter.

Zwischen den Bildern sollen Sie durch möglichst lange Begriffsketten Verbindungen herstellen. Diese Ketten müssen nur Ihnen „logisch“ erscheinen!

Betrachten Sie zunächst das linke Bild A und notieren Sie sich Begriffe neben dem Bild, die Ihnen dazu einfallen. Wählen Sie sich einen aus, von dem Sie denken, dass er Sie dem Bild B oder C näher bringt. Schreiben Sie nun zu diesem Begriff ein oder mehrere Wörter auf, die Sie mit ihm verbinden. Wählen Sie ein Wort aus und benutzen Sie dies wiederum als Ausgangspunkt für ein weiteres Wort. Fahren Sie solange mit dieser Kettenbildung fort, bis Sie bei einem Wort angekommen sind, welches Sie mit dem Bild B oder C verbinden. Sie können auch mehrere Wege formulieren!

Versuchen Sie so durch möglichst lange Begriffsketten die drei Bilder untereinander zu verbinden.

Notieren Sie bitte ihren gedanklichen Weg in der Art, dass Sie die Begriffe der Richtung nach, in der sie auseinander hervorgehen, mit Pfeilen verbinden und diese durchnummerieren. Es dürfen auch „Sackgassen“ und „Schleifen“ entstehen. Kehren Sie in solchen Fällen einfach zu dem Begriff zurück, von dem aus Sie neu starten wollen.

Beispiel:

Das Diagramm zeigt eine Kette von 18 nummerierten Begriffen, die durch Pfeile verbunden sind. Die Begriffe sind: 1. Unabhängigkeit, 2. Garage, 3. Auto, 4. Haus, 5. Wohnzimmer, 6. Verkehr, 7. Stau, 8. Luftverschmutzung, 9. Stickoxide, 10. Abgase, 11. Treibhausgas, 12. Ozonbildung, 13. Sommersmog, 14. Klimakatastrophe, 15. Erderwärmung, 16. Temperatur, 17. (Pfeil von Treibhausgas zu Erderwärmung), 18. (Pfeil von Erderwärmung zu Temperatur). Ein chemisches Strukturdiagramm von Ozon (O_3) ist ebenfalls dargestellt.

Abb. 7.12: Aufgabenstellung für das Own Word Map.

Damit durch eine vorgegebene Bilderreihenfolge die Bearbeitungsreihenfolge nicht beeinflusst wird, sollen die Versuchspersonen die Bilder selber in beliebiger Reihenfolge auf das DIN A3-Blatt kleben. Zur Erstellung des Own Word Maps erhalten die Versuchspersonen drei Bilder folgenden Inhalts:

- Strukturformel eines Fettes;
- Modellhafte Darstellung des Prozesses der Schmutzablösung;
- Abbildung eines Versuchs zur Erniedrigung der Oberflächenspannung.

Abbildung 7.13 zeigt die drei verwendeten Bilder.

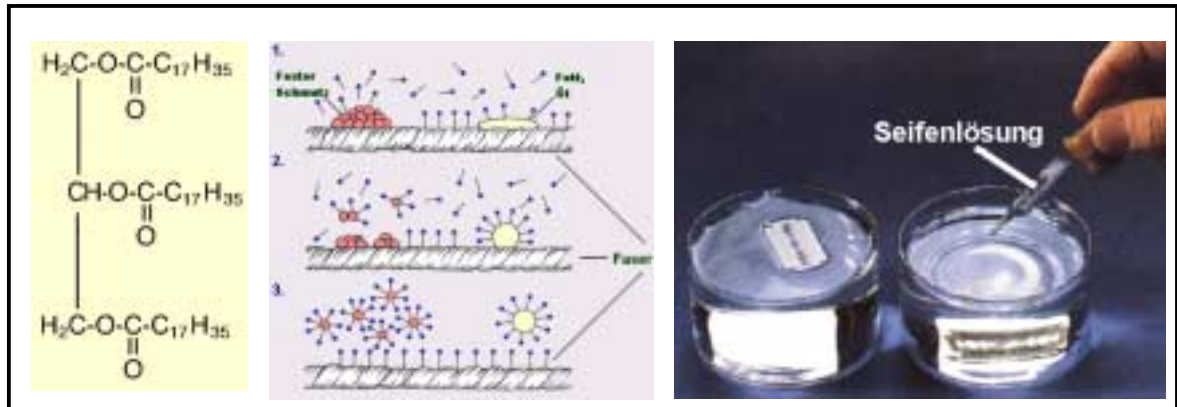


Abb. 7.13: Bilder für das Own Word Map.

Der Verknüpfungstest schließt sich direkt an das Own Word Mapping an. Die Versuchspersonen werden aufgefordert, zu den im Own Word Map von ihnen genannten Begriffen Verknüpfungen zu bilden (Abbildung 7.14). Der Verknüpfungstest lehnt sich an die von SUMFLETH (1988) entwickelten Verknüpfungstests an; der Unterschied besteht darin, dass die Versuchspersonen nicht vorgegebene Begriffe verknüpfen und Aussagen dazu treffen, sondern zu den von ihnen selbstständig generierten und verbundenen Begriffen Sätze bilden. Ziel des Verknüpfungstests ist es, dass die Versuchspersonen nochmals über die Begriffe und die Beziehung der Begriffe zueinander reflektieren und man so einen dezidierteren Einblick in den Prozess der Wissensgenerierung und -strukturierung der Versuchspersonen erhält.

Teil II

Bitte erläutern Sie jeweils mit einem Satz die von Ihnen in Teil I hergestellten Verknüpfungen.
Notieren Sie bitte dazu die Nummer des entsprechenden Pfeils vor dem Satz.

Beispiel:
Die Verknüpfung (Treibhausgas $\xrightarrow{17}$ Erderwärmung) könnte z.B. wie folgt erläutert werden:
17: Der vermehrte Ausstoß von Treibhausgasen ist für die Erderwärmung mitverantwortlich.

Abb. 7.14: Aufgabenstellung für den Verknüpfungstest.

Nach dem Verknüpfungstest erhalten die Versuchspersonen den Integrations-test. Dieser gibt den Versuchspersonen fachsystematische Begriffe aus dem Themenkomplex Seife vor, die die Versuchspersonen in ihr bestehendes Own

Word Map integrieren sollen, sofern ihnen die Begriffe bekannt sind und diese Begriffe nicht bereits Bestandteil ihres Own Word Maps sind (Abbildung 7.15). Mit dem Integrationstest wird unter anderem geprüft, ob die Versuchspersonen die vorgegebenen fachsystematischen Begriffe die im Own Word Map nicht selbständig von ihnen genannt worden sind, kennen und in welcher Beziehung sie diese fachsystematischen Begriffe zu den Begriffen in ihrem selbstformulierten Begriffsnetz sehen. Mit dem Integrationstest ist erneut ein Verknüpfungstest gekoppelt; die Versuchspersonen sollen durch entsprechende Aussagen die Verbindung der neu integrierten fachsystematischen Begriffe zu den bestehenden Begriffen, bzw. die Verbindung der fachsystematischen Begriffe untereinander, verdeutlichen.

Teil III

Nachfolgend sehen Sie eine Liste mit Wörtern. Streichen Sie die Wörter, die Sie nicht kennen. Die übrigen fügen Sie bitte in einer anderen Farbe in Ihr unter Teil I zwischen den Bildern entwickeltes Begriffsnetz an den Stellen an, die Sie für „passend“ halten, sofern diese Begriffe nicht bereits Bestandteil ihres Begriffsnetzes sind. Verwenden Sie wiederum nummerierte Pfeile.

Beispiel: Kohlenstoffdioxid
Schwefeldioxid
Troposphäre

Hier nun die Begriffe, die Sie in Ihr Netz integrieren sollen:

Benetzung	Kalkseife
Emulsion	Micelle
Ester	Oberflächenspannung
Fette	Phase
Fettsäuren	Seifenanionen
Grenzflächenspannung	Tensid
Hydrophil	Waschwirkung
Hydrophob	Wasserhärte

Abb. 7.15: Aufgabenstellung für den Integrationstest.

7.3.3 Leistungstest

Der Leistungstest ist Bestandteil des Prä- und des Posttests. Er dient im Rahmen des Prätestdesigns dazu, das Vorwissen der Versuchspersonen zur Thematik *Seifen* zu ermitteln und ermöglicht es, die Versuchspersonen in Bezug auf ihr themenspezifisches Vorwissen gleichmäßig auf die beiden Untersuchungsgruppen zu verteilen. Die Abbildung 7.16 zeigt die Aufgaben des Leistungstests.

Bitte lassen Sie sich zur Beantwortung der folgenden Fragen Zeit und antworten Sie möglichst präzise.


1. Erläutern Sie die folgenden Begriffe:
 - a) Fett
 - b) Emulsion
 - c) Kalkseife
 - d) Van-der-Waals-Kräfte
 - e) Phase
 - f) Fettsäuren
 - g) Emulgator
 - h) Ester
2. Stellen Sie die Reaktionsgleichung zur Bildung von Seife aus Natronlauge und Fett auf.
3. Zeichnen Sie modellhaft , wie sich Seifenmoleküle
 - a) an der Wasseroberfläche und
 - b) im Innern des Wassers anordnen und erläutern Sie diese Anordnungen.
4. Palmitinsäure ($C_{15}H_{31}COOH$) ist in Form des Natrium- oder Kaliumsalzes eine typische Seife. Wie alle langkettigen Fettsäuren gehört auch Palmitinsäure zu den schwachen Säuren. Leiten Sie am Beispiel der Palmitinsäure mit Hilfe von Reaktionsgleichungen ab:
 - a) Warum Seife in Wasser alkalisch reagiert.
 - b) Welchen Einfluss eine Säure auf die Löslichkeit und das Waschvermögen der Seife hat.

Abb. 7.16: Aufgaben des Leistungstests.

Die in Aufgabe 1 zu erläuternden Begriffe sollten den Versuchspersonen aus ihrer Schullaufbahn zumindest bekannt vorkommen. Alle Begriffe mit Ausnahme des Begriffs *Phase* werden in Chemie-Schulbüchern der Sekundarstufe I (Gymnasium, Realschule) behandelt. In den beiden Lernumgebungen werden alle Begriffe mit Ausnahme des Begriffs *Kalkseife* als Begriffsdefinitionsseiten gesondert aufgeführt. Der Vergleich des Vorwissens mit dem Navigationsverhalten erlaubt es daher nach denkbaren Zusammenhängen zwischen dem Aufsuchen der Begriffsdefinitionsseiten bzw. der Aufenthaltsdauer auf den Begriffsdefinitionsseiten und dem Vorwissen zu suchen.

Die Aufgaben 2 bis 4 sind von der Aufgabengestaltung komplexer als die Aufgabe 1. Die Lernumgebungen enthalten in je einem der drei Kapitel Informationen zur Lösung der Aufgaben 2 bis 4. Im Kapitel *Herstellung und Zusammensetzung heutiger Seifen* Informationen zur Lösung von Aufgabe 2, im Kapitel *Wirkungsweise von Seife* Informationen zur Lösung von Aufgabe 3 und im Kapitel *Nachteile beim Waschen mit Seife* Informationen zur Lösung von Aufgabe 4. Die Aufgaben sind den Versuchspersonen während des Umgangs mit den Lernumgebungen nicht präsent, sondern Bestandteil des Prä- und Posttests.

7.3.4 Methode des Lauten Denkens

Die Methode des Lauten Denkens wird angewandt während die Versuchspersonen mit der Lernumgebung arbeiten. Die so erstellten Denkprotokolle sollen Aufschluss darüber geben, aus welchen Beweggründen die Versuchspersonen bestimmte Navigationswege verfolgen oder nicht verfolgen. Die Versuchspersonen werden daher durch den Versuchsleiter instruiert sich laut dazu zu äußern, warum sie bestimmte Links anklicken und warum sie bestimmte Links nicht anklicken. Der Versuchsleiter hebt bei der Erläuterung der Methode hervor, dass es keinerlei vom Versuchsleiter präferierte Antworten gibt, also Antworten wie *»ich will einfach mal schauen«* ebenso korrekt sind wie *»diese Thematik hat mich schon immer interessiert«* oder *»Ich habe XYZ noch nicht verstanden«*. Der Vorteil der Methode des lautenden Denkens gegenüber einem Interview liegt darin, dass eine Beeinflussung der Antworten der Versuchsperson durch den Versuchsleiter minimiert wird (DEFFNER 1984); der Versuchsleiter greift nur fragend ein, wenn die Versuchspersonen Seiten aufrufen ohne sich spontan zu ihren Motiven zu äußern. Die Methode des lautenden Denkens wurde in ähnlichen Situationen u.a. von ZIMMERMANN erfolgreich eingesetzt, um zu erforschen wie Lernende ihren eigenen Lernzustand und Leseweg – auch in Abhängigkeit zum Vorwissen - während des Lernens mit Instruktionstexten analysieren (ZIMMERMANN 1996 & 1997).

7.3.5 Digitale Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs

Während die Studierenden mit einer der Lernumgebungen arbeiten wird eine PC-Camcordersoftware eingesetzt. Sie zeichnet in dieser Zeit alles, was der Bildschirm anzeigt, in Echtzeit auf und speichert die so entstehende Videosequenz als digitalen Videofile ab. Parallel dazu zeichnet die PC-Camcordersoftware die während der Anwendung der Methode des Lauten Denkens gemachten Aussagen auf. Der digitale Videofile erlaubt es den gesamten Navigationsverlauf und die getätigten Aussagen zu analysieren.

7.3.6 Interview

Nachdem die Experten die Lernumgebung analysiert haben, erfolgt ein Interview. Zunächst werden die Experten gebeten sich die Lernumgebung unter fachlichen, didaktischen und mediengestalterischen Aspekten anzuschauen. Im direkten Anschluss daran findet das Interview statt. Die Abbildung 7.17 zeigt einen Leitfaden für das retrospektive Interview. Der Leitfaden führt das Interview, in dem die Fragestellungen und deren Kategorisierung aufgeführt sind.

<p><u>Zum Thema</u> Wie interessant fanden Sie das Thema (persönlich und für Schülerinnen und Schüler)? Wie schwierig fanden Sie das Thema (persönlich und für Schülerinnen und Schüler)? Sind Ihnen fachliche Unrichtigkeiten aufgefallen? Finden Sie bestimmte Themenbereiche über- oder unterrepräsentiert? Haben Sie Verbesserungsvorschläge?</p> <p><u>Zur Navigation und zur Orientierung</u> Fanden Sie die Navigationsmöglichkeiten ausreichend? Hatten Sie Schwierigkeiten sich zu orientieren?</p> <p><u>Zur Präsentation</u> Fanden Sie die Hervorhebung der Links (andere Farbe, unterstrichen) störend? Was ist Ihnen positiv oder negativ an der Aufmachung (Hintergrund, Buttons, Überschriften, ...) aufgefallen? Finden Sie die Abbildungen hilfreich? War auf den einzelnen Seiten zuviel Text? Sind Schriftart und Schriftgröße richtig gewählt? Hätten Sie sich mehr Abbildungen gewünscht? Haben Sie Videosequenzen, Tondokumente und Animationen vermisst? Haben Sie Verbesserungsvorschläge?</p> <p><u>Zu den Begriffsdefinitionen</u> Haben Ihnen die Begriffsdefinitionen weitergeholfen? Fanden Sie die Inhalte zu den einzelnen Begriffsdefinitionen zu umfangreich? Fanden Sie die Begriffsdefinitionen zu kompliziert? Hätten Sie sich gewünscht, dass die Begriffsdefinitionen stärker auf das Thema zugeschnitten sind?</p> <p><u>Zu Zeit und Umfang</u> Wie viel Zeit glauben Sie, benötigt eine Schülerin / ein Schüler um die Inhalte durchzuarbeiten? Hätten Sie sich ein umfangreicheres Programm gewünscht?</p> <p><u>Zu Unterschieden gegenüber einem linearen System (Schulbuch)</u> Welche Unterschiede zum Arbeiten mit einem Schulbuch sind Ihnen besonders aufgefallen? Welche Vorteile bietet ein Schulbuch gegenüber einer Hypertext-Lernumgebung? Welche Vorteile bietet eine Hypertext-Lernumgebung gegenüber einem Schulbuch?</p>

Abb. 7.17: Leitfaden für das Interview.

7.4 Untersuchungsdesign

Die Pilotstudie gliedert sich in Prätest, Lernumgebungsanwendung und Posttest. An der Pilotstudie nehmen acht Erstsemesterstudierende des Studiengangs Biotechnik für Lehrämter teil. Der Prätest wird mit der gesamten Gruppe gleichzeitig durchgeführt, die Lernumgebungsanwendung und der Posttest erfolgen in Einzelsitzungen. Der Prätest ist in die drei Teilbereiche Fragebogen (1), Own Word Map & Integrationstest & Verknüpfungstest (2) und Leistungstest (3) unterteilt. Hierfür sind insgesamt 1,5 Zeitstunden vorgesehen, von denen 30 Minuten für Fragebogen und Leistungstest und 60 Minuten für Own Word Map, Integrations- und Verknüpfungstest benötigt werden. Sechs bis acht Wochen nach dem Prätest arbeiten die Versuchspersonen mit einer der Lernumgebungen; vier Versuchspersonen mit der linearen Lernumgebung zum Thema *Seifen* und vier Versuchspersonen mit der nicht-linearen Lernumgebung zum Thema *Seifen*. Der zeitliche Abstand zum Prätest soll gewährleisten, dass dieser nicht als „*advance organizer*“ (SCHÜTTLER 1994) fungiert und so das Vorwissen der Versuchspersonen aktiviert. Die jeweilige Versuchsperson wird in die Lernumgebung und die Browserfunktionen eingewiesen. Um dies möglichst einheitlich zu gestalten, erfolgt die Instruktion anhand eines Leitfadens (siehe Anhang Abb. 13.1; S. 133). Für die Einweisung sind extra zwei kleine Lernumgebungen zum Thema *Waschmittelaufbaustoffe* entwickelt worden (linear und nicht-linear; je 16 Hypertextseiten groß), um der eigentlichen Thematik nicht schon während der Einweisung vorwegzugreifen. Die Versuchsperson erhält nach der Einweisung 5 Minuten Zeit um sich mit Hilfe der Lernumgebung *Waschmittelaufbaustoffe* mit den Browserfunktionen und der Struktur der Lernumgebung vertraut zu machen. Darüber hinaus liegen während des Arbeitens mit der Lernumgebung neben dem Computer Hardcopyausdrucke je einer Haupt-, Neben- und Begriffsdefinitionsseite aus, auf denen die Funktionen der Navigationselemente und die Unterschiede der Seiten nochmals erläutert sind. Nach der Einweisung in die Lernumgebung erhält die Versuchsperson eine kurze Einweisung in den Untersuchungsablauf und die Methode des Lauten Denkens. Die Phase der Lernumgebungsanwendung dauert etwa 60 Minuten. Diese 60 Minuten sind in 4 Zeitsegmente zu 15 Minuten unterteilt. Die Aufgabenstellung über alle vier Zeitsegmente lautet: Informieren Sie sich mit Hilfe der Lernumgebung über den Themenkomplex *Seife*. In dem ersten und dem dritten Zeitsegment wird die Methode des lautem Denkens angewandt. In dieser Zeit ist der Versuchsleiter anwesend und hält die Versuchsperson dazu an, ihr Navigationsverhalten zu kommentieren. Während der zweiten und der vierten 15 Minuten verlässt der Versuchsleiter bewusst den Raum, damit die Versuchsperson sich möglichst ungestört und unbeobachtet fühlt („*freies Navigieren*“). Die gesamten 60 Minuten werden mit der Camcordersoftware aufgezeichnet.

Die Abbildung 7.18 bietet einen Überblick über das Untersuchungsdesign der Pilotstudie und die angewandten Methoden.

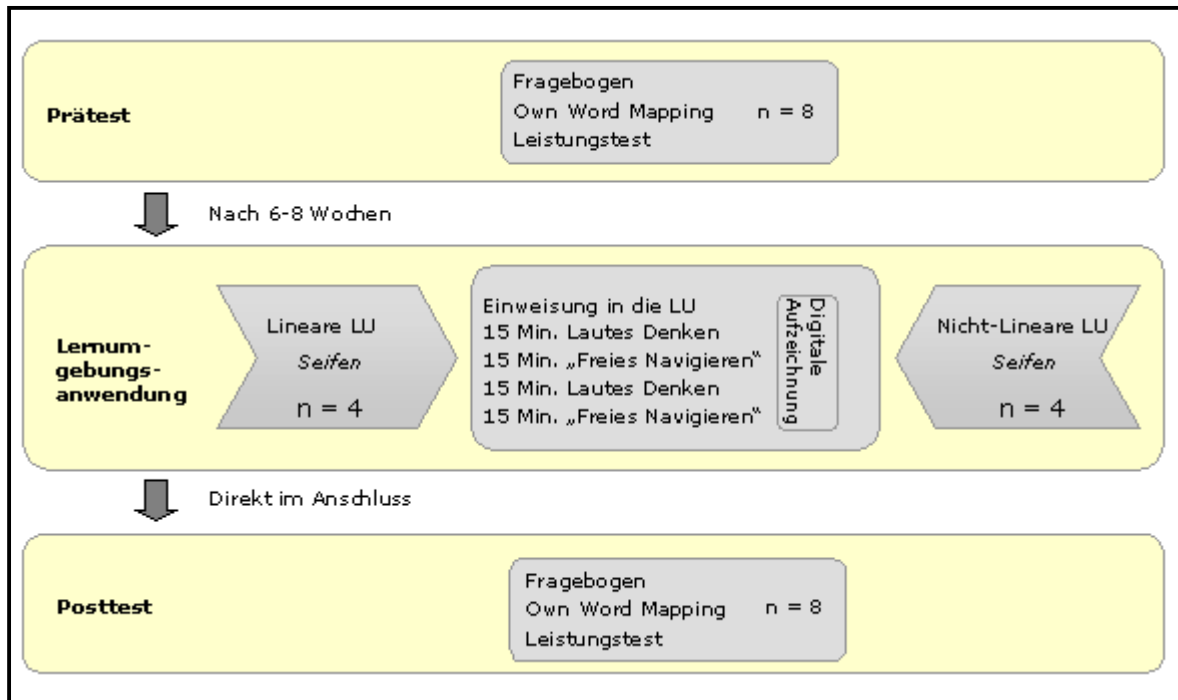


Abb. 7.18: Untersuchungsdesign der Pilotstudie.

7.5 Auswertung und Ergebnisse

7.5.1 Fragebogen zu Computervorkenntnissen und Einstellungen

Der Fragebogen (Abbildung 7.11, S. 40) ist Bestandteil des Prätests. Alle acht Versuchspersonen verwenden den Computer zur Textverarbeitung, fünf gebrauchen Multimediale Lexika, nur drei Versuchspersonen nutzen das Internet (Abbildung 7.19). Keiner der Versuchspersonen gibt an Hypertextsysteme zu nutzen; da allerdings das World Wide Web und multimediale Lernsoftware zumeist auf Hypertextstrukturen basieren, muss davon ausgegangen werden, dass den Versuchspersonen der Begriff Hypertextsystem nicht geläufig ist.

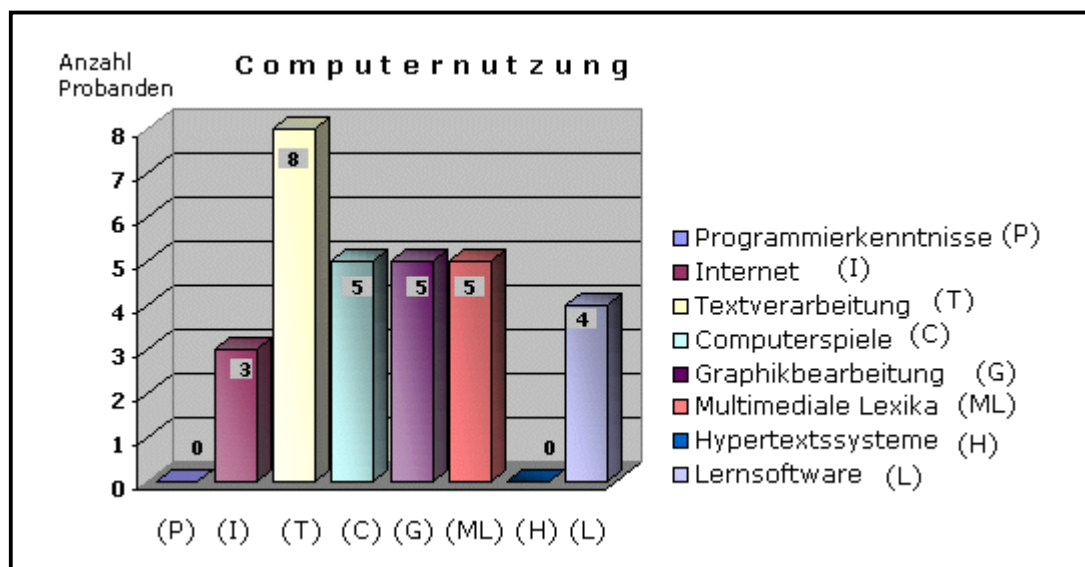


Abb. 7.19: Angaben zur Computernutzung.

Alle Versuchspersonen verbringen zwischen 8 und 12 Stunden pro Woche vor dem Computer. In der Häufigkeitsreihenfolge rangiert dabei die Textverarbeitung bei sieben Versuchspersonen auf Platz 1 bei einer auf Platz 2. Von den drei „Internetnutzern“ rangiert bei zweien in der Häufigkeitsreihenfolge das Internet auf Platz 2, bei einer auf Platz 1. Zur Klausurvorbereitung würden alle Versuchspersonen das Lehrbuch dem multimedialen Lehrbuch vorziehen. Als Begründungen für diese Wahl werden angegeben:

- Ortsungebundenheit bei der Nutzung von Büchern (4 Nennungen);
- Notiz- und Markierungsmöglichkeiten in Büchern (4 Nennungen);
- zu geringe oder keine Kenntnisse mit multimedialen Lexika (3 Nennungen).

Vier Versuchspersonen nutzen Lernsoftware gern, zwei ungern und zwei machen keine Angaben.

7.5.2 Own Word Mapping, Integrationstest und Verknüpfungstest

Die offene Methode des Own Word Mappings ermöglicht den Versuchspersonen eine individuelle Wissensdarstellung. Daraus resultiert ein breites Spektrum an Maps, was die Begriffswahl, die Positionierung der Begriffe, die Verknüpfung der Begriffe untereinander und die formulierten Aussagen zu den Begriffspaaren anbetrifft. Um Strukturähnlichkeiten und Analogien der Maps zu erkennen und Unterschiede zu analysieren werden die Own Word Maps einem mehrstufigen Auswertungsverfahren unterzogen:

- aus allen Own Word Maps und den dazugehörigen Verknüpfungstests werden die Propositionen extrahiert. Eine Proposition besteht aus zwei Begriffen und der dazugehörigen Aussage, durch die beide Begriffe miteinander verknüpft sind. Sowohl die Begriffe als auch die verknüpfenden Aussagen wurden von den Versuchspersonen selbständig generiert. Die Propositionen werden in einer Gesamttabelle erfasst um sicherzustellen, dass alle Propositionen in gleicher Weise berücksichtigt und bewertet werden.
- alle Propositionen werden analysiert, untereinander verglichen und ein Kategorisierungsraster (Abbildung 7.20) entwickelt.

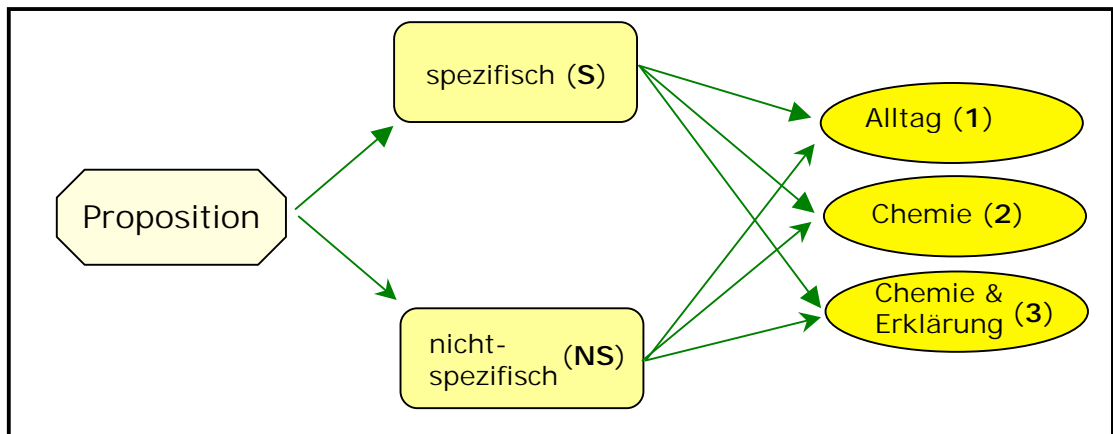


Abb. 7.20: Kategorisierungsraster zur Kategorisierung der Propositionen.

Spezifisch sind dabei alle Propositionen, die mit der Seifenthematik verbunden sind und innerhalb der Lernumgebung erwähnt werden. Es ergeben sich folgende sechs Kombinationen, mit deren Hilfe es möglich ist alle Propositionen einheitlich zu kategorisieren:

- S1: Spezifisch aus der Alltagswelt; z.B.: Begriffspaar: *Seife-Schmutz*, Aussage: »*Seife ist ein Mittel gegen Schmutz*«;
- S2: Spezifisch mit chemischem Kontext; z.B.: Begriffspaar: *Seifenanion-Schmutz*, Aussage: »*Seifenanionen ordnen sich um den Schmutz an*«;
- S3: Spezifisch mit erklärendem chemischen Kontext; z.B.: Begriffspaar: *Seifenanion-Schmutzhaltung*, Aussage: »*Die Abstoßung der Seifenanionen ermöglicht das Halten des Schmutzes in der Lauge*«;
- NS1: Nicht-spezifisch aus der Alltagswelt; z.B.: Begriffspaar: *Wasser-Pumpwerke*, Aussage: »*Wasser kommt aus Pumpwerken*«;
- NS2: Nicht-spezifisch mit chemischem Kontext; z.B.: Begriffspaar: *Flüssig-Aggregatzustand*, Aussage: »*Flüssig ist ein Aggregatzustand*«;

- NS3: Nicht-spezifisch mit erklärendem chemischem Kontext; z.B.:
Begriffspaar: *Wasser-Dichteanomalie*; Aussage: »*Durch die Dichteanomalie von Wasser friert ein Gewässer nicht von unten nach oben zu*«.

Anhand des Kategorisierungsrasters wird jede Proposition einer bestimmten Kategorie zugeordnet. Die Zuordnung zu einer der Kategorien erfolgt subjektiv durch einen Experten. Um die Reliabilität (Zuverlässigkeit) der Kategorisierung zu prüfen ordnen zwei Experten (Rater) unabhängig voneinander die Propositionen den Kategorien zu. Im Anschluss daran werden die Übereinstimmungen zwischen den Ratern ausgezählt und ein Übereinstimmungskoeffizient (Kappa-Koeffizient) ermittelt (COHEN 1960 & 1968).

- c) die Own Word Maps und die dazugehörigen Aussagen aus den Verknüpfungstests der einzelnen Versuchspersonen werden so überarbeitet, dass ein einheitlicheres Gesamtbild entsteht und die Maps auch optisch vergleichbar werden.
- d) für die einzelnen Maps werden als Indikator für die Strukturiertheit der Linkage-Index (vgl. SCHECKER & KLIEME 2000) und die Anzahl der zentralen Knoten (vgl. FRIEGE & LIND 2000) ermittelt. Unter dem Linkage-Index versteht man das Verhältnis zwischen der Zahl aller in einem Map vorhandenen Relationen (Verknüpfungen) und der Gesamtzahl der in dem Map verwendeten Begriffe. Ein zentraler Knoten ist hier ein Knoten (Begriff) mit mindestens vier Relationen zu anderen Begriffen, wobei die Propositionen den Kategorien S2 oder S3 angehören müssen. SCHECKER und KLIEME (2000) konnten nachweisen, dass eine stark strukturierte, vernetzte Darstellung der Zusammenhänge im Map in den meisten Fällen mit einer im inhaltlichen Sinne hohen fachlichen Kompetenz der Versuchsperson korreliert.
- e) die Maps der einzelnen Versuchspersonen des Prä- und Posttests werden miteinander verglichen, um so die möglicherweise aus den intendierten Lernprozessen resultierenden Veränderungen zu ermitteln.
- f) damit der Einfluss der Art der Lernumgebung (linear oder nicht-linear) auf das erworbene Wissen erfasst werden kann, werden folgende Parameter ermittelt:
 - die Zu- bzw. Abnahme der Propositionen in den einzelnen Kategorien;
 - Veränderungen im Linkage-Index;
 - die Zu- bzw. Abnahme der Anzahl der zentralen Knoten;
 - einzelne häufig auftretende Propositionen bzw. Begriffe; evtl. hängt die Generierung bestimmter Begriffe von der Art der Lernumgebung ab.

Als Übereinstimmungskoeffizient für die Begriffskategorisierung durch die beiden Rater wird ein Kappa-Koeffizient (κ) von 0,94 ermittelt. Nach LANDIS und KOCH (1977) gilt ein κ von 0,41-0,60 als „moderate“, ein κ von 0,61-0,80 als „substantial“ und ein κ von 0,81 bis 1,00 als „almost perfect“. ROBSON (1993) wertet ein κ im Bereich von 0,40 bis 0,65 als „fair“, ein κ von 0,65 bis 0,75 als „good“ und ein κ von 0,75 bis 1,00 als „excellent“. Die Begriffskategorisierung kann nur für sieben der acht Versuchspersonen durchgeführt werden, da von einer Versuchsperson kein Own Word Map aus dem Posttest vorliegt. Die Einzelergebnisse sind im Anhang (Tabelle 13.1; S. 138) aufgeführt. Die

Abbildung 7.21 stellt die Ergebnisse graphisch dar. Zur besseren Vergleichbarkeit wird aus der Gruppe der Personen, die mit der linearen Lernumgebung gearbeitet haben, diejenige aus der Wertung genommen, die am schlechtesten abgeschnitten hat (Versuchsperson 6). Bei allen Versuchspersonen ist ersichtlich, dass keine bzw. nur eine geringe Anzahl an Propositionen aus dem nicht-spezifischen Bereich gebildet werden. Dieser werden - wenn überhaupt - nur im Prätest konstruiert. Dies kennzeichnet zum einen den disziplinierten Umgang der Versuchspersonen mit der Methode des Own Word Mappings, ansonsten wären vermehrt Äußerungen aus dem Bereich NS1 zu verzeichnen, zum anderen können anscheinend alle drei Bilder gut dem Kontext *Seife* zugeordnet werden. Allen Versuchspersonen gemeinsam ist die zunehmende Generierung von Propositionen aus dem Bereich S2 im Vergleich von Prä- und Posttest; d.h. die Versuchspersonen argumentieren nach dem Arbeiten mit der Lernumgebung stärker auf fachlicher Ebene. Die markant niedrige Anzahl an Propositionen aus dem Bereich S3 könnte darauf zurückzuführen sein, dass es den Versuchspersonen zur Verknüpfung der Bilder ausreicht, beschreibend und weniger erklärend zu argumentieren. Daneben ist zu berücksichtigen, dass bei der Darstellung von Sachverhalten der Anteil an Beschreibungen naturgemäß gegenüber dem Anteil an Erklärungen überwiegt, denn einer Erklärung geht in der Regel eine ausführliche Beschreibung des Phänomens voraus.

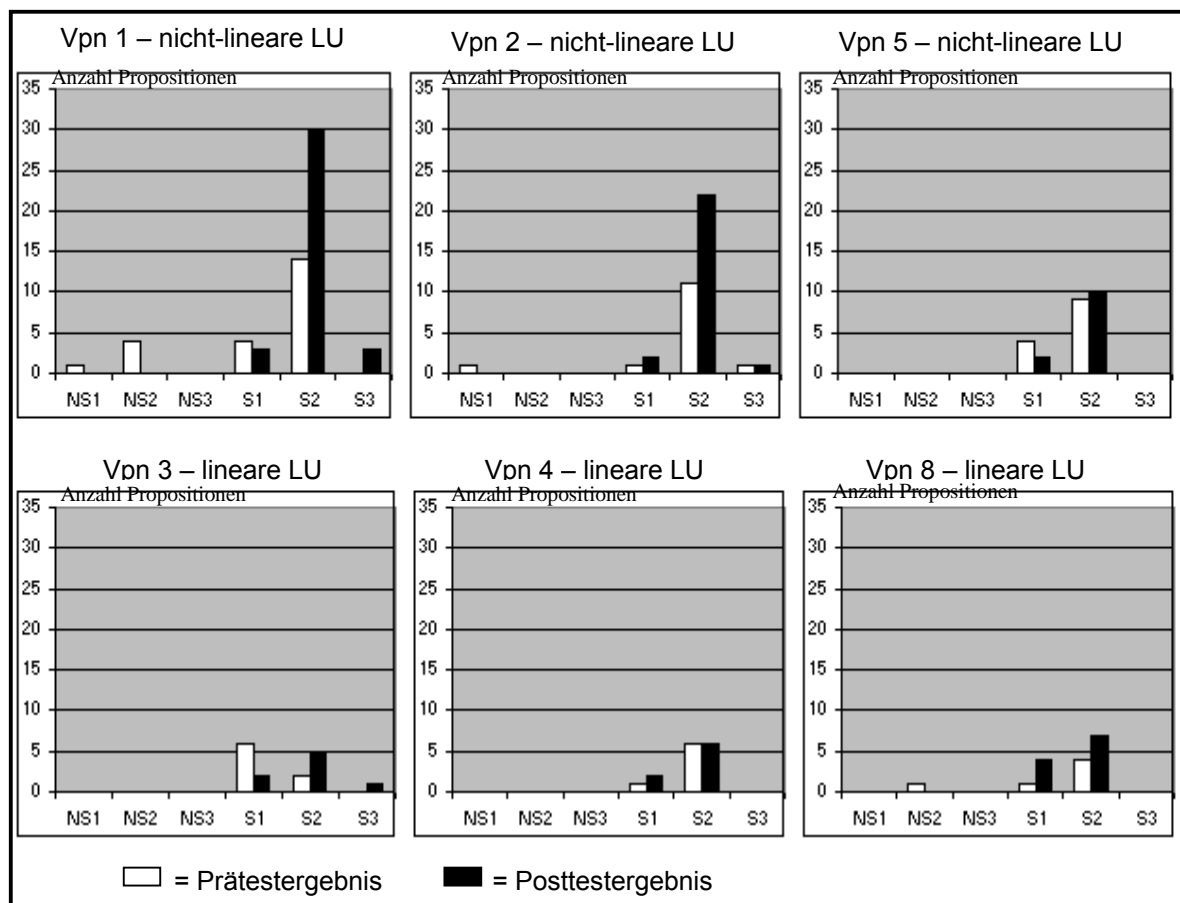


Abb. 7.21: Own Word Maps: Zu- und Abnahme der Propositionen zwischen Prä- und Posttest bei einzelnen Versuchspersonen.

Die Anzahl an Propositionen in den Maps differiert extrem; zwischen 6 und 36 Propositionen werden von den Versuchspersonen pro Map generiert. Die

geringe Anzahl an Versuchspersonen erlaubt es nicht signifikante Aussagen darüber zu machen, ob die Art der Lernumgebung (linear oder nicht-linear) Einfluss auf das erworbene Wissen hat. Dennoch werden die Gesamtergebnisse der Gruppen miteinander verglichen um mögliche Tendenzen herauszuarbeiten. In der Abbildung 7.22 sind die Ergebnisse aller Versuchspersonen und die Ergebnisse der Einzelgruppen (lineare versus nicht-lineare Lernumgebung) zusammengefasst.

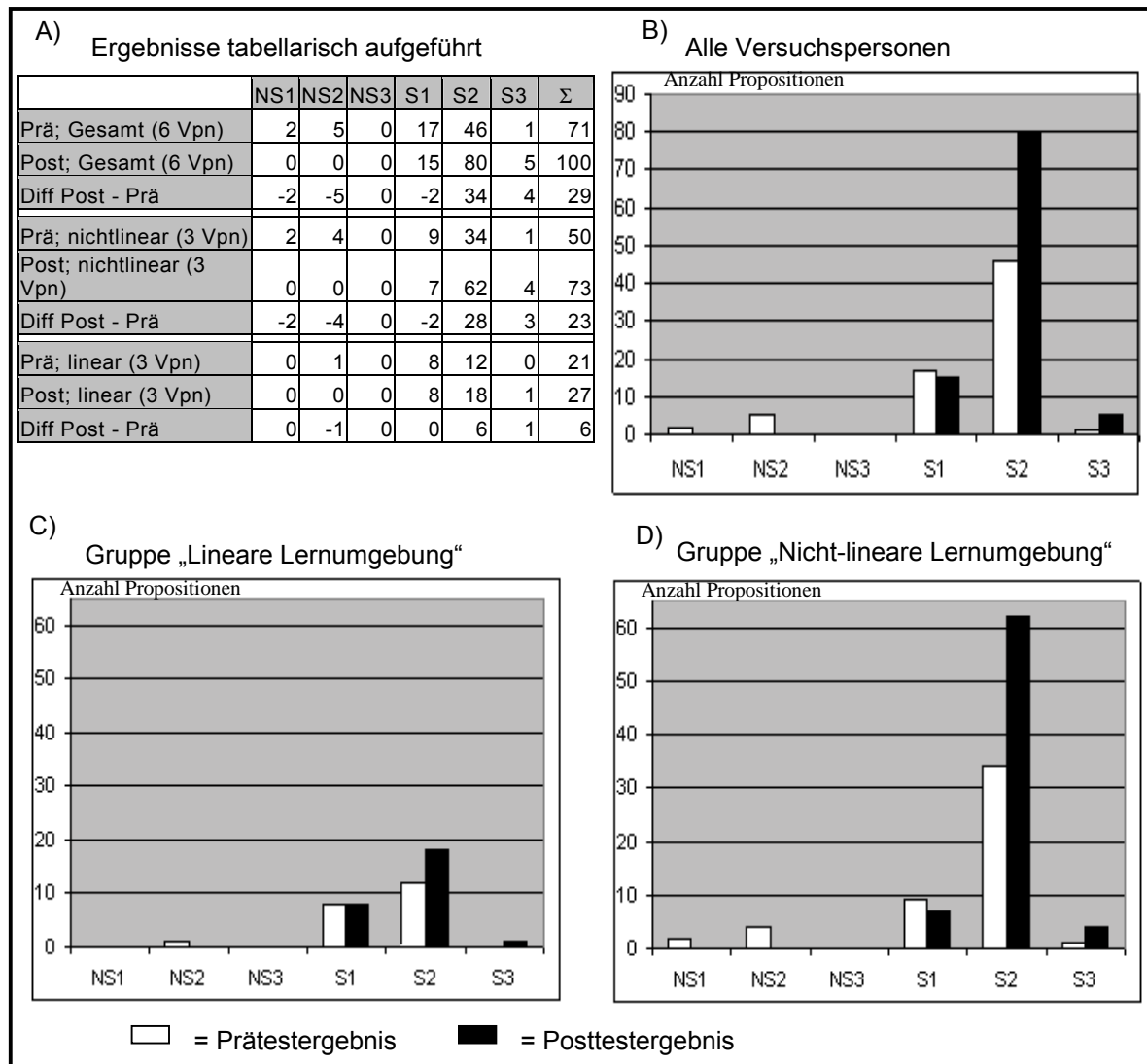


Abb. 7.22: Own Word Maps: Zu- und Abnahme zwischen Prä- und Posttest in der „Gesamtgruppe“ (B) und den Gruppen „Lineare Lernumgebungsanwender“ (C) und „Nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ (D).

Betrachtet man die Gesamtgruppe so wird ersichtlich, dass nach der Lernumgebungsanwendung der Anteil an nicht-spezifischen Propositionen auf Null sinkt, der Anteil an Propositionen aus dem Bereich S1 leicht rückläufig ist, während deutlich mehr Propositionen aus dem Bereich S2 generiert werden und der Anteil an S3-Propositionen leicht ansteigt. Vergleicht man die beiden Anwendergruppen miteinander, so treten die Unterschiede im Bereich S2 hervor. Sowohl im Vergleich der Absolutwerte als auch im Vergleich der Zuwachsraten schneiden die Versuchspersonen, die mit der nichtlinearen

Lernumgebung arbeiten, besser ab. Zu beachten ist jedoch, dass bereits im Prätest von diesen Versuchspersonen deutlich mehr Propositionen aus der Kategorie S2 generiert werden. Denkbar ist, dass Versuchspersonen, die in der Lage sind auf einem höheren fachlichen Niveau zu argumentieren, leichter dazulernen und das neu erworbene Wissen dann im Posttest artikulieren können, als dies Versuchspersonen mit geringeren Vorkenntnissen können. Der Unterschied zwischen den Anwendergruppen wäre demnach nicht auf die Lernumgebung zurückzuführen. Ob die Lernumgebung signifikanten Einfluss auf das erworbene Wissen hat, soll die breiter angelegte Hauptstudie klären.

Die Analyse aller Propositionen von Prä- und Posttest ergibt, dass die beiden Begriffe *Seife* und *Waschen* am häufigsten generiert und verknüpft werden: in elf der vierzehn ausgewerteten Own Word Maps tritt diese Verknüpfung auf. Jeweils sieben mal werden die Begriffspaare *Seife-hydrophob*, *Seife-Verseifung* und *Seife-Waschen* gebildet. Als Ausgangs- oder Zielbegriff für eine Verknüpfung wird am häufigsten der Begriff *Seife* (60 mal in den vierzehn Maps) verwendet, gefolgt von *Waschen* (28), *Fett* (21), *Tenside* (17), *Herabsetzung der Oberflächenspannung* (15), *hydrophob* (15) und *hydrophil* (12). *Herabsetzung der Oberflächenspannung* gehört zu den Begriffen, die häufiger im Posttest als im Prätest genannte werden (zwei mal in den sieben Prätest-Maps, 13 mal in den sieben Posttest-Maps), wohingegen der Begriff *Wasserhärte* in den Prätest-Maps häufiger verwendet wird als in den Posttest-Maps (acht mal in den sieben Prätest-Maps; ein mal in den sieben Posttest-Maps). Obwohl die negativen Auswirkungen der Wasserhärte auf den Waschprozess in der Lernumgebung problematisiert werden, scheint der Begriff für die Versuchspersonen zur Verknüpfung der Bilder im Own Word Map nicht mehr essentiell zu sein. Exemplarisch für die konstruierten Own Word Maps und um die Veränderungen bei einzelnen Versuchspersonen vom Prä- zum Posttest-Map zu skizzieren, werden die Maps der Versuchspersonen vorgestellt, die im Prätest die wenigsten Propositionen bzw. die meisten Propositionen bilden. Um die Maps besser vergleichen zu können, werden diese überarbeitet. Dabei kann die Positionierung der Begriffe von der tatsächlichen Positionierung im Map differieren, die Begriffe und die Verknüpfungen bleiben dagegen unverändert. Abbildung 7.23 zeigt das im Prätest entwickelte Own Word Map von Versuchsperson 8, die im Verknüpfungstest formulierten Aussagen und die durch den Experten vorgenommene Kategorisierung der jeweiligen Aussage. Zentraler Begriff und Ausgangspunkt für fünf der sechs generierten Propositionen ist der Begriff *Seife / Seifenlösung*. Auf den ersten Blick scheint es der Versuchsperson 8 gelungen zu sein alle drei Bilder sinnvoll miteinander zu verknüpfen. Sie schreibt den Begriff *Seife / Seifenlösung* jedoch an Bild A und interpretiert das Bild augenscheinlich falsch, da es nicht die Struktur eines Seifenmoleküls, sondern die Struktur eines Fettmoleküls darstellt. Nach der als erstes generierten Proposition *Seife-Verseifung* setzt die Versuchsperson an Bild B neu an. Sie bemerkt vermutlich, dass die Proposition *Wasser-Knallgasreaktion* sie thematisch nicht näher an die Bilder A und C heranbringt, unterbricht erneut und erkennt, dass eine Verknüpfung von Bild B zum Begriff *Seife* durch die Proposition *Seife-Erniedrigung der Oberflächenspannung* mit der Aussage »Seife setzt die Oberflächenspannung herab« möglich wird. Durch den Abbruch ist ein Teilbereich *Wasser-Knallgasreaktion* entstanden, der nicht mit dem übrigen Begriffen verknüpft ist. Die einzelnen Teilbereiche (hier zwei) sind grau hinterlegt. Es gelingt der Versuchsperson die Bilder B und C fachlich sinnvoll

miteinander zu verknüpfen. Trotz der Aufgabenstellung möglichst lange Begriffsketten zu bilden, konstruiert die Versuchsperson nur eine geringe Anzahl an Begriffen.

Im Posttest, nach dem Arbeiten mit der linearen Lernumgebung, konstruiert die Versuchsperson ein umfangreicheres Map (Abbildung 7.24). Erneut wird vermutlich das Bild A falsch interpretiert, der strukturelle Aufbau von Seifenmolekülen ist jetzt jedoch bekannt, was die Propositionen 2-5 zeigen. Zentraler Begriff bleibt *Seife / Seifenlösung*. Der Prozess des Waschvorgangs wird jetzt zumindest zum Teil erläutert. Alle Propositionen werden als spezifisch kategorisiert, vier der zwölf Propositionen sind der Kategorie S1 (Spezifisch aus der Alltagswelt) zugeordnet, die restlichen acht der Kategorie S2 (Spezifisch mit chemischem Kontext).

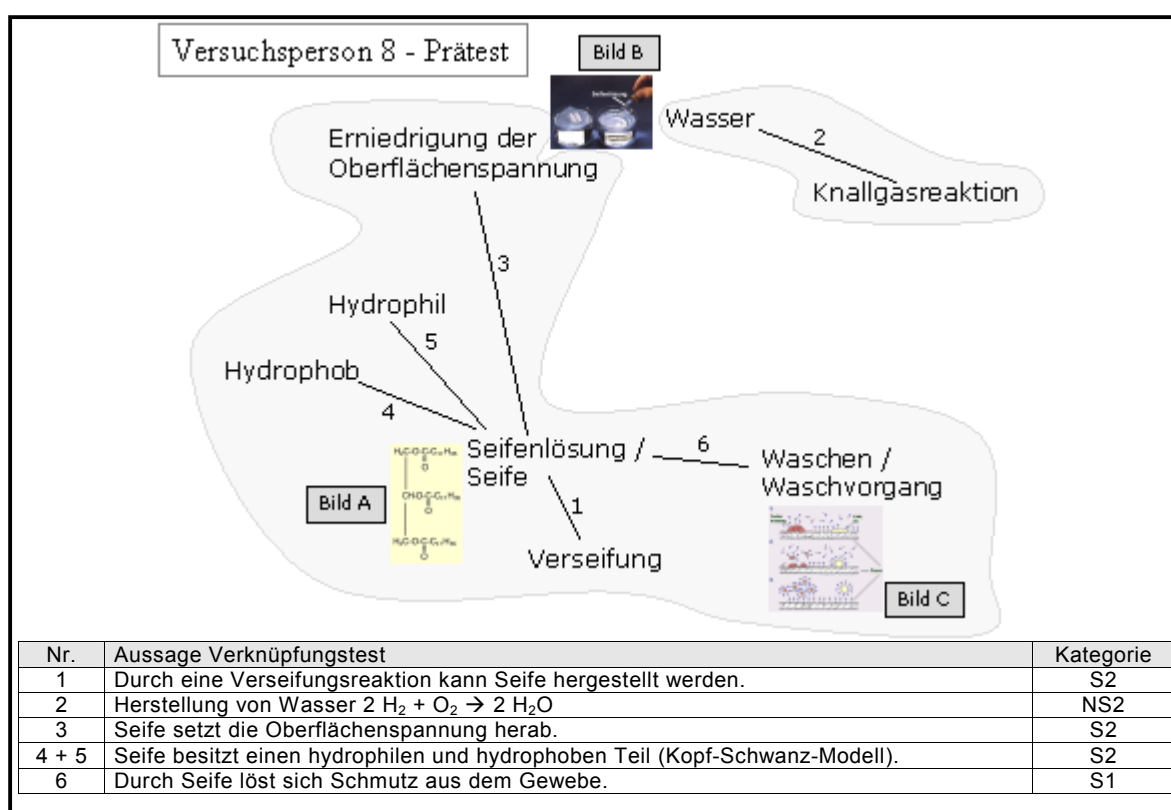


Abb. 7.23: Prätest-Own Word Map, Verknüpfungstest von Vpn 8 und Kategorisierung.

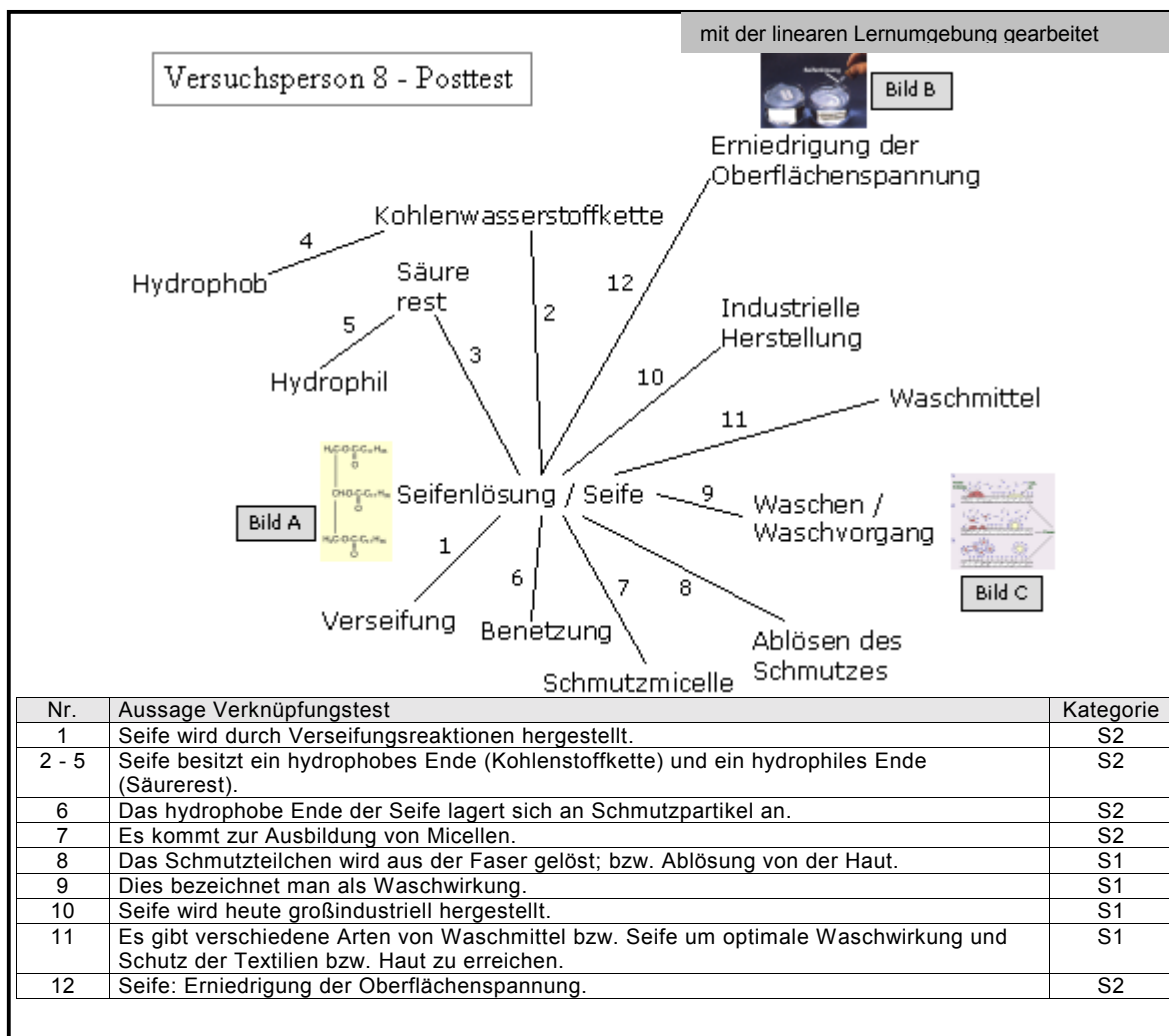


Abb. 7.24: Posttest-Own Word Map, Verknüpfungstest von Vpn 8 und Kategorisierung.

Die Versuchsperson 1 generiert bereits im Prätest eine Vielzahl von Propositionen (Abbildung 7.25). Dennoch gelingt es ihr nicht, die drei Bilder sinnvoll über Begriffsketten miteinander zu verbinden. Es entstehen insgesamt sechs Teilnetze (grau hinterlegt). Die Vielzahl an unverknüpften Teilnetzen resultiert anscheinend einerseits daraus, dass die Versuchsperson realisiert, dass sie einzelne Propositionen thematisch nicht näher an andere Bilder oder bereits generierte Begriffsketten heranbringt (z.B. Abbruch nach Proposition 2, 16 und 17). Andererseits bricht sie bei Proposition 18 (Verknüpfung *Waschen – Waschaktive Substanzen*) ab und nennt in Proposition 19 die Begriffe *Waschmittel* und *Bleichmittel*. Zumindest in diesem Fall muss sie schlichtweg vergessen haben eine Verbindung zwischen *Waschaktive Substanzen* und *Waschmittel* herzustellen. Die Versuchsperson benutzt zur Erstellung des Maps nicht nur Begriffe, sondern greift auch auf Strukturformeln und Schemazeichnungen als Darstellungsmittel zurück. Das gesamte Prätest-Map zeigt, dass die Versuchsperson bereits vor dem Arbeiten mit der Lernumgebung über ein größeres fachchemisches Wissen verfügt.

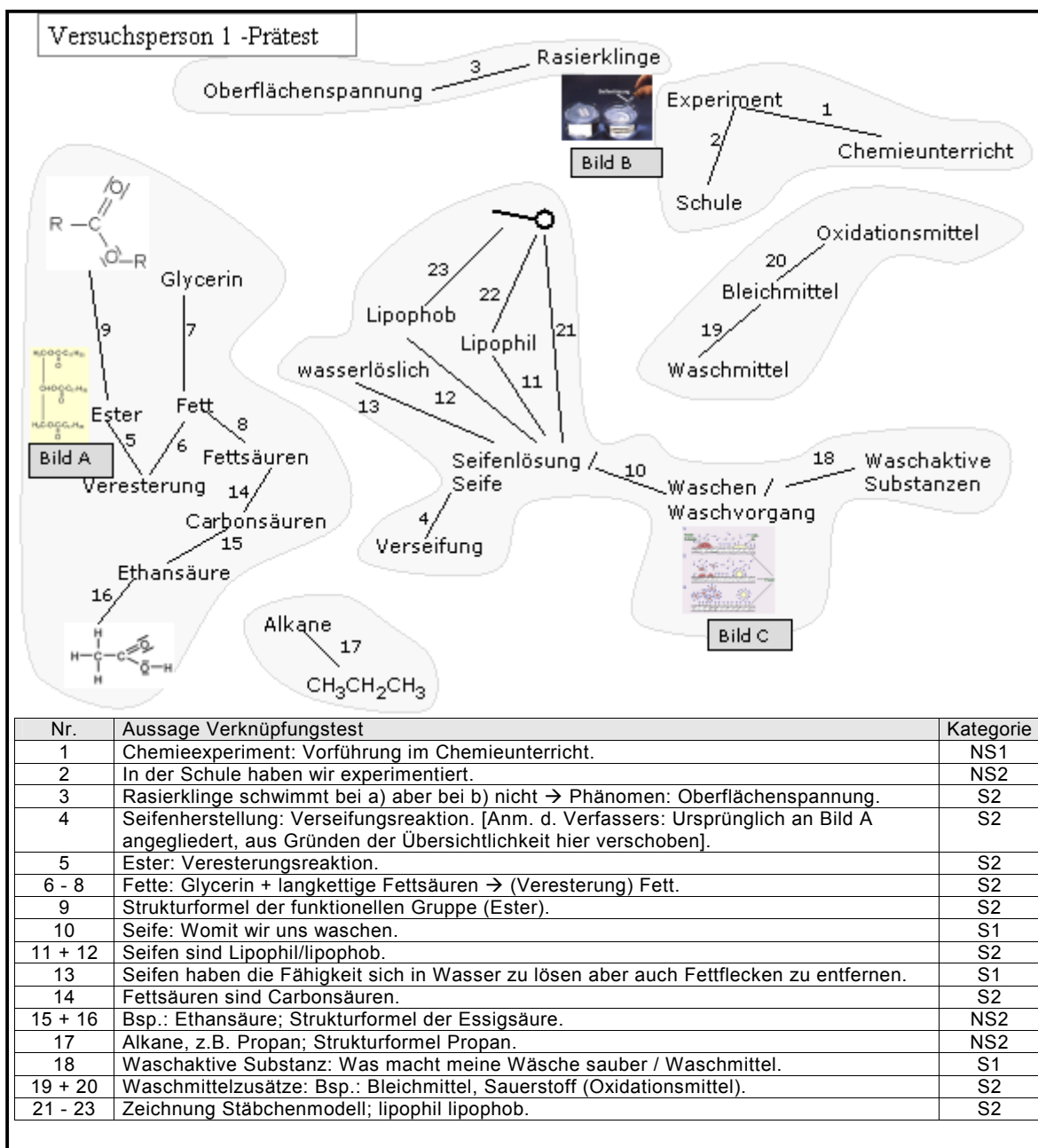


Abb. 7.25: Prätest-Own Word Map, Verknüpfungstest von Vpn 1 und Kategorisierung.

Nach dem Arbeiten mit der nicht-linearen Lernumgebung erstellt die Versuchsperson 1 ein noch umfangreicheres Own Word Map (Abbildung 7.26). Es gelingt ihr alle drei Bilder über lange und sinnvolle Begriffsketten zu verbinden. *Seifenlösung/Seife* ist weiterhin ein zentraler Begriff, daneben treten aber weitere zentrale Begriffe (Knoten) auf, zum Beispiel *Ester*, *Tenside* und *Oberflächenspannung*. Bis auf wenige Ausnahmen sind alle Propositionen den Kategorien S2 und S3 zuzuordnen, d.h. die Versuchsperson argumentiert fachlich. Wie im Prätest-Map verdeutlicht die Versuchsperson ihre Überlegungen außer durch Begriffe durch Strukturformeln und Schemazeichnungen. Gegenüber dem Prätest sind der Themenbereich „*Seife im Waschprozess*“, repräsentiert durch die Propositionen 29 bis 34, und der Themenbereich „*Phänomen Oberflächenspannung*“, repräsentiert durch die Propositionen 22 bis 28, wesentlich detaillierter dargestellt und die Versuchsperson bleibt nicht auf der fachlich-beschreibenden Ebene (Kategorienzuordnung S2) wie im

Prätest-Map, sondern erklärt darüber hinaus verschiedene Phänomene (Kategorienzuordnung S3). Die Versuchsperson ist nach dem Arbeiten mit der Lernumgebung in der Lage die bereits im Prätest angeführten fachlichen Kenntnisse deutlich besser in einen Gesamtzusammenhang zu bringen. Die Teilbereiche werden durch neu erlerntes Wissen erweitert und neue Themenbereiche generiert. So ist der Themenbereich um den Begriff Tenside ebenso neu wie die Erläuterungen zu den den Waschprozess störenden Faktoren (Calcium- und Magnesiumionen und Säuren). Gegenüber dem Prätest-Map fehlt im Posttest-Map der Themenbereich *Waschmittel-Bleichmittel-Oxidationsmittel* (Propositionen 19 und 20 im Own Word Map des Prätests).

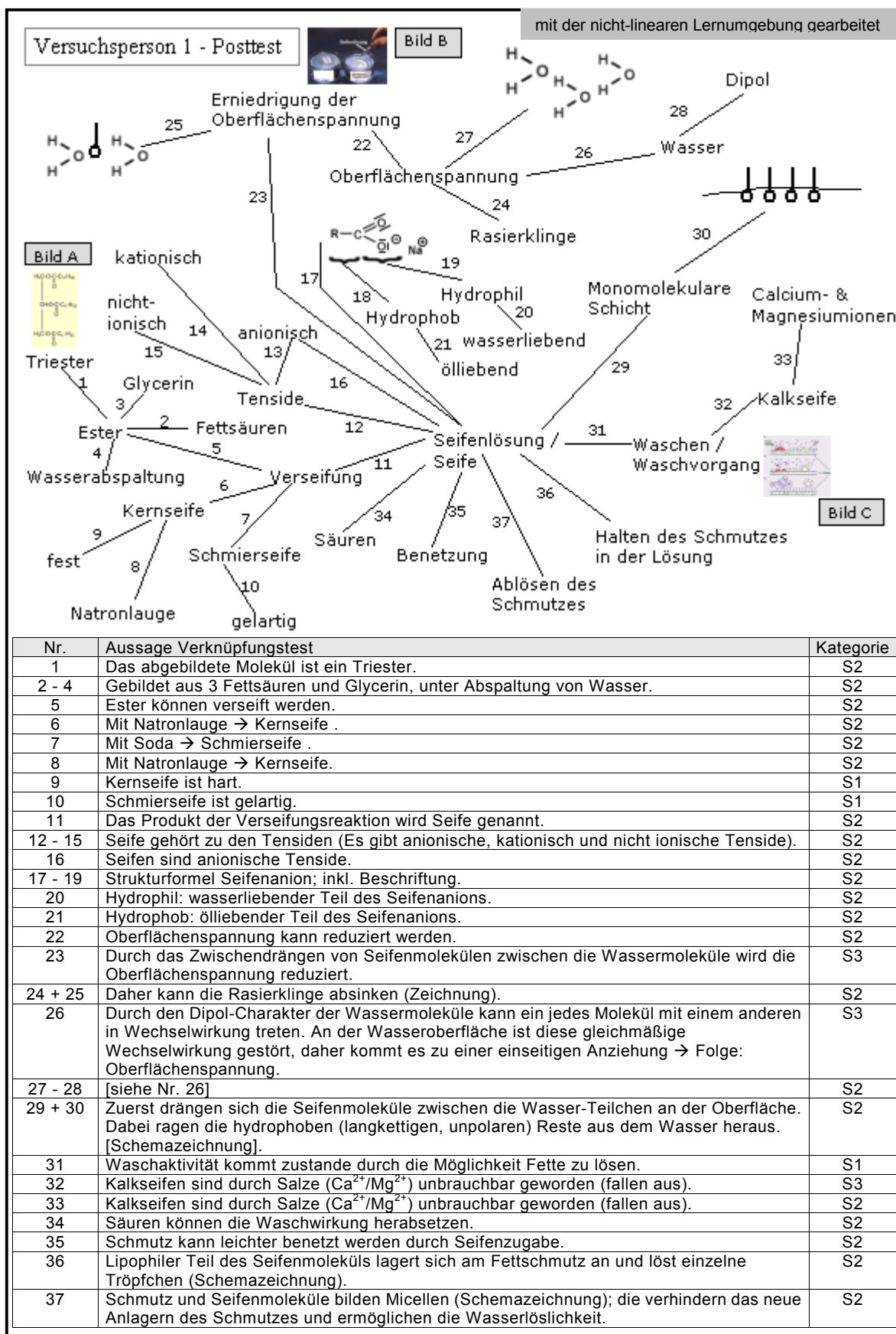


Abb. 7.26: Posttest-Own Word Map, Verknüpfungstest von Vpn 1 und Kategorisierung.

Betrachtet man diejenigen Propositionen, die von den Experten der Kategorie S3 zugeordnet werden, wird die These gestützt, dass einer jeden Erklärung eine umfangreiche Beschreibung vorausgeht, was den etwas geringen Anteil an Propositionen aus der Kategorie S3 zumindest teilweise erklärt. Es zeigt sich auch, dass für den Fall, dass mehrere Begriffe durch eine längere erklärende Aussage im Verknüpfungstest verbunden werden, die Experten nur eine Aussage der Kategorie S3 zuordnen und die anderen der Kategorie S2 (z.B. bei den Propositionen 26 bis 28 im Post-Own Word Map der Versuchsperson 1).

Im Anschluss an die Erstellung des Own Word Maps und den Verknüpfungstest fügen die Versuchspersonen im Integrationstest vorgegebene Begriffe in ihr bestehendes Map. Insgesamt werden dreiunddreißig zusätzliche Propositionen im Prätest gebildet und neun im Posttest (Tabelle 7.2). Ein Grund für die geringere Anzahl an integrierten Begriffen im Posttest gegenüber dem Prätest ist der, dass die Begriffe durch die Versuchspersonen bereits selbständig im Own Word Map genannt werden. Spürbar während des Integrationstest waren allerdings auch Konzentrationsschwierigkeiten und Motivationsverluste bei den Versuchspersonen und zwar deutlicher im Post- als im Prätest. Ursache dafür könnte die anstrengende Phase der Lernumgebungsanwendung sein.

	Kategorie S2			Kategorie S3			Summe (S2 + S3)	Bereits im OWM (selbst generiert)	Gesamt- propositionen
	Gesamt ^{*1}	linear ^{*2}	nicht-linear ^{*3}	Gesamt	linear	nicht- linear			
Prätest	29	14	15	4	0	4	33	71	104
Posttest	7	0	7	2	0	2	9	100	109
*1: Gesamtgruppe (6 Versuchspersonen)									
*2: Versuchspersonen, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten (3)									
*3: Versuchspersonen, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten (3)									

Tab. 7.2: Ergebnisse des Integrationstests.

Alle zusätzlichen neun Propositionen im Posttest werden von Versuchspersonen gebildet, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, während im Prätest die Propositionen noch zu gleichen Anteilen von beiden Gruppen gebildet werden. Dieses könnte ein Anzeichen für Vorteile der nicht-linearen Lernumgebung gegenüber der linearen Lernumgebung sein. Insgesamt werden wenige Begriffe in die Maps integriert; immerhin stehen 16 Begriffe zur Auswahl und in den meisten Fällen sind deutlich mehr als die Hälfte dieser Begriffe noch nicht in den Maps enthalten. Die Versuchspersonen tun sich schwer damit, geeignete Verknüpfungspunkte für neu zu integrierende Begriffe zu finden. Vielfach werden alle Begriffe des Maps mit dem zu integrierenden Begriff verglichen, was sehr zeitaufwendig und bei großen Maps besonders diffizil ist. Weitere Gründe für die geringe Anzahl an integrierten Begriffen könnten sein, dass den Versuchspersonen die Begriffe nicht bekannt sind oder, dass das Own Word Map den Versuchspersonen bereits vollständig erscheint, zusätzliche Begriffe werden dann als Störfaktoren empfunden.

Zu den Begriffen, die am häufigsten in die Own Word Maps integriert werden, gehören *Wasserhärte* (in fünf der sechs Prätest-Maps integriert), *Benetzung* (in vier der sechs Prätest-Maps integriert und in ein Posttest-Map) und *Kalkseife* (in drei der sechs Prätest-Maps integriert und in ein Posttest-Map). Bereits vor

dem Integrationstest sind die folgenden Begriffe Bestandteil vieler Own Word Maps:

- *Benetzung* (in keinem der sechs Prätest-Maps, in vier der sechs Posttest-Maps genannt);
- *Fett* (in vier der sechs Prätest-Maps, in fünf der sechs Posttest-Maps genannt);
- *Hydrophil* (in drei der sechs Prätest-Maps, in fünf der sechs Posttest-Maps genannt);
- *Hydrophob* (in vier der sechs Prätest-Maps, in vier der sechs Posttest-Maps genannt);
- *Oberflächenspannung* (in drei der sechs Prätest-Maps, in drei der sechs Posttest-Maps genannt).

Als Indikator für die Strukturiertheit der Maps werden der Linkage-Index und die Anzahl der zentralen Knoten ermittelt (Tabelle 7.3). Die dargestellten Werte beziehen sich auf die Gesamtnetze, d.h. der Auswertung liegen die Maps nach Beendigung des Integrationstests zu Grunde. Für Versuchsperson 7, die mit der nicht-linearen Lernumgebung gearbeitet hat, liegt kein Posttest-Map vor. Aus diesem Grund sind die Werte von Versuchsperson 7 nicht aufgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Werte von Versuchsperson 6, die aus der Gruppe der linearen Lernumgebungs-Anwender am schlechtesten abschneidet, ebenfalls gestrichen.

	Relationen (Verknüpfungen)	Begriffe	Linkage	Zentrale Knoten* ²
Vpn 1: Prätest-Map	30	35	0,86	1 [7]
Vpn 1* ¹ : Posttest-Map	37	38	0,97	5 [11 ; 5 ; 5 ; 4 ; 4]
Vpn 2: Prätest-Map	23	25	0,92	2 [4 ; 5]
Vpn 2* ¹ Posttest-Map	25	25	1	3 [5 ; 5 ; 4]
Vpn 3: Prätest-Map	17	18	0,94	1 [6]
Vpn 3: Posttest-Map	8	10	0,8	0
Vpn 4: Prätest-Map	10	11	0,91	1 [6]
Vpn 4: Posttest-Map	8	9	0,88	1 [4]
Vpn 5: Prätest-Map	16	17	0,94	1 [3]
Vpn 5* ¹ Posttest-Map	19	22	0,86	2 [5 ; 5]
Vpn 8: Prätest-Map	6	8	0,75	1 [4]
Vpn 8: Posttest-Map	11	12	0,92	1 [5]
* ¹ = mit der nicht-linearen Lernumgebung gearbeitet				
* ² = die erste Zahl gibt die Anzahl der zentralen Knoten an; in den eckigen Klammern ist aufgeführt, an wie viel Propositionen der jeweilige Knoten beteiligt ist				

Tab. 7.3: Strukturiertheit der Maps.

Ein Linkage unter 0,9 weist auf Maps hin, die aus Teilnetzen bestehen und/oder nur eine geringe Anzahl an Propositionen beinhalten. Ein Linkage der größer oder gleich 1 ist, kann nur zustande kommen, wenn mehrere Begriffe mehrfach untereinander verknüpft sind. Die Zahlenwerte differieren von Versuchsperson zu Versuchsperson nur marginal. Als ein besserer Indikator für die Strukturiertheit erscheint die Anzahl an zentralen Knoten. Die Anzahl der zentralen Knoten

in den Prätest-Maps ist bei allen Versuchspersonen nahezu identisch. Während bei den Versuchspersonen, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, die Anzahl der zentralen Knoten auf niedrigem Niveau verweilt, konstruieren die drei Versuchspersonen die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten zusammen sechs Knoten mehr (Gesamtzahl zehn) als noch in den Prätest-Maps.

7.5.3 Leistungstest

Ausgewertet werden die acht Leistungstests des Prätests und später die acht Leistungstests des Posttests. Es wird zunächst für die Aufgaben des Leistungstests ein Idealantwortverzeichnis unter Zuhilfenahme der Lernumgebung konzipiert und ein Punkteschlüssel erstellt. Im Anschluss werden die von den Versuchspersonen geäußerten Antworten codiert und mit den Idealantworten verglichen. Sollten die Versuchspersonen Antworten generieren, die nicht in dem Idealantwortverzeichnis enthalten sind, ist dieses zu erweitern. Dies traf jedoch in der Pilotstudie nicht zu. Die Antworten der Versuchspersonen zu den einzelnen Fragen werden gepunktet und anschließend für jede Aufgabe die Antworten der Versuchspersonen untereinander verglichen, um so eine zusätzliche Sicherheit im Hinblick darauf zu erhalten, dass für gleiche Aussagen auch gleiche Punkte vergeben werden. Nach vier Wochen wird erneut ein Idealantwortverzeichnis und ein Punkteschlüssel erstellt (vgl. Anhang Abbildung 13.2; S. 134f.) und mit dem bestehenden Verzeichnis und Schlüssel abgeglichen. In 3 von 41 Fällen gab es eine Abweichung von 0,5 Punkten, es wurde nach genauer Prüfung jeweils zum ersten Idealantwortverzeichnis hin korrigiert. Die Antworten der Versuchspersonen werden erneut gepunktet und untereinander verglichen. In 2 von 88 Fällen gab es Unterschiede zur ersten Auswertung, die auf Unaufmerksamkeiten bei der Auswertung zurückzuführen waren und korrigiert wurden. Für die Auswertung der Leistungstests der Pilotstudie wurde auf ein Interrating verzichtet, zur Reliabilität der Ergebnisse können daher keine Aussagen getroffen werden. Die Abbildung 7.27 stellt die von den Versuchspersonen in Prä- und Posttest erreichten Gesamtpunktzahlen dar. Auffällig ist die Heterogenität der Ergebnisse, unabhängig davon mit welcher Lernumgebung die Versuchspersonen gearbeitet haben. Während einige Versuchspersonen größere Zuwachsraten zwischen Prä- und Posttest aufweisen, stagnieren andere Versuchspersonen oder verzeichnen sogar einen leichten Leistungsrückgang. Von der maximal zu erreichenden Gesamtpunktzahl (63,25 Punkte) bleiben alle Versuchspersonen weit entfernt, was aber nicht verwunden darf, da die Thematik einer wesentlich längeren und intensiveren Erarbeitung bedarf, als hier zur Verfügung stand.

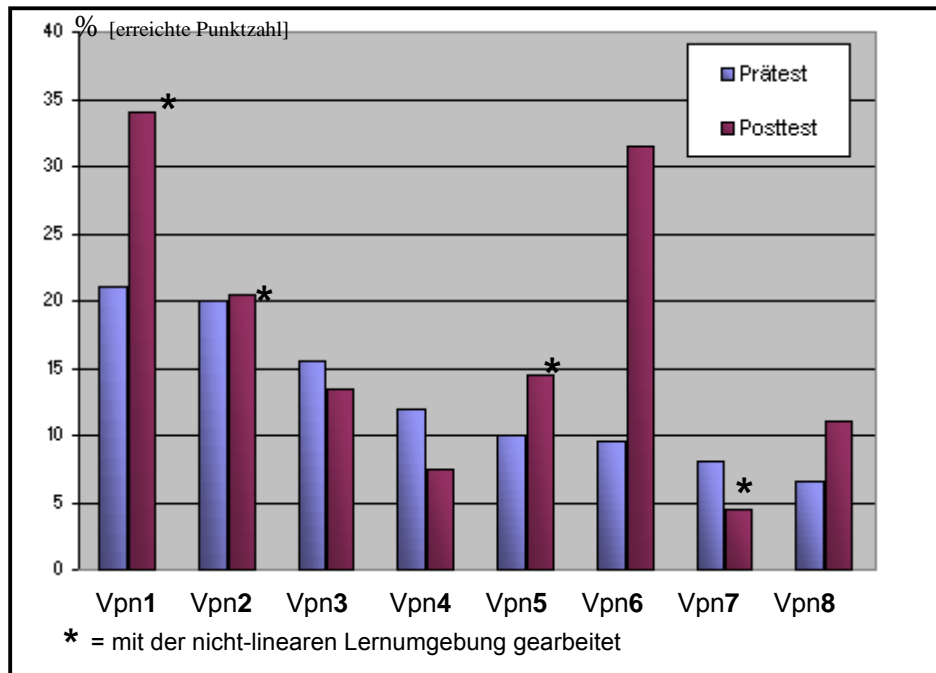


Abb. 7.27: Gesamtpunktzahl der Versuchspersonen in den Leistungstests.

Über die Ursachen für das heterogene Gesamtbild kann nur spekuliert werden. Möglicherweise liefern die Analysen der Denkprotokolle und die Analysen der Navigationsverläufe Anhaltspunkte für die Leistungsunterschiede. Von einigen Versuchspersonen wurde bereits während und kurz nach den Posttests Kritik geäußert. Drei häufiger genannte Kritikpunkte waren:

- die Zeitdauer von Lernumgebungsanwendung und Posttest und damit verbundene Konzentrationsschwierigkeiten;
- die Methode des Lauten Denkens, die einige Versuchspersonen als lernstörend empfanden, da sie sich nach eigenen Angaben weniger auf die thematischen Inhalte und vielmehr auf ihr Navigationsverhalten und die Begründungen dafür konzentrierten;
- der enorme Umfang der Lernumgebung, der es nach Angaben einiger Versuchspersonen nicht möglich machte, alle Inhalte gleich intensiv zu bearbeiten.

Diese Punkte sind bei der Konzeption der Hauptstudie berücksichtigt worden. Die geringe Anzahl der Versuchspersonen und die Heterogenität der Ergebnisse auch innerhalb der Gruppen „lineare Lernumgebung“ und „nicht-lineare Lernumgebung“ erlauben keine Gegenüberstellung dieser beiden Gruppen. Ein Vergleich der Zuwächse der einzelnen Aufgaben (Abbildung 7.28) zeigt, dass die Zuwächse hauptsächlich auf die Aufgaben 2 bis 4 zurückzuführen sind. Im Prätest erzielten alle acht Versuchspersonen (Vpn) zusammen für die erste Aufgabe 75,5 Punkte (21,8%), im Posttest 85 Punkte (24,6%) von maximal (8 x 34,25) 346 erreichbaren Punkten. Für die Aufgaben 2-4 erreichen alle Versuchspersonen zusammen im Prätest 26,5 Punkte (16,6%) und im Posttest 51 Punkte (31,9%) von (8 x 20) maximal 160 erreichbaren Punkten. In Aufgabe 1 (Abbildung 7.28) sind acht verschiedene Begriffe (Ester, Emulsion, Fettsäure...) zu erläutern. Innerhalb der Lernumgebung erhalten die Versuchspersonen maßgeblich über die Begriffsdefinitionsseiten Informationen zu diesen Begriffen. Die geringen Leistungszuwächse bei Aufgabe 1 lassen vermuten,

dass die Versuchspersonen die Begriffsdefinitionsseiten kaum frequentieren bzw. die Inhalte nicht aufmerksam studieren. Die Informationen zur Beantwortung der Aufgaben 2-4 sind dagegen überwiegend auf den Haupt- und Nebenseiten der Lernumgebungen zu finden.

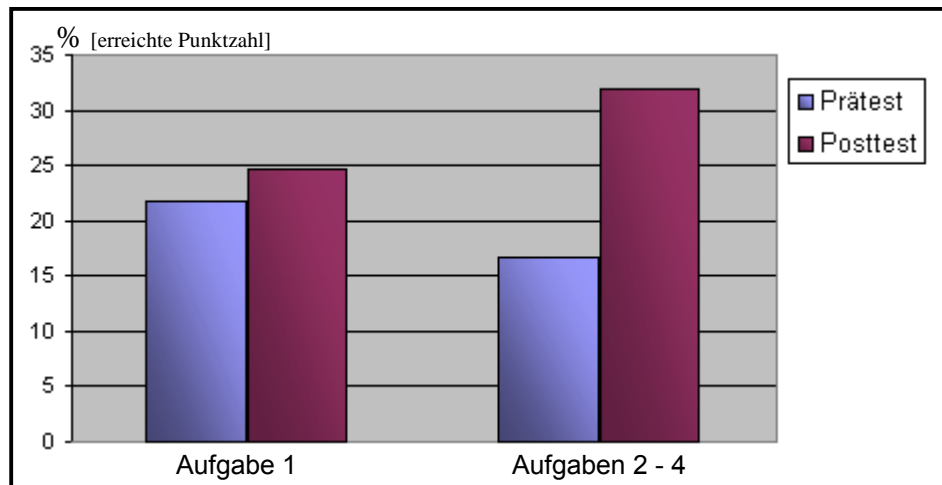


Abb. 7.28: Vergleich der Gesamtpunktzahl aller Versuchspersonen zwischen Aufgabe 1 und den Aufgaben 2-4 (Leistungstest).

Ein Vergleich der Ergebnisse des Leistungstests (Abbildung 7.27) mit den Ergebnissen der Maps (Abbildung 7.21) zeigt deutliche Übereinstimmungen. Die Versuchspersonen, die keinen Leistungszuwachs im Posttest-Map zu verzeichnen haben (Versuchsperson 3, 4 und 8), können sich auch im Leistungstest nicht verbessern. Alle drei arbeiten mit der linearen Lernumgebung. Die Versuchspersonen, die kleinere oder größere Leistungszuwächse im Posttest-Map aufweisen, können diese auch auf den Leistungstest übertragen (Versuchsperson 1, 2 und 5). Alle drei arbeiten mit der nicht-linearen Lernumgebung. Einzige Ausnahme bildet Versuchsperson 6, deren Posttest-Map schlechter konzipiert ist als das Prätest-Map, die dagegen enormen Zuwächse im Leistungstest verzeichnet. Bei der geringen Versuchspersonenzahl können die Ergebnisse allenfalls als Tendenzen gewertet werden, denen es sich lohnt nachzugehen.

7.5.4 Methode des Lauten Denkens

Die Methode des Lauten Denkens wird eingesetzt um zu analysieren, welche Motive es für die Versuchspersonen gibt bestimmte Seiten gezielt aufzusuchen und andere nicht. Die Methode wird mit der Erstellung digitaler Audio-Video-Files (s. Abschnitt 7.5.5) kombiniert. So kann genau nachvollzogen werden, auf welcher Hypertextseite der Lernumgebung sich die Versuchsperson befindet und wohin der Mauszeiger bewegt wird, während sich die Versuchsperson zu den Navigationsmotiven äußert. Die Methode erweist sich als schwierig in der Durchführung. Die meisten der Versuchspersonen äußern sich nicht spontan zu ihrem Navigationsverhalten, sondern müssen bei jedem Klick erneut durch den Versuchsleiter aufgefordert werden ihre Beweggründe zu formulieren. Alle Versuchspersonen weisen während der Anwendung oder im Anschluss an die Anwendung darauf hin, dass die Methode sie in der Konzentration auf die Lerninhalte behindert und sie sich erheblich gestört fühlen. Ob die Methode während dieser Anwendung de facto einen negativen Einfluss auf den Lernerfolg hat und wenn, wie groß dieser ist, und ob er von Versuchsperson zu Versuchsperson unterschiedlich ist, kann nicht festgestellt werden. In der Tabelle 7.4 sind einige Aussagen der Versuchspersonen zum Navigationsverhalten aufgeführt. Die Begründungen lassen darauf schließen, dass das Navigieren zu den Hauptseiten bzw. von Hauptseite zu Hauptseite vorwiegend interessegeleitet erfolgt und weil es den Versuchspersonen vom Inhaltssammenhang her logisch erscheint. Die graphisch orientierten Nebenseiten werden vornehmlich aufgesucht um das auf den Hauptseiten gelesene zu verdeutlichen, z.T. auch weil die Graphiken die Thematik auflockern oder weil die Versuchsperson neugierig ist. Die Begründungen für das „Anklicken“ von Begriffsdefinitionen sind recht vielfältig, die in die Richtung Verständnisschwierigkeit gehenden überwiegen jedoch deutlich.

Die Motive für das „Nicht-Anklicken“ von Verknüpfungen oder das schnelle Weiternavigieren sind noch schwieriger zu ermitteln. Es kann nur stichprobenartig nach den Beweggründen gefragt werden. Tabelle 7.5 listet einige Begründungen auf. Häufiger genannte Motive sind, dass der Inhalt momentan nicht von Interesse ist, oder, dass die Inhalte bereits bekannt sind. Es zeigt sich allerdings im Vergleich mit den Ergebnissen der Leistungstests und der Own Word Maps, dass diese Einschätzungen häufig falsch sind und sehr wohl inhaltliche Defizite im Kenntnisstand bei den Versuchspersonen vorhanden sind. Zentrale Probleme für die Konzeption von Lernumgebungen und das Arbeiten mit den Lernumgebungen sind daher, die Anwender zu intensivem Lesen und gründlicher Reflektion des Bekanntheitsgrads anzuhalten. Für die Begriffsdefinitionsseiten ist festzuhalten, dass sich die Aufenthaltsdauer der Versuchspersonen auf entsprechenden Seiten häufig positiv auf Leistungstest und Own Word Map auswirkt.

Anklicken der Hauptseiten
Vpn6: »Die Herstellung von Seife interessiert mich jetzt nicht, so dann geh ich erst einmal zur Wirkungsweise von Seife.«
Vpn7: [Nachteile beim Waschen mit Seife] »Das interessiert mich jetzt einfach.«
Anklicken der graphisch orientierten Nebenseiten
Vpn1: »Die wichtigsten Seifen will ich mir jetzt einfach mal angucken, so aus Interesse.«
Vpn3: [Reaktionsgleichung Neutralöl-Verseifung] »Ja, um das halt, ja anhand der Reaktionsgleichung ungefähr nachvollziehen zu können, oder jedenfalls es zu versuchen.«
Vpn5: [Industrielle Seifenherstellung] »Warum ich da hin gehe? Ja, ich möchte mal ein Bild gucken, ist doch nett, nach so viel Text mal ein Bild.«
Vpn6: [Bildung von Seifenschaum] »Bildchen sind immer zur Verdeutlichung ganz gut.«
Anklicken von Begriffsdefinitionsseiten
Vpn1: [Tensid] »Klicke ich an weil ich jetzt noch mal sehen wollte, ob das jetzt beschrieben wird, ob es einen konkreten Unterschied zwischen Seife und Tensid gibt, oder ob das nur ein Oberbegriff ist.«
Vpn4: »Ich bin gerade hier bei dem Wort Emulgator. Ich überlege gerade für mich, ob ich das noch kennen oder ob ich das noch irgendwo nachschlagen möchte.« [Klickt den Begriff Emulgator an] »Jawohl, nichts vergessen.«
Vpn5: [klickt nacheinander mehrere Begriffsdefinitionsseiten innerhalb einer Hauptseite an] »Ich geh einfach einmal von oben nach unten durch.«
Vpn5: [klickt auf „Hydrolyse“] »Weil ich in der Berufsschule etwas über Emulgatoren gelernt habe, das fand ich ganz nett und möchte wissen, ob ich das richtig behalten habe.«
Vpn6: »Ich guck mir jetzt mal spaßeshalber die Seifenanionen an.«
Vpn7: » Weil ich immer „hydrophil“ und „hydrophob“ verwechsle, klick ich das jetzt mal an.«
Zur Methode
Vpn5: »Das ist echt nervig, mit der ewigen Fragerei.«
Vpn6: »Ich muss mich super konzentrieren, dass ich den Text verstehe. Ich bin irgendwie so von den anderen Sachen eingenommen. Also wenn ich allein wäre, dann würde ich das auch besser verstehen.«

Tab. 7.4: Auswahl an Begründungen der Versuchspersonen zum Navigationsverhalten.

Versuchsperson 6: [Nebenseite: Reaktionsgleichung Neutralöl-Verseifung angeklickt] »Die kann ich auswendig.«
Versuchsperson 3: »Hier das Bild guck ich mir jetzt zum Beispiel nicht an [Verweist auf den Link zur Nebenseite Erniedrigung der Grenzflächenspannung]. Denn hier kann ich mir schon erkennen, was gemeint ist. Das geht schon aus diesem Text hervor.«
Versuchsleiter: »Die Begriffe Tensid und Phase hast du nicht angeklickt, warum?« Antwort Versuchsperson 7: »Tensid steht hier ja schon eine kurze Zusammenfassung und das reicht mir jetzt erst einmal, ich wollte da nicht so viel wissen und Phase dachte ich jetzt eigentlich, das würde ich ausreichend verstehen.«
Versuchsleiter: »Erkläre einmal ganz kurz, warum du den Begriff Van-der-Waals-Kräfte nicht angeklickt hast.« Antwort Versuchsperson 7: »Weil ich so ungefähr noch weiß was Van-der-Waals-Kräfte sind und ich denk mal, das ist jetzt nicht unbedingt so wichtig, mit den Kräften, die da wirken.«
Versuchsleiter: »Warum hast du die übergreifenden Links nicht angeklickt ?« Antwort Versuchsperson 7: »Das habe ich jetzt einfach so hingenommen.«
Versuchsleiter: »Da sind noch andere Verknüpfungen. Warum hast du die nicht angeklickt.« Versuchsperson 4: »Hab ich nicht gesehen, ehrlich gesagt.«

Tab. 7.5: Auswahl an Begründungen zum „Nicht-Anklicken“ von Verknüpfungen.

Einige von den Versuchspersonen getätigte Äußerungen lassen vermuten, dass sie kurzzeitig die Orientierung in der Lernumgebung verloren haben. Dies trifft auf die Versuchsperson 1 drei mal und auf Versuchsperson 5 ein mal zu. Beide arbeiten mit der nicht-linearen Lernumgebung. Versuchsperson 1 äußert sich beispielsweise wie folgt: »*Ehm, das habe ich doch irgendwie schon einmal gehabt, oder? Da bin ich irgendwie falsch hier. Gehen wir mal weiter. Ich möchte gerne weiter. Ja und jetzt habe ich ein Problem, irgendwie will er mich wieder zurück schicken. Ich glaube das liegt nur an meiner Unfähigkeit hier. Ich könnte zur Übersicht mal gehen...*« Betrachtet man die Ergebnisse von Versuchsperson 1 im Posttest, so scheinen die Orientierungsprobleme keinen größeren negativen Einflüsse auf den Lernerfolg gehabt zu haben.

7.5.5 Digitale Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs

Mit Hilfe der digitalen Videoaufzeichnungen kann der gesamte Navigationsverlauf der Versuchspersonen analysiert werden. Es zeigt sich, dass die Versuchspersonen sehr unterschiedlich navigieren. Die Unterschiede in den Verweilzeiten auf den einzelnen Seiten und in der Anzahl der aufgerufenen Seiten erscheinen dabei größer als die Unterschiede in der Navigationsreihenfolge zwischen Versuchspersonen, die mit der linearen oder der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten. Die übergreifenden Links, Kennzeichen der nicht-linearen Lernumgebung, werden dabei relativ selten genutzt. Denkbare Gründe dafür sind:

- die Versuchspersonen sehen keine inhaltliche Notwendigkeit Links zu nutzen;
- die Versuchspersonen übersehen die Verknüpfungen, d.h. beim Lesen eines Satzes fällt ihnen der Link nicht weiter auf;
- das im jahrelangen Umgang mit Büchern erlernte relativ lineare Erarbeiten von Informationen prägt auch den Umgang mit der Hypertext-Lernumgebung.

Mit Ausnahme von einer Versuchsperson, die dreiundzwanzig Begriffsdefinitionsseiten aufruft, werden die Begriffsdefinitionsseiten relativ selten frequentiert. Die Versuchspersonen, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, rufen zwischen acht und dreiundzwanzig Begriffsdefinitionsseiten auf, Versuchspersonen, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten maximal 3 Begriffsdefinitionsseiten. Die Methode des Lauten Denkens hat gezeigt, dass häufig die Begriffsdefinitionsseiten nicht aufgerufen werden, weil die Versuchspersonen denken, dass sie über den Begriff bereits ausreichend informiert sind, oder weil sie die Informationen dazu momentan nicht benötigen.

Exemplarisch wird in der Tabelle 7.6 das Navigationsverhalten von drei Versuchspersonen dargestellt. In der ersten Spalte sind die einzelnen Seiten der Lernumgebung aufgeführt, dabei sind Hauptseiten grau hinterlegt und Nebenseiten durch das Kürzel (NS) gekennzeichnet. Die Nebenseiten, die von einer entsprechenden Hauptseite aus zu erreichen sind, sind in der Tabelle genau unter der jeweiligen Hauptseite aufgeführt, das heißt zum Beispiel, dass von der Hypertextseite „*Herstellung Seife - Teil 1*“ die Nebenseiten „*Die wichtigsten Seifen*“ und „*Struktur von Seifenanionen*“ erreichbar sind. Die Begriffsdefinitionsseiten sind in den unteren Zeilen aufgeführt (kursiv gestellt). Es sind nur die

Begriffsdefinitionsseiten erwähnt, die von mindestens einer der drei Versuchspersonen aufgerufen werden; für zwölf Begriffsdefinitionsseiten trifft dies nicht zu. Anhand der in der Spalte *Navigationsreihenfolge* aufgeführten Zahlenfolge kann der Navigationsverlauf nachvollzogen werden, die Spalte *Zeit* stellt die Gesamtaufenthaltsdauer der Versuchsperson auf der Seite in Sekunden dar. Die Zeit, die für den Aufbau der Seite am Bildschirm benötigt wird (zwischen einer und drei Sekunden), wird nicht mitefassen. Versuchsperson 1 ruft beispielsweise als erstes die Seite *Herstellung von Seife - Teil 1* auf (1), greift von hier auf die Nebenseite *Struktur von Seifenanionen* zu (2), navigiert zurück (3), wieder zur Nebenseite (4), erneut zurück (5), zur nächsten Nebenseite (6) etc. Insgesamt navigiert Versuchsperson 1 streng linear, ruft nur einmal eine Begriffsdefinitionsseite auf (11) und verweilt auf den einzelnen Seiten sehr lange. Die Seite *Herstellung von Seife - Teil 2* betrachtet sie alleine über zehn Minuten. Der lange Aufenthalt auf den einzelnen Seiten bedingt dann auch, dass es der Versuchsperson nicht gelingt alle Hauptseiten der Lernumgebung aufzusuchen. Versuchsperson 4 arbeitet ebenfalls mit der linearen Lernumgebung und der Navigationsverlauf ist auch linear, wobei viermal das Glossar aufgerufen wird um auf eine Begriffsdefinitionsseite zuzugreifen. Die Verweilzeit pro Seite ist deutlich geringer als bei Versuchsperson 3 und daher gelingt es auch bis auf das Kapitel „*Nachteile beim Waschen mit Seife*“ das gesamte Lernangebot zu erfassen. Beachtet werden muss hierbei, dass für den Posttest in den ausgelassenen Themenbereichen kein Lernzuwachs erwartet werden kann, dafür können andere Inhalte um so intensiver erarbeitet werden. Während Versuchsperson 3 in siebenundvierzig Navigationsschritten dreiundzwanzig unterschiedliche Seiten aufruft und damit von allen Versuchspersonen die wenigsten Seiten aufruft, gelangt Versuchsperson 4 in siebenundsechzig Navigationsschritten bereits auf achtunddreißig unterschiedliche Seiten. Versuchsperson 5 verfolgt dagegen einen anderen Navigationsstil: mit einhundertvierzehn Navigationsschritten ruft sie zweiundfünfzig unterschiedliche Seiten auf und erreicht damit unter allen acht Versuchspersonen das Maximum. Dabei verweilt sie auf einigen Seiten weniger als zehn Sekunden. Zumindest für diese Fälle kann die von POHL (1998) als „*Scanning*“ bezeichnete Navigationsform angenommen werden, wobei größere Inhaltsbereiche überflogen werden ohne ins Detail zu gehen. Für die Versuchspersonen 3 und 4 trifft dagegen die von TERGAN (1995) aufgeführte Navigationsform, das „*Folgen von Pfaden*“ zu, hierbei navigiert der Benutzer entlang einer vorgegebenen, linearen Abfolge von Knoten.

	Vpn 3 - lineare LU		Vpn 4 - lineare LU		Vpn 5 - nicht-lineare LU	
	Navigationsreihenfolge	Zeit (sec)	Navigationsreihenfolge	Zeit (sec)	Navigationsreihenfolge	Zeit (sec)
Herstellung Seife - (I)	1,3,5,7,13,15,17,19	176	1,3	62	1,3,5,7,9,11,98	131
Die wichtigsten Seifen [NS]	6, 14, 18	203				
Struktur von Seifenanionen [NS]	2, 4	36	2	71		
Herstellung Seife - (II)	8,10,12,13,16,20	617	4,6,8	125	12,14,16,99,114	109
Reaktionsgl. Neutralöl-Verseifung [NS]	9	186	5	92		
Herstellung Seife - (III)	21, 23, 25, 27	122	9,11,13,15	53	17,100,102,104,106,108,110	129
Reaktionsgl. Carbonatverfahren [NS]	22	94	10	49	103	25
Reaktionsgl. Laugenverfahren [NS]	24	50	12	26	105	14
Industrielle Seifenherstellung [NS]	26	81	14	60	107	62
Herstellung Seife - (IV)	28, 30	235	16,18	72	18,20,22,24,95	100
Industrielle Seifenherstellung [NS]	29	43	17	36	23	46
Wirkungsweise - (I)	31, 33	72	19,21, 69	83	37,39,41,43,45,47,49	104
Phasengrenzflächen [NS]	32	35	20	38	37	28
Wirkungsweise - (II)	34,36,38	82	22,24,26	101	50,52,54,56	93
Oberflächenspannung Wassers (I) [NS]	35	38	23	63	53	27
Bildung der Tropfenform [NS]	37	35	25	22	55	23
Wirkungsweise - (III)	39, 41	157	27,29	71	57,59,61	58
Oberflächenspannung Wasser (II) [NS]	40	26	28	18	60	21
Wirkungsweise - (IV)	42, 44, 46	113	30,32, 34,36	90	62,64,66,68,70	52
Ausbildung monomolek. Seifensch. [NS]	43	23	31	12	63	34
Seifenmoleküle an Wasseroberfl. [NS]			33	34	69	73
Erniedrigung Oberflächenspannung [NS]	45	26	35	6		
Wirkungsweise - (V)	47	164	37,39, 41	121	71,73,75,77,97	142
Micellbildung [NS]			38	29	74	31
Anordnung von Seifenmolekülen... [NS]			40	25	76	16
Wirkungsweise - (VI)			42,44,46,68	80	78,80,82,96,115	92
Bildung von Seifenschaum [NS]					79	44
Wirkungsweise - (VII)			47,49,51,53,55,67	86	83,85,87,89	36
Erniedrigung Grenzflächenspann. [NS]			48	43	84	4
Benetzung Textilien [NS]			50	42	86	40
Anlagerung Seifenmoleküle Oberfl.[NS]			52,	78		
Wirkungsweise - (VIII)			56,66	68	90	39
Wirkungsweise - (IX)			57,59, 63,65	214	91	3
Versuch zur Benetzung [NS]			58	19		
Wirkungsweise - (X)			60,62, 64	180	92,94	12
Phasen der Schmutzablösung [NS]			61	69	93	3
Nachteile beim Waschen mit Seife (I)					25,27,29,36,111, 113	114
Wollfaserbehandlung mit Seife [NS]					26	32
Nachteile beim Waschen mit Seife (II)					28,30,32,35,112	103
Auswirkung von hartem Wasser...[NS]					33/34	31
<u>Begriffsdefinitionsseiten</u>						
Adsorption			45	20	88	9
Aussalzen					13	12
Dispersion / Disperses System			43	29	81	47
Emulgator	11	34	7	65	15	83
Ester					10	35
Fette					4	28
Fettsäuren					2	24
Glycerin					101	15
Härtebildner					31	80
Hydrolyse					8	13
Hydrophil / Lipophil			54	15	42	3
Hydrophob / hydrophil					44, 67	7
Natriumlaurat (Die wichtigsten Seifen)					19	36
Öle					6	16
Phase					48	20
Seifenanion / Seifenmoleküle					40, 65,72	31
Tensid					21, 46	38
Wasserhärte					31	25
Wasserstoffbrückenbindungen					51, 58	128

Tab. 7.6: Navigationsverlauf bei drei Versuchspersonen (grau schattiert: Hauptseite; NS: Nebenseite).

7.5.6 Interview

Das retrospektive Interview wird durchgeführt um die Meinung der Experten zur Lernumgebung zu erfassen. Bei den Äußerungen der fünf Experten handelt es sich zumeist um Anregungen zu kleineren sprachlichen oder graphischen Veränderungen, daher werden die Ergebnisse der Expertenanalyse nicht einzeln dargestellt. Diese Veränderungen fließen in die Beschreibung der Lernumgebung der Hauptstudie mit ein. Zwei größere Umgestaltungen, die sich aufgrund der Untersuchungsergebnisse mit den Versuchspersonen und den Interviews mit den Experten ergeben, sind:

- die Reduktion der Seitenanzahl und der Themenschwerpunkte, damit der Inhalt der gesamten Lernumgebung in einem angemessenen Zeitrahmen erfasst werden kann;
- eine wesentlich stärkere Vernetzung der Hypertextseiten der nicht-linearen Lernumgebung und eine erhebliche Einschränkung der Möglichkeit zum linearen Navigieren. Eine lineare Navigation soll nur dort beibehalten werden, wo sie inhaltlich unumgänglich ist.

7.5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse der Pilotstudie

Die Ergebnisse der Pilotstudie lassen sich in drei Bereiche gliedern:

- a) Ergebnisse, die den Umgang mit der Lernumgebungen und daraus resultierende Lernerfolge betreffen;
- b) Ergebnisse, die die Anwendbarkeit der verschiedenen Methoden betreffen;
- c) Ergebnisse, die Veränderungen in der Lernumgebung, z.B. das Layout, den Verknüpfungsgrad und den Inhaltsumfang betreffen.

Die Lernerfolge fallen von Versuchsperson zu Versuchsperson recht unterschiedlich aus, während Leistungstest und Own Word Maps bei einigen Versuchspersonen größere Wissenszuwächse diagnostizieren, bleiben andere Versuchspersonen auf dem Niveau der Prätests stehen. Ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Vorwissen der Versuchspersonen und dem aus der Lernumgebungsanwendung resultierenden Lernerfolg ist nicht zu erkennen. Die Wissenszuwächse im Leistungstest fallen für die Aufgaben, die die Begriffsdefinitionsseiten betreffen, niedrig aus, was mit der geringen Frequentierung der Begriffsdefinitionsseiten in der Lernumgebung begründet werden kann. Die Own Word Maps zeigen, dass die meisten Versuchspersonen im Posttest-Map fachspezifischer argumentieren und Inhalte besser miteinander verknüpfen können. Im Vergleich der beiden Lernumgebungen zeigt sich, dass die Versuchspersonen, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, sowohl in den Absolutwerten als auch in den Differenzen zu den Ergebnissen des Prätests im Posttest tendenziell besser abschneiden als die Versuchspersonen, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten.

Die Analyse der digitalen Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs und der Methode des lauten Denkens zeigen, dass die Versuchspersonen, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten die zusätzlichen Verknüpfungen zu anderen Hauptseiten (übergreifenden Links) nur selten nutzen. Ein Vergleich aller Versuchspersonen zeigt, dass das Navigationsverhalten unabhängig von der Lernumgebung stark differiert, was die Anzahl der insgesamt aufgerufenen Seiten und die Aufenthaltsdauer auf den einzelnen Seiten betrifft. Die meistgenannten Motive für die Navigation zu bestimmten Seiten waren Interesse und Verständnisschwierigkeiten, die sich natürlich gegenseitig nicht ausschließen.

Die Gegenüberstellung von Leistungstest und Own Word Map inklusive Verknüpfungstest zeigt hohe Übereinstimmungen in den Ergebnissen. In der Hauptstudie steht für die Lernumgebungsanwendung und den Posttest nur insgesamt 90 Minuten zur Verfügung. Um die Bearbeitungszeiten zu minimieren werden in der Hauptstudie zwei Gruppen gebildet, die entweder Own Word Maps erstellen oder den Leistungstest absolvieren. Der Integrationstest hat sich im Rahmen der Pilotstudie als zeitintensiv bei geringer Produktivität herausgestellt. Ein Vergleich der Versuchspersonen untereinander ergibt, dass zwischen den Ergebnissen des Own Word Maps inklusive des Verknüpfungstests auf der einen Seite und dem Gesamtergebnis aus Own Word Map, Integrationstest und Verknüpfungstest auf der anderen Seite, keine Unterschiede bestehen. Versuchspersonen, die im Ranking nach dem ersten Verknüpfungstest vorne liegen, bleiben auch in der Wertung nach dem Integrationstest vorne. Deshalb wird ebenfalls um die Bearbeitungszeit zu reduzieren in der Hauptstudie auf den Integrationstest verzichtet. Die Methode des lauten Denkens, zur Analyse der Motive für das Navigationsverhalten, hat sich an sich als gut herausgestellt; allerdings fühlen sich die Versuchspersonen in ihrer Konzentration auf die Thematik *Seife* gestört. Um in der Hauptstudie den Lernerfolg durch diese Methodik nicht negativ zu beeinflussen, wird die Methode des Lauten Denkens nicht eingesetzt. Das retrospektive Interview wurde in der Pilotstudie als formatives Evaluationsinstrument eingesetzt um Anhaltspunkte für inhaltliche und designtechnische Veränderungen der Lernumgebung zu erhalten. Es hat sich als effektive Methode erwiesen, deren Ergebnisse in die überarbeiteten Lernumgebungen einfließen. Für die Hauptstudie wird das retrospektive Interview nicht mehr benötigt.

Als Ergebnisse der Pilotstudie, die das Design und den Inhalt der Lernumgebungen betreffen, sind hervorzuheben:

- Reduktion der Hypertextseiten auf einen Umfang, der es gewährleistet, dass die Inhalte der Lernumgebung in etwa 45 Minuten erarbeitet werden können;
- stärkere Verknüpfung der Hypertextseiten der nicht-linearen Lernumgebung um die Unterschiede zwischen den beiden Lernumgebungen im Verknüpfungsgrad und damit die potentiellen Navigationswege zu erhöhen.

8. Hauptstudie

8.1 Untersuchungsansatz und Untersuchungsdesign

In der Hauptstudie wird der Umgang von Schülerinnen und Schülern mit einer linearen und einer nicht-linearen Hypertext-Lernumgebung evaluiert. Die Lernumgebung wird im Chemieunterricht eingesetzt und behandelt das Thema „Wirkungsweise von Seife“. Es werden Unterschiede im Lernerfolg und im Navigationsverhalten in Abhängigkeit von der Art der Lernumgebung (linear oder nicht-linear) analysiert. Die Untersuchung wird mit achtunddreißig Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe (Jahrgangsstufe 11/2) durchgeführt. Beteiligt sind zwei elfte Klassen eines Gelsenkirchener Gymnasiums (24 Schülerinnen und Schüler) und eine elfte Klasse eines Oberhausener Gymnasiums (14 Schülerinnen und Schüler). Die Hauptstudie gliedert sich in Prätest, Lernumgebungsanwendung und Posttest. In dem Prätest werden die Computerkenntnisse und das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler erhoben. Bei keiner der drei Klassen ist die Seifenthematik bis zum Zeitpunkt der Erhebung Gegenstand des Oberstufenunterrichts gewesen. In der Jahrgangsstufe 11/1 erfolgte eine Einführung in die Organische Chemie. Insofern gliedert sich die Seifenthematik in den Unterrichtsverlauf ein. Themenspezifische Vorkenntnisse resultieren vermutlich aus dem Unterricht der Sekundarstufe I und sollten eher gering sein; eine Ausnahme bilden einige Schülerinnen und Schüler des Gelsenkirchener Gymnasiums, die in der Sekundarstufe I ein Wahlbereich Biochemie hatten. Einige Wochen nach dem Prätest erfolgt die Lernumgebungsanwendung. Die Schülerinnen und Schüler werden in die Lernumgebung und die Browserfunktionen eingewiesen und arbeiten in Einzelarbeit mit einer der Hypertext-Lernumgebungen. Die Aufgabenstellung während des Arbeitens mit der Lernumgebung lautet: »Bereiten Sie sich mit Hilfe der Lernumgebung auf ein Referat zu dem Thema *Wirkungsweise von Seife im Waschprozess* vor«. In einem sich direkt anknüpfenden Posttest werden die Lernerfolge erhoben. Für die Phase der Lernumgebungsanwendung stehen etwa 40 Minuten zur Verfügung, für Prä- und Posttest jeweils etwa 45 Minuten. An den beiden Gymnasien werden unterschiedliche Testmethoden eingesetzt (Abbildung 8.1 und 8.2). In der Pilotstudie (Kapitel 7) haben sich der Leistungstest und das Own Word Mapping mit anschließendem Verknüpfungstest als vielversprechende Testmethoden erwiesen. Aus diesem Grund kommen in der Hauptstudie beide Methoden zum Einsatz. Sie sollen Wissenszuwächse diagnostizieren, die aus dem Umgang der Versuchspersonen mit den Lernumgebungen resultieren. Um die Zeit für die Durchführung der Prä- und Posttests zu minimieren, werden die Methoden nur an einer der beiden Schulen durchgeführt. In den beiden elften Klassen des Gelsenkirchener Gymnasiums wird die Testmethode des Own Word Mappings mit anschließendem Verknüpfungstest eingesetzt und in der elften Klasse des Oberhausener Gymnasiums der Leistungstest. Die Testmethode des Own Word Mappings erfordert etwas mehr Zeit. Aus diesem Grund wird der Umfang des Fragebogens, der am Gelsenkirchener Gymnasium zum Einsatz kommt, auf die Erhebung von Computerkenntnissen reduziert. Während die Gelsenkirchener Schülerinnen und Schüler im Posttest nur das Own Word Mapping und den Verknüpfungstest durchführen, erhalten die Schülerinnen und Schüler in Oberhausen vor dem Leistungstest einen Fragebogen zur Erhebung von Einstellungen gegenüber Lernsoftware und zur Erhebung der Beurteilung der eingesetzten Lernumge-

bung. An dem Gelsenkirchener Gymnasium erfolgen die Lernumgebungsanwendung und der Posttest mit jeweils zwei Schülerinnen und Schülern an zwei Notebooks. Hierbei wird der Navigationsverlauf mit einer Camcordersoftware aufgezeichnet und auf der Festplatte digital abgespeichert. An dem Oberhausener Gymnasium werden die Lernumgebungsanwendung und der Posttest von allen Schülerinnen und Schülern gleichzeitig in einem Computerraum durchgeführt. Auch hier steht jeder Schülerin / jedem Schüler ein Computer zur Verfügung, der Navigationsverlauf wird nicht aufgezeichnet.

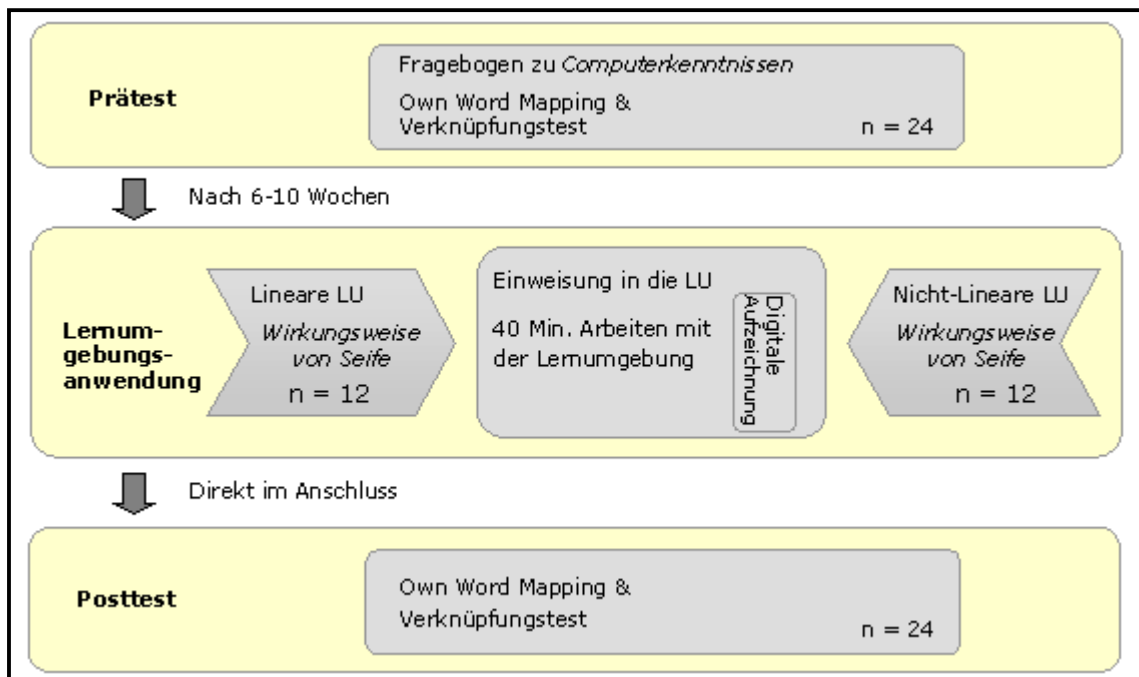


Abb. 8.1: Untersuchungsdesign A (Gymnasium Gelsenkirchen).

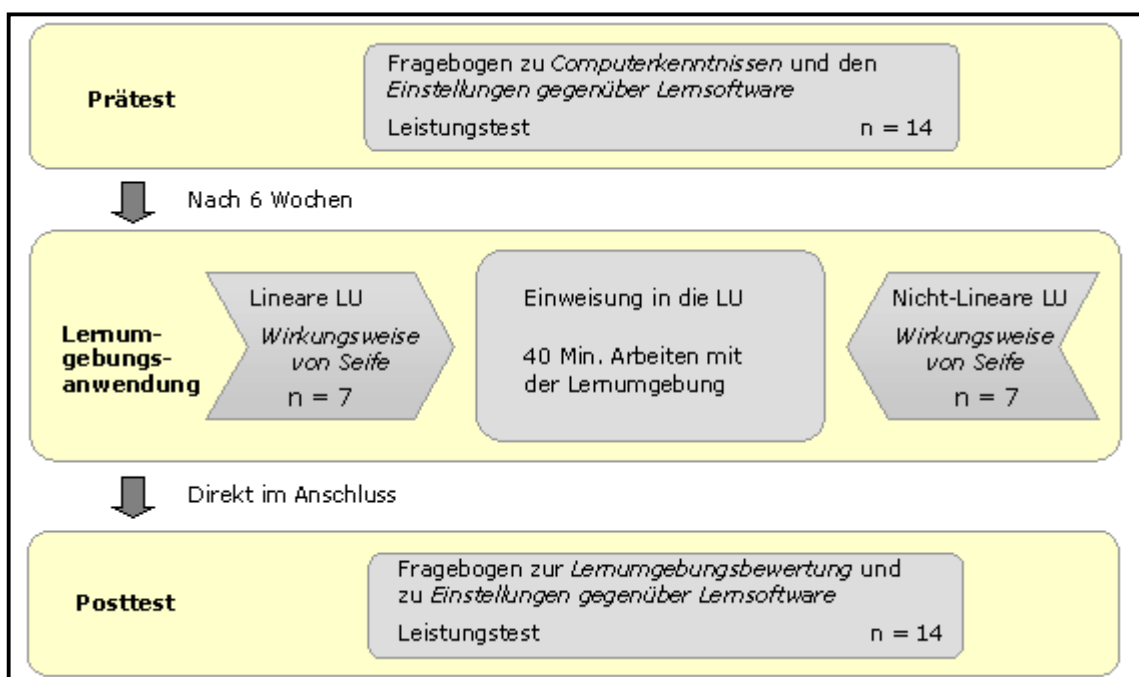


Abb. 8.2: Untersuchungsdesign B (Gymnasium Oberhausen).

8.2 Test- und Untersuchungsmethoden

Im Rahmen der Hauptstudie werden die folgenden Test- und Untersuchungsmethoden eingesetzt:

- Fragebogen zu Computervorkenntnissen und Einstellungen gegenüber Lernsoftware;
- Fragebogen zur Beurteilung der Hypertext-Lernumgebung;
- Own-Word-Mapping & Verknüpfungstest;
- Leistungstest;
- PC-Camcordersoftware.

8.2.1 Fragebogen zu Computerkenntnissen

Der Fragebogen ist identisch mit dem Fragebogen der Pilotstudie (Kapitel 7.3.1; S.39f.). Er wird in dieser Form den Schülerinnen und Schülern des Oberhausener Gymnasiums als Prätest vorgelegt. Den Schülerinnen und Schülern des Gelsenkirchener Gymnasiums werden nur die Fragen 1 und 2 des Fragebogens im Prätest gestellt (Häufigkeit und Art der Computernutzung). Wie in der Pilotstudie dient der Fragebogen dazu, einen groben Überblick über die Computerkenntnisse der Schülerinnen und Schüler, die Nutzungshäufigkeit des Computers und Einstellungen gegenüber Lernsoftware zu erhalten.

8.2.2 Fragebogen zu Computerkenntnissen und Einstellungen

Dieser Fragebogen ist Bestandteil des Posttests in Oberhausen. Die Fragen 3 und 4 zur Einstellung gegenüber Lernsoftware sind identisch mit denen des Prätests. In den ersten beiden Fragen sollen die Schülerinnen und Schüler die eingesetzten Lernumgebung beurteilen. (Abbildung 8.3).

<p>1. Welche Punkte sind Ihnen an der Lernumgebung zum Thema „Wirkungsweise von Seife“ positiv aufgefallen?</p> <p>a) b) c) d)</p> <p>2. Welche Punkte sind Ihnen an der Lernumgebung negativ aufgefallen?</p> <p>a) b) c) d)</p> <p>3. Sie wollen sich auf eine Klausur vorbereiten und Ihnen steht ein Lehrbuch und ein multimediales Lehrbuch als Software zur Verfügung. Womit würden Sie sich auf die Klausur vorbereiten?</p> <p>a) Lehrbuch b) multimediales Lehrbuch</p> <p>Geben Sie kurz die Vorzüge der von Ihnen bevorzugten Lehrbuchform an:</p> <p>4. Einstellung gegenüber Lernsoftware (zutreffendes bitte ankreuzen)</p> <p><input type="radio"/> Ich benutze gern Lernsoftware</p> <p><input type="radio"/> Ich benutze Lernsoftware ungern</p> <p><input type="radio"/> Ich benutze keine Lernsoftware</p> <p>Geben Sie eine kurze Begründung für ihre Einstellung:</p>

Abb. 8.3: Fragebogen zur Lernumgebungsbewertung und zur Einstellung gegenüber dem Einsatz von Lernsoftware.

8.2.3 Own Word Mapping und Verknüpfungstest

Die Schülerinnen und Schüler des Gelsenkirchener Gymnasiums erhalten im Prä- und im Posttest den Auftrag ein Own Word Map zu erstellen und zu den von ihnen selbstständig generierten und verbundenen Begriffen verknüpfende Sätze zu bilden. Die Vorteile und Möglichkeiten dieser Methode sind in Kapitel 7.3.2 (S. 40ff.) beschrieben. Die Ergebnisse der Prätest-Maps dienen dazu, dass Vorwissen der Schülerinnen und Schüler zur Thematik *Wirkungsweise von Seifen* zu ermitteln und die Schülerinnen und Schüler in Bezug auf ihr themenspezifisches Vorwissen gleichmäßig auf die beiden Untersuchungsgruppen (Anwendung der linearen oder der nicht-linearen Lernumgebung) zu verteilen. Der Vergleich von Prä- und Posttest-Maps ermöglicht den Lernzuwachs zu erfassen. Die Einweisung in die Technik des Own Word Mappings erfolgt schriftlich. Die Schülerinnen und Schüler erhalten ein DIN A4 Blatt, auf dem zwei Bilder folgenden Inhalts abgedruckt sind (siehe Abbildung 7.13):

- modellhafte Darstellung des Prozesses der Schmutzablösung;
- Abbildung eines Versuchs zur Erniedrigung der Oberflächenspannung.

Demzufolge enthält auch das Beispielmap der schriftlichen Einweisung nur zwei der in Abbildung 7.12 aufgeführten Bilder.

8.2.4 Leistungstest

Der Leistungstest ist Bestandteil des Prä- und Posttests, den die Schülerinnen und Schüler des Oberhausener Gymnasiums erhalten. Ebenso wie das Mapping-Verfahren dient er im Prätest dazu, dass themenspezifische Vorwissen der Schülerinnen und Schüler zu erfassen und die Schülerinnen und Schüler anhand der Ergebnisse gleichmäßig auf die beiden Untersuchungsgruppen zu verteilen. Der Vergleich von Prä- und Posttest erlaubt auch mit dieser Methode den Lernzuwachs zu ermitteln. Der Leistungstest beinhaltet fünf Aufgaben (Abbildung 8.4). In der ersten Aufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler sechs Begriffe erläutern, von denen zumindest die ersten vier nicht unmittelbar der Seifenthematik zuzuordnen sind. Alle sechs Begriffe sollten den Versuchspersonen aus ihrer Schullaufbahn zumindest bekannt vorkommen. Die Begriffe werden in Chemie-Schulbüchern der Sekundarstufe I (Gymnasium) erklärt und im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts der Sekundarstufe I behandelt. Beide Lernumgebungen zur *Wirkungsweise von Seifen* erläutern fünf der sechs Begriffe auf entsprechenden Begriffsdefinitionsseiten; der Thematik Oberflächenspannung sind zwei Hauptseiten in der Lernumgebung gewidmet. Die Informationen zur Bearbeitung der zweiten Aufgabe befinden sich in der Lernumgebung auf einer Begriffsdefinitionsseite zum Begriffspaar „Seife/Seifenanion“. Die Aufgaben 3 bis 5 sind von der Aufgabengestaltung komplexer als die ersten zwei Aufgaben. Die Lernumgebungen enthalten alle zur Lösung der Aufgaben notwendigen Informationen. Die Aufgaben sind den Schülerinnen und Schülern während des Umgangs mit den Lernumgebungen nicht präsent, sondern Bestandteil des Prä- und Posttests. Einzige Ausnahme bildet sie Aufgabe 4 »Erläutern Sie die Wirkungsweise von Seife im Waschpro-

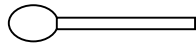
zess«, die Bestandteil des Arbeitsauftrags ist, während die Schülerinnen und Schüler mit der Lernumgebung arbeiten.


Bitte lassen Sie sich zur Beantwortung der folgenden Fragen Zeit und antworten Sie möglichst präzise.

1. Erläutern Sie die folgenden Begriffe:

- i) Hydrophil / Hydrophob
- j) Fettsäuren
- k) Wasserstoffbrückenbindungen
- l) Ester
- m) Seifenanion
- n) Oberflächenspannung

2. Die Abbildung stellt modellhaft ein Seifenanion dar. Beschriften Sie das Modell mit folgenden Begriffen: hydrophil / hydrophob / Carboxylgruppe / Kohlenwasserstoffrest



3. Zeichnen Sie modellhaft  , wie sich Seifenmoleküle um ein Öltröpfchen anordnen und erläutern Sie diesen Vorgang.

4. Erläutern Sie die Wirkungsweise von Seife im Waschprozess.

5. Ein Wasserläufer kann sich mühelos auf der Wasseroberfläche fortbewegen.

- a) Welche Eigenschaft des Wassers nützt der Wasserläufer aus ?
- b) Wodurch wird diese Eigenschaft verursacht ?
- c) Was geschieht, wenn man dem Wasser eine Seifenlösung zusetzt?

Abb. 8.4: Leistungstest der Hauptstudie.

8.2.5 Digitale Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs

Während die Schülerinnen und Schüler des Gelsenkirchener Gymnasiums mit der linearen oder der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, wird der Navigationsverlauf der Schülerinnen und Schüler und die Aufenthaltsdauer auf einzelnen Hypertextseiten mit Hilfe einer PC-Camcordersoftware aufgezeichnet und als digitaler Echtzeit-Videofile abgespeichert. Anhand des Videofiles kann ausgewertet werden, welche Seiten der Hypertext-Lernumgebung aufgerufen bzw. nicht aufgerufen werden, welche Seiten besonders lange betrachtet werden, ob sich der Navigationsverlauf zwischen den einzelnen Schülerinnen und Schülern unterscheidet und ob sich die Navigationsverläufe eher linear oder eher vernetzt gestalten.

8.3 Beschreibung der linearen und nicht-linearen Lernumgebung zum Thema „Wirkungsweise von Seifen“

Die zwei in der Hauptuntersuchung eingesetzten linearen und nicht-linearen Lernumgebungen sind inhaltlich dem Kapitel „Wirkungsweise von Seife“, der in der Pilotstudie eingesetzten Lernumgebung „Seife“ (Kapitel 7.1), sehr ähnlich. Auch hier wird zwischen Hauptseiten, graphisch orientierten Nebenseiten und Begriffsdefinitionsseiten unterschieden. In den folgenden Abschnitten werden die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede der linearen und der nicht-linearen Lernumgebung dargestellt. Darüber hinaus werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu den in der Pilotstudie eingesetzten Lernumgebungen akzentuiert.

8.3.1 Gemeinsamkeiten der Lernumgebungen der Hauptstudie

Inhaltlich stimmen die lineare und die nicht-lineare Lernumgebung überein. Neben der Startseite (Abbildung 8.5) sind jeweils 15 Hauptseiten, 14 Nebenseiten und 16 Begriffsdefinitionsseiten vorhanden. 22 Graphiken sind in die Haupt- und Nebenseiten integriert; die Anzahl der Wörter auf Haupt- und Nebenseiten beträgt zusammen 2219, die auf den Begriffsdefinitionsseiten 1359.



Abb. 8.5: Startseite der Lernumgebung.

Die Hauptseiten stellen den „Rumpf“ der Lernumgebung dar, sie gliedern sich in folgende Themenbereiche:

- Grenzfläche / Grenzflächenspannung;
- Oberflächenspannung (2 Seiten);
- Eigenschaften von Seifenlösung;
- Erniedrigung der Oberflächenspannung;
- Micellbildung (2 Seiten)
- Schaumbildung;
- Erniedrigung der Grenzflächenspannung (2 Seiten);
- Die waschaktive Wirkung von Seife;
- Benetzung;
- Verminderung der Schmutzhaftung;
- Ablösen des Schmutzes von der Faser;
- Halten des Schmutzes in der Lösung.

Gegenüber der Lernumgebung der Pilotstudie wurde die Inhaltsmenge pro Seite reduziert, so dass bei den meisten Seiten auf einen Blick der Inhaltsumfang erfasst werden kann. Daraus resultiert, dass die Schülerinnen und Schüler nur in wenigen Fällen mit Hilfe der Bildlaufleiste „scrollen“ müssen. Da in der Lernumgebung der Hauptstudie nur ein Kapitel vorhanden ist, gegenüber drei Kapiteln der Lernumgebung der Pilotstudie, entfallen die Übergangsseiten zu den einzelnen Kapiteln. Ein Sachregister ist nicht implementiert. Dieses wurde zum einen in der Pilotstudie nicht genutzt und ist zum anderen zur Bearbeitung der Aufgabenstellung nicht notwendig. Ansonsten sind die Überlegungen zum Design und zur Konzeption der Lernumgebung, die in Kapitel 7.1.3 (S. 38f.) für die Lernumgebungen der Pilotstudie aufgeführt wurden, auch für die Lernumgebungen der Hauptstudie relevant.

8.3.2 Unterschiede der Lernumgebungen der Hauptstudie

In der linearen Lernumgebung sind die Seiten so miteinander verknüpft, dass ein relativ linearer Navigationsverlauf vorgegeben wird. Die Schülerinnen und Schüler beginnen nach der Startseite mit der Hauptseite (Seite 1), die inhaltlich den Themenbereich *Grenzfläche / Grenzflächenspannung* behandelt. Es schließt sich eine Hauptseite zur Thematik *Oberflächenspannung* an. Über Vorwärts- und Rückwärts-Button können die Schülerinnen und Schüler von einer Hauptseite zur nächsten navigieren. Innerhalb der Hauptseiten haben sie die Möglichkeit, auf die graphisch orientierten Nebenseiten zuzugreifen. Von den Nebenseiten aus können sie zurück zu der Hauptseite gelangen, von der aus sie auf die Nebenseite zugegriffen haben, oder sie können über einen Button ins Glossar navigieren. Das Glossar bietet einen Überblick über alle in die Lernumgebung integrierten Begriffsdefinitionsseiten und erlaubt das Aufrufen der einzelnen Begriffsdefinitionsseiten (Abbildung 8.6). In jede Hauptseite und jede Nebenseite ist ein Button integriert, der zum Glossar führt. Über die Zurück-Funktion des Browsers gelangen die Schülerinnen und Schüler von einer Begriffsdefinitionsseite zu der Haupt- oder Nebenseite zurück, von der aus sie das Glossar aufgerufen haben.

A	Glossar	Z
Adhäsionskräfte	Lipophil	
	Lipophob	
Dipolmolekül		
Dispersion	Phasen	
Dynamisches Gleichgewicht	Polarität	
Elektronegativität	Seifen / Seifenanion	
Ester	Tenside	
Fette		
Fettsäuren	Van-der-Waals-Kräfte	
Hydrophil	Wasserstoffbrückenbindungen	
Hydrophob		

Abb. 8.6: Glossar der linearen Lernumgebung.

Die Begriffe, die im Glossar erläutert werden, sind im Text der Haupt- und Nebenseiten durch Fettdruck hervorgehoben, so dass die Schülerinnen und

Schüler beim Lesen des Textes wissen, welche Begriffe im Glossar erläutert werden. Im Gegensatz zur linearen Lernumgebung der Pilotstudie ist im Textfenster der Hauptseiten die Seitenzahl und die Gesamtzahl der Hauptseiten angegeben. Dadurch erhalten die Schülerinnen und Schüler einen Eindruck vom Gesamtumfang der Lernumgebung (Abbildung 8.7). Die Navigationsmöglichkeiten sind relativ stark eingeschränkt. Dennoch können die Schülerinnen und Schüler entscheiden, wie viel Zeit sie auf den einzelnen Seiten verbringen und es bleibt ihnen überlassen, ob sie von Hauptseite 1 zu Hauptseite 2, bis hin zu Hauptseite 15 linear navigieren oder ob sie zwischenzeitlich über die Zurück- und die Vorwärts-Button schnell zwischen weiter auseinanderliegenden Seiten hin und her springen.

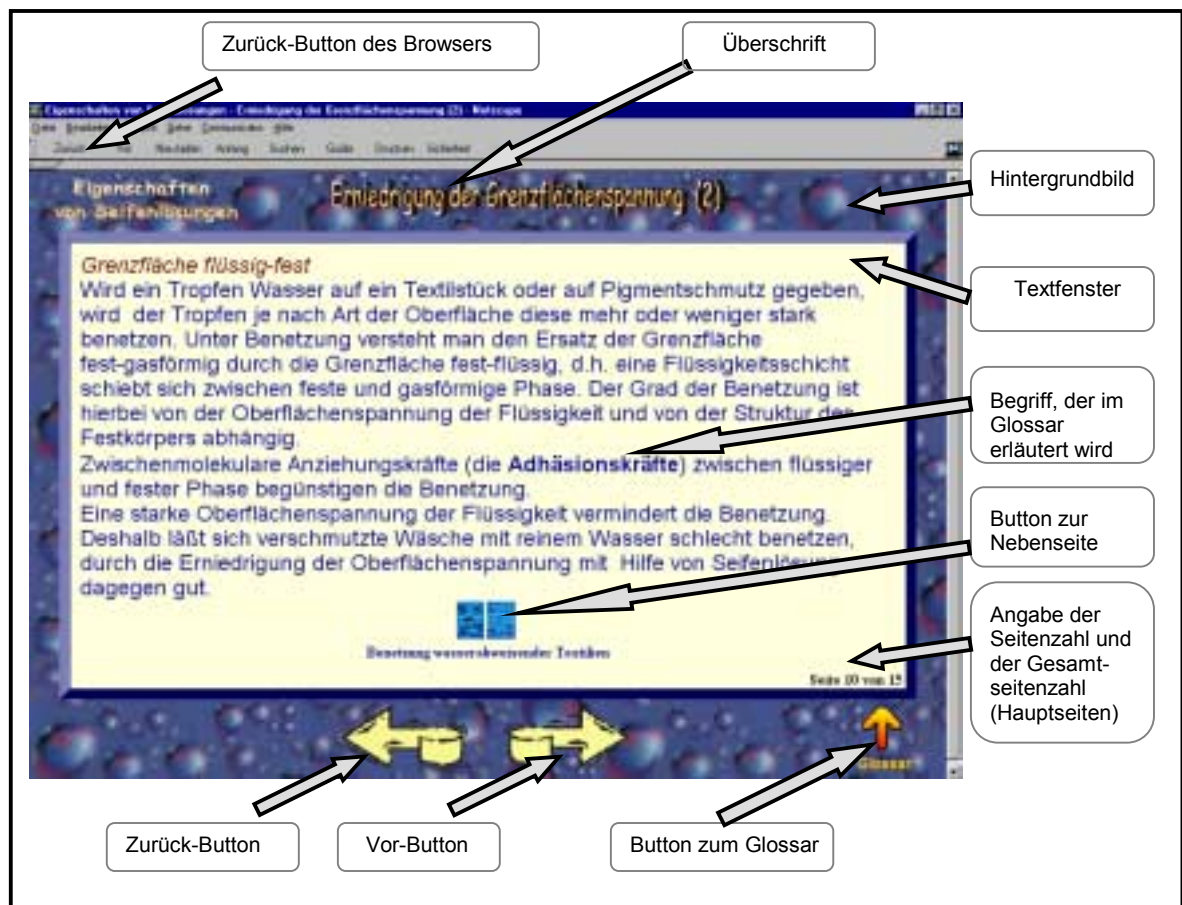


Abb. 8.7: Hauptseite der linearen Lernumgebung.

Abbildung 8.8 zeigt die Navigationsmöglichkeiten in der linearen Lernumgebung. In der Abbildung ist nicht berücksichtigt, dass die Schülerinnen und Schüler von jeder Seite aus auf das Glossar und damit auf die Begriffsdefinitionsseiten zugreifen können.

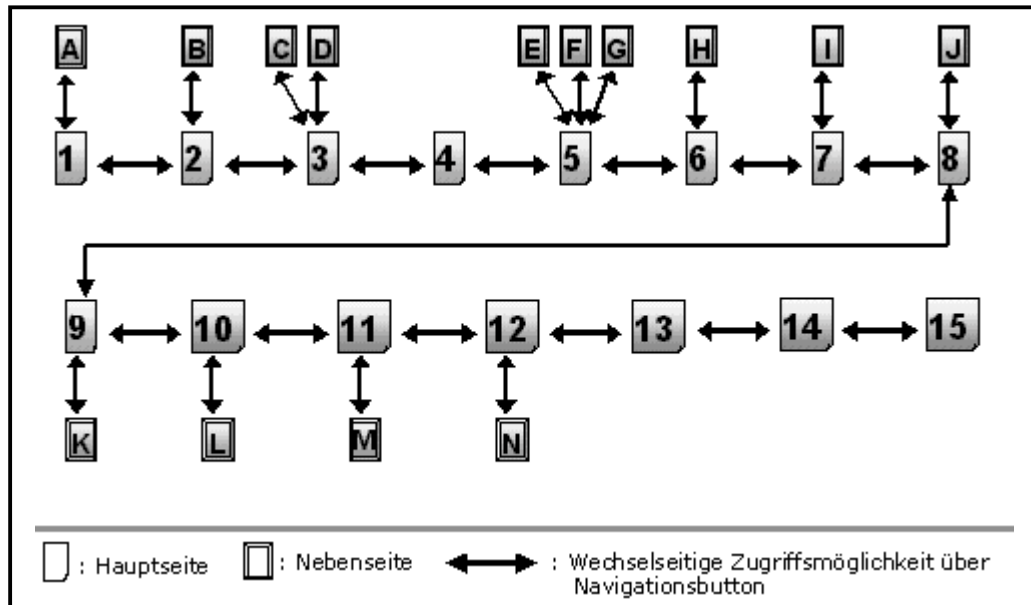


Abb. 8.8: Navigationsmöglichkeiten in der linearen Lernumgebung.

In der nicht-linearen Lernumgebung sind die Seiten so miteinander verknüpft, dass sich eine vernetzte Gesamtstruktur ergibt. Die Schülerinnen und Schüler müssen sich für oder gegen einen bestimmten Navigationsverlauf entscheiden. Die Hauptseiten sind nur dann über Vorwärts- und Rückwärts-Button miteinander verknüpft, wenn sie einem Themenbereich (z.B. *Erniedrigung der Grenzflächenspannung*) angehören. Ansonsten müssen die Schülerinnen und Schüler über eine Indexseite auf die einzelnen Themenbereich zugreifen (Abbildung 8.9), oder die „übergreifenden Links“ nutzen. Diese verknüpfen eine Hauptseite mit einer anderen über einen unidirektionalen Link, wenn es von der Thematik her sinnvoll ist. Abbildung 8.10 zeigt eine Hauptseite der nicht-linearen Lernumgebung zum Themenbereich *Erniedrigung der Oberflächenspannung*. Die Begriffe „Grenzfläche“, „Oberflächenspannung“ und „Erniedrigung der Grenzflächenspannung“ dienen hierbei als Informationsträger und als übergreifende Links, d.h. durch Aktivierung der Verknüpfung gelangen die Schülerinnen und Schüler auf eine andere Hauptseite, auf der näher auf den jeweiligen Themenbereich eingegangen wird. Die übergreifenden Links sind farblich und durch eine vom restlichen Text abweichende Schriftart gekennzeichnet. Beim Darübergleiten mit dem Mauszeiger öffnet sich ein kleines Textfenster, in dem angezeigt wird, zu welcher Hauptseite der Link führt. Sind die Schülerinnen und Schüler über einen solchen übergreifenden Link auf eine andere Hauptseite gelangt, so können sie, da es sich um einen unidirektionalen Link handelt, nur über die Zurück-Funktion des Browsers auf die vorher gesehene Hauptseite zugreifen. Zusätzlich unterscheidet sich die nicht-lineare Lernumgebung von der linearen Lernumgebung dadurch, dass der Zugriff auf die Begriffsdefinitionsseiten direkt von den Haupt- und Nebenseiten aus möglich ist. Enthält die Haupt- oder Nebenseite einen Begriff, der auf einer Begriffsdefinitionsseite näher erläutert wird, ist dieser direkt über einen Link mit der Begriffsdefinitionsseite verbunden. Ein solcher Link ist farblich und durch Unterstreichung gekennzeichnet. In der in Abbildung 8.10 abgebildeten Hauptseite ist der Begriff „*Adhäsionskräfte*“ direkt mit der Begriffsdefinitionsseite „*Adhäsionskräfte*“ verbunden. Über einen integrierten Zurück-Button gelangen

die Schülerinnen und Schüler auf die Ausgangsseite zurück, von der aus sie auf die Begriffsdefinitionsseite zugegriffen haben. Im Unterschied zu der nicht-linearen Lernumgebung der Pilotstudie treten in der nicht-linearen Lernumgebung der Hauptstudie wesentlich mehr „übergreifende Links“ auf, es ist eine Indexseite implementiert und die Möglichkeit zur linearen Navigation ist weiter eingeschränkt.



Abb. 8.9: Indexseite der linearen Lernumgebung, die den Zugriff auf zehn Themenbereiche erlaubt.

Das Bild zeigt einen Browserfenster mit dem Titel 'Eigenschaften von Seifenlösungen - Erniedrigung der Grenzflächenspannung (2) - Netpage'. Die Hauptseite enthält folgende Elemente:

- Titel: Eigenschaften von Seifenlösungen
- Untertitel: Erniedrigung der Grenzflächenspannung (2)
- Haupttext: Grenzfläche flüssig-fest. Wird ein Tropfen Wasser auf ein Textilstück oder auf Pigmentschmutz gegeben, wird der Tropfen je nach Art der Oberfläche diese mehr oder weniger stark benetzen. Unter Benetzung versteht man den Ersatz der Grenzfläche fest-gasförmig durch die Grenzfläche fest-flüssig, d.h. eine Flüssigkeitsschicht schiebt sich zwischen feste und gasförmige Phase. Der Grad der Benetzung ist hierbei von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit und von der Struktur des Festkörpers abhängig. Zwischenmolekulare Anziehungskräfte (die Adhäsionskräfte) zwischen flüssiger und fester Phase begünstigen die Benetzung. Eine starke Oberflächenspannung der Flüssigkeit vermindert die Benetzung. Deshalb lässt sich verschmutzte Wäsche mit reinem Wasser schlecht benetzen, durch die Erniedrigung der Oberflächenspannung mit Hilfe von Seifenlösung dagegen gut.
- Untertitel des Textes: Benetzungsvoraussetzungen der Textilien
- Seitenzahl: Seite 2 von 2

Die Abbildung zeigt vier Callouts, die auf spezifische UI-Elemente weisen:

- Button zur Übersichtsseite (gelber Pfeil nach oben)
- „übergreifende Links“ (weiße Pfeile, die von den Textblöcken zum zentralen Text führen)
- Link zur Begriffsdefinitionsseite „Adhäsionskräfte“ (weißer Pfeil, der auf den Text 'Adhäsionskräfte' zeigt)
- Zurück-Button und Seitenzahlangebe (gelber Pfeil nach links und 'Seite 2 von 2')

Abb. 8.10: Hauptseite in der nicht-linearen Lernumgebung.

Abbildung 8.11 zeigt die Möglichkeiten in der nicht-linearen Lernumgebung von der Indexseite auf einzelne Hauptseiten zuzugreifen; sie zeigt die Verknüpfungen von den Hauptseiten zu den Nebenseiten; und sie zeigt die wechselseitige Zugriffsmöglichkeit von Hauptseite zu Hauptseite über Navigationsbutton. In der Abbildung ist nicht berücksichtigt, dass die Schülerinnen und Schüler von jeder Seite aus auf die Indexseite zugreifen können. Die Abbildung verdeutlicht, dass von der Indexseite aus nicht alle Hauptseiten erreichbar sind. Die Hauptseiten drei und sieben müssen von den Seiten zwei bzw. sechs über Navigationsbutton aufgerufen werden. Die Hauptseiten eins und zwei können nur durch „übergreifende Links“ erreicht werden. Aus Übersichtsgründen sind in Abbildung 8.11 die „übergreifenden Links“ nicht eingezeichnet. Darüber hinaus fehlen die Verknüpfungen von Haupt- und Nebenseiten zu einzelnen Begriffsdefinitionsseiten und die Verknüpfungen der Begriffsdefinitionsseiten untereinander.

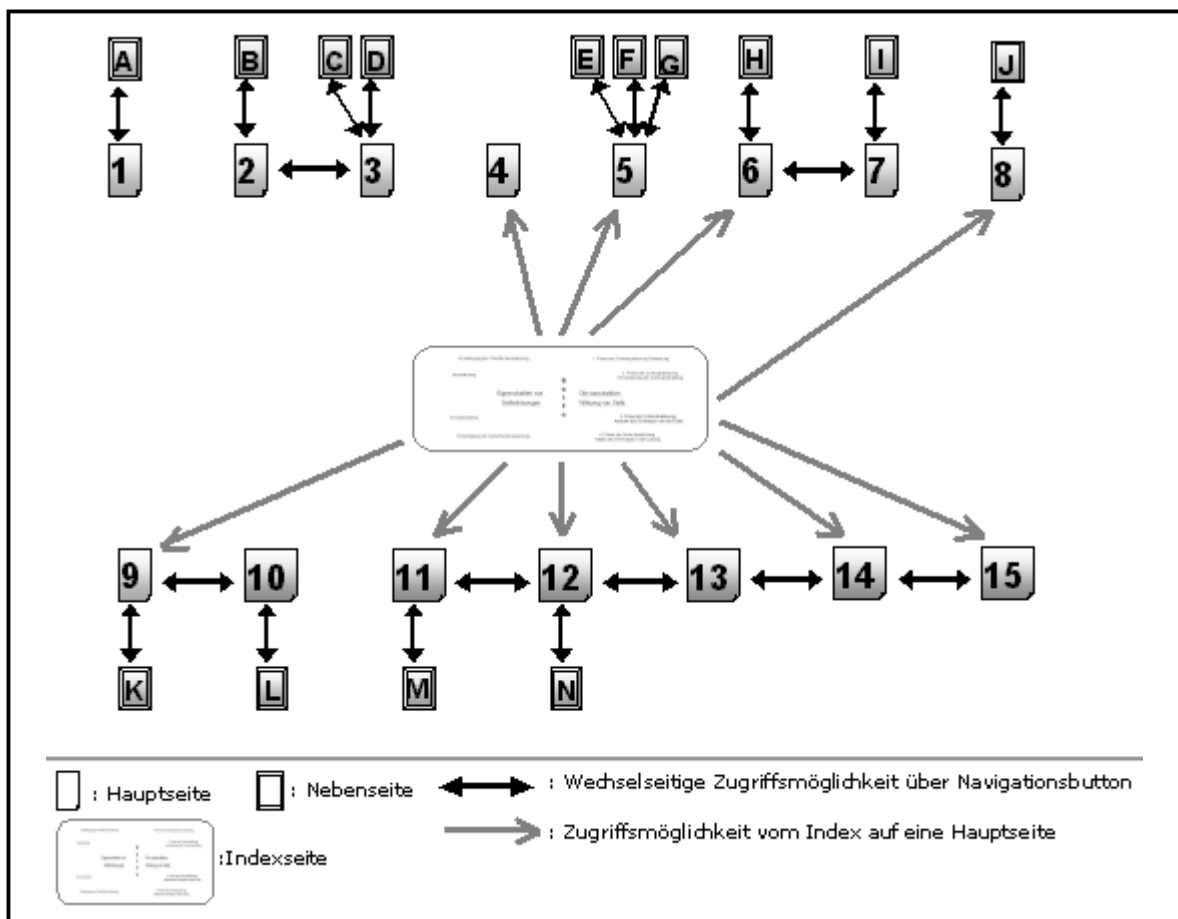


Abb. 8.11: Navigationsmöglichkeiten (Auswahl 1) in der nicht-linearen Lernumgebung.

Die „übergreifenden Links“ zwischen einzelnen Hauptseiten sind in Abbildung 8.12 aufgeführt. Es sind siebenundzwanzig „übergreifende Links“ in die nicht-lineare Lernumgebung implementiert. Zentrale Punkte bilden die Themenbereiche „Eigenschaften von Seifenlösung“ und „Die waschaktive Wirkung von Seife“. Die Themenbereiche „Grenzfläche/Grenzflächenspannung“ und „Oberflächenspannung“, die weder über die Indexseite, noch über Button der Navigationsleiste erreichbar sind, sind durch verschiedene „übergreifende Links“ von anderen Hauptseiten aus erreichbar, wenn dies thematisch angebracht ist.

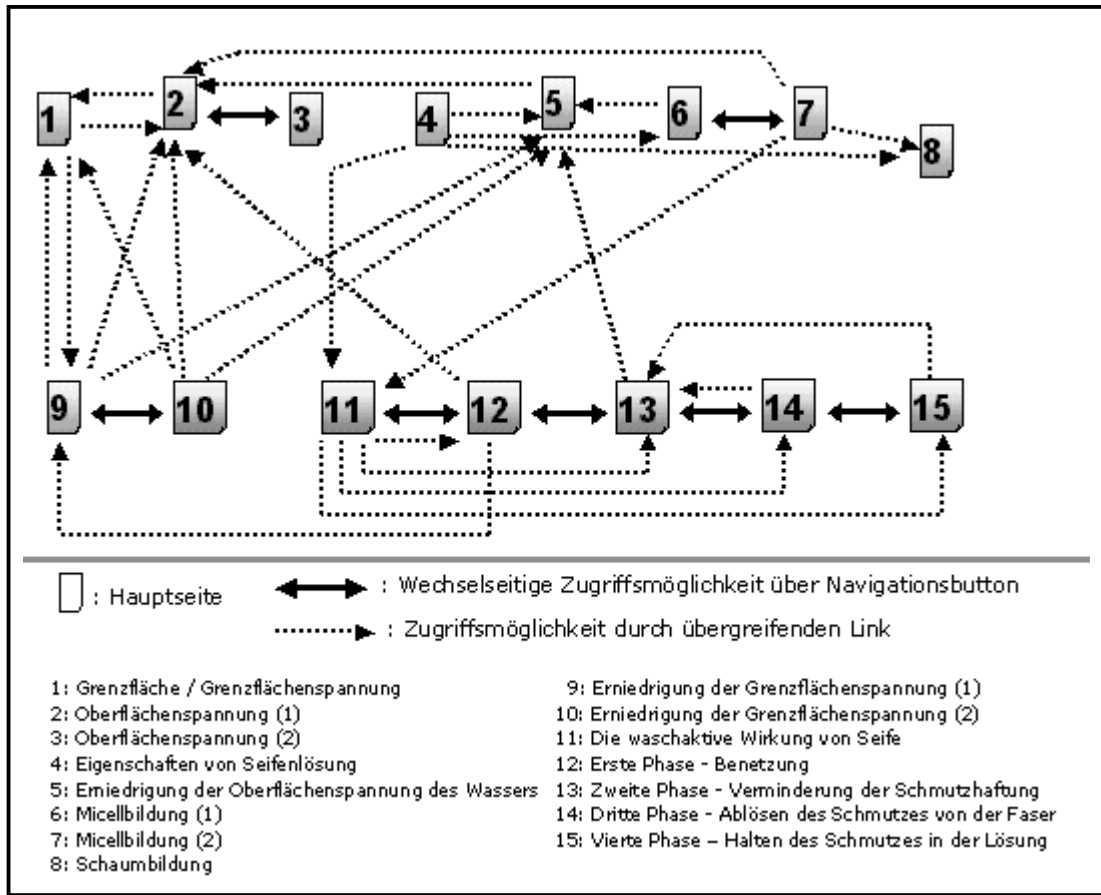


Abb. 8.12: Navigationsmöglichkeiten (Auswahl 2) in der nicht-linearen Lernumgebung.

Begriffsdefinitionsseite	Hauptseiten														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Adhäsionskräfte									✓						
Dipolmolekül															
Dispersion							✓								
Dynam. Gleichgewicht															
Elektronegativität															
Ester															
Fette															
Fettsäuren															
Hydrophil / Lipophob				✓	✓	✓					✓		✓		✓
Hydrophob / Lipophil				✓	✓	✓	✓								
Phasen	✓										✓				
Polarität			✓												
Seife / Seifenanion	✓			✓	✓		✓	✓			✓		✓		✓
Tenside	✓														
Van-der-Waals-Kräfte						✓									
Wasserstoffbrückenbdg.		✓	✓		✓										

Tab. 8.1: Zugriff von Hauptseiten auf Begriffsdefinitionsseiten.

Tabelle 8.1 zeigt die Verknüpfung von Hauptseiten der nicht-linearen Lernumgebung zu einzelnen Begriffsdefinitionsseiten. Nicht berücksichtigt sind die Verknüpfungen der Begriffsdefinitionsseiten untereinander, so ist z.B. die Begriffsdefinitionsseite „Seife/Seifenanion“ mit den Seiten „hydrophil / lipophob“, „hydrophob / lipophil“ und „Fettsäuren“ verknüpft. Die Seite „Fettsäuren“ wiederum mit den Begriffsdefinitionsseiten „Ester“ und „Fette“.

8.4 Auswertung und Ergebnisse

8.4.1 Fragebogen zu Computervorkenntnissen und Einstellungen

Der Prätest-Fragebogen, der am Gelsenkirchener Gymnasium eingesetzt wird, enthält zwei Fragen zur Computernutzung. Von den vierundzwanzig Schülerinnen und Schülern nutzen zweiundzwanzig den Computer für Computerspiele und zwanzig Schülerinnen und Schüler zur Textverarbeitung (Abbildung 8.13). Achtzehn Schülerinnen und Schüler nutzen das Internet, ihnen sollte daher das verknüpfende Prinzip von Hypertexten bekannt sein und sie sollten über grundlegende Kenntnisse der Browsernutzung verfügen. Über die Hälfte der Schülerinnen und Schüler nutzen Lernsoftware. Die Angaben der einzelnen Versuchspersonen sind im Anhang (Tabelle 13.2; S. 139) aufgeführt.

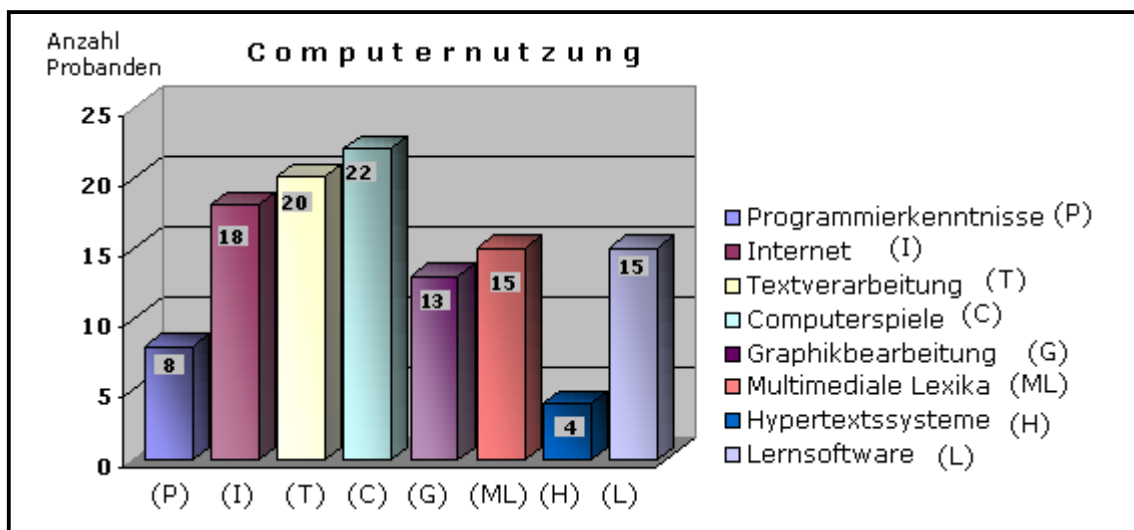


Abb. 8.13: Angaben zur Computernutzung (Gymnasium Gelsenkirchen).

Bei den Schülerinnen und Schülern des Oberhausener Gymnasiums ergibt sich ein fast identisches Bild. Auch hier wird der Computer von den meisten Schülerinnen und Schülern für Computerspiele, zur Textverarbeitung und als Zugang zum Internet genutzt (Abbildung 8.14). Die Angaben der einzelnen Versuchspersonen sind in Tabelle 13.3 (Anhang; S. 140) dargestellt.

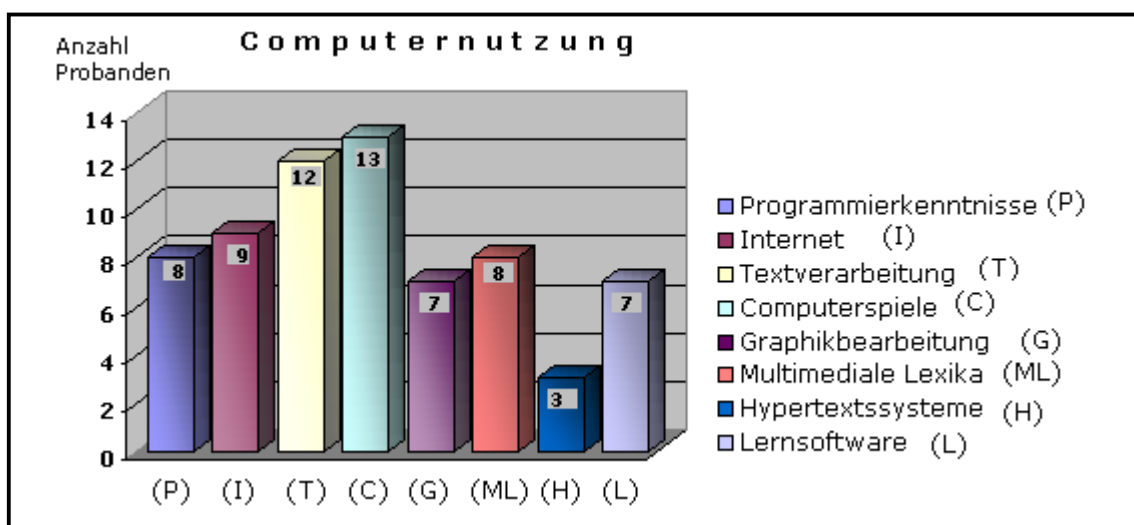


Abb. 8.14: Angaben zur Computernutzung (Gymnasium Oberhausen).

Die Zeit, die die Schülerinnen und Schüler pro Woche vor dem Computer verbringen, differiert von Person zu Person sehr stark. Die Schülerinnen und Schüler des Gelsenkirchener Gymnasiums geben an, zwischen keiner und vierzehn Stunden pro Woche den Computer zu nutzen (Anhang Tabelle 13.2; S. 139). Bei den Schülerinnen und Schülern des Oberhausener Gymnasiums ist die Spannweite noch größer: sie liegt zwischen keiner und fünfunddreißig Stunden pro Woche (Anhang Tabelle 13.3; S.140). Schülerinnen verbringen zumeist deutlich weniger Stunden vor dem Computer als Schüler. Alle Schülerinnen und Schüler nutzen den Computer die überwiegende Zeit für Computerspiele, Internetapplikationen und zur Textverarbeitung.

Die Schülerinnen und Schüler des Oberhausener Gymnasiums werden im Fragebogen von Prä- und Posttest danach gefragt, womit sie sich auf eine Klausur vorbereiten würden. Zur Auswahl standen ein Lehrbuch und ein multimediales Lehrbuch. Im Prätest entscheiden sich zehn für das Lehrbuch, drei für das multimediale Lehrbuch und ein Schüler wählt beide Medien. In Tabelle 8.2 sind einige der Aussagen der Schülerinnen und Schüler für oder gegen eines der Medien aufgeführt. Für das Lehrbuch werden häufiger der ortsunabhängige Einsatz, die einfache Nutzung und der weniger anstrengende Lesevorgang angeführt. Für das multimediale Lehrbuch sprechen Aktualität, Anschaulichkeit und die schnelle Suchmöglichkeit.

Pro Lehrbuch
»Ich habe mehr Erfahrung mit normalen Lehrbüchern.« [VpnO-1 / Prätest]
»Einfacher zu bedienen und übersichtlicher.« [VpnO-2 / Posttest]
»Es ist etwas handfestes und nichts virtuelles. Auch wenn es komisch klingt, aber ich kann besser lernen, wenn ich was festes in den Händen halte. Das multimediale Buch würde ich vielleicht nur zur Hilfe nehmen. Außerdem kann ich es mir mit einem Buch bequem machen. Sonst müsste man die ganze Zeit vor dem Bildschirm (verkrampft) sitzen.« [VpnO-5 / Prätest]
»Geht schneller und ist übersichtlicher.« [VpnO-7 / Posttest]
»Es ist weniger anstrengend ein Buch zu lesen als am Bildschirm zu lesen.« [VpnO-12 / Posttest]
»Mit jeglichen Lernprogrammen habe ich nur schlechte Erfahrungen gemacht, meist ist das spezifische Thema nicht stark vertreten.« [VpnO-6 / Prätest]
Pro multimediales Lehrbuch
»Es kann einzelne Sequenzen besser veranschaulichen.« [VpnO-3 / Posttest]
»Verknüpfungen zwischen den Themen; Stichwortsuche gelingt schneller als mit dem Buch; Aktualität.« [VpnO-8 / Prätest]
»Übersichtlicher; keine langen Suchvorgänge; optisch ansprechender.« [VpnO-9 / Posttest]
»Mehr Informationen als in einem Buch.« [VpnO-11 / Posttest]
Einsatz beider Medien
»Ich finde, dass eine Kombination aus beidem für mich persönlich das Beste ist. Lehrbücher sind meistens umfangreicher und vertiefender, dafür sind die multimedialen Lernprogramme anschaulicher.« [VpnO-4 / Posttest]
»Ich würde beides benutzen, um möglichst viele Informationen zu erhalten.« [VpnO-13 / Prätest]

Tab. 8.2: Angaben zu Vor- und Nachteilen von Lehrbuch und multimedialem Lehrbuch (Gymnasium Oberhausen).

Im Prätest-Fragebogen geben sechs Schülerinnen und Schüler an, Lernsoftware ungern zu benutzen; vier nutzen Lernsoftware gerne und weitere vier nutzen keine Lernsoftware (Anhang Tabelle 13.4; S.141). Im Posttest-Fragebogen äußern fünf Schülerinnen und Schüler, dass sie Lernsoftware ungern nutzen; fünf nutzen Lernsoftware gern und drei nutzen keine Lernsoftware. Ein Vergleich von Prätest- und Posttest-Fragebögen zeigt, dass drei Schülerinnen und Schüler im Posttest erstmals angeben, Lernsoftware gerne zu benutzen. Zwei von ihnen hatten mit der nicht-linearen Lernumgebung gearbeitet, ein Schüler mit der linearen Lernumgebung. Als Begründungen werden aufgeführt: »Kein lästiges Hin- und Herblättern« [VpnO-11]; »Verständliche Erklärungen, schnelles Zurechtfinden« [VpnO-9]; »Weil man Lernsoftware sehr effektiv für bestimmte Lehrziele benutzen kann.« [VpnO-5]. Ein Schüler und eine Schülerin geben im Posttest erstmals an, Lernsoftware ungern zu nutzen. Im Prätest hatten sie angegeben, Lernsoftware nicht zu nutzen oder gerne zu nutzen. Beide hatten mit der linearen Lernumgebung gearbeitet. Die Schülerin begründete dies mit folgender Aussage: »Ich finde es langweilig vor dem Computer zu sitzen. Ich setze mich lieber mit einem Buch in die Ecke und lerne so. Man kann sich auch ohne Lernsoftware gut vorbereiten.« [VpnO-2]. Ob die Veränderungen aus dem Umgang mit den Lernumgebungen resultieren, kann nicht festgestellt werden, auch nicht ob es sich um stabile Einstellungsänderungen handelt. Auffallend ist, dass die meisten Schülerinnen und Schüler sehr differenziert und kompetent begründen. Exemplarisch sind die Aussagen eines Schülers, der Lernsoftware gern benutzt und eines weiteren Schülers, der Lernsoftware ungern nutzt, aufgeführt: »Die Aufgaben sind gut unterteilt. Man muss sich Übungen nicht selbst ausdenken, die Ergebnisse werden auf jeden Fall richtig ausgewertet und es macht mehr Spaß.« [VpnO-8]; »Die heutige Software im Handel und im Web ist noch nicht ausgereift, da sie sich noch nicht an den individuellen Nutzer angepasst hat (z.B. Steigerung des Schwierigkeitsgrades, Updatefähigkeit, Handbuchinhalte sind für Normalnutzer schwer verständlich).« [VpnO-10].

Die Oberhausener Schülerinnen und Schüler sollten nach dem Arbeiten mit der Lernumgebung die Lernumgebung bewerten. Die einzelnen Aussagen sind im Anhang in den Tabellen 13.5 (S. 142) und 13.6 (S. 143) aufgeführt. Als positiv wird von vielen Schülerinnen und Schülern die Verwendung von Bildern und Begriffsdefinitionen gewertet. Darüber hinaus werden u.a. die Verständlichkeit der Thematik und die übersichtliche Darstellung positiv angemerkt. Negative Kritik wird nur wenig geäußert. Zwei Schüler, die mit der linearen Lernumgebung gearbeitet hatten, monieren, dass die Begriffe, die im Glossar erläutert werden, direkt vom Text aus verlinkt sein sollten.

8.4.2 Leistungstest

Der Leistungstest wird bei vierzehn Schülerinnen und Schülern des Oberhausener Gymnasiums als Prä- und als Posttest eingesetzt. Die Vorgehensweise bei der Bewertung der Antworten ist in Kapitel 7.5.3 (S. 62ff.) ausführlich beschrieben. Das Idealantwortverzeichnis und der Punkteschlüssel sind im Anhang in Abbildung 13.3 (S. 136f.) dargestellt. Die Antworten werden jedoch nicht wie in der Pilotstudie nach vier Wochen von der selben Person erneut gewertet, sondern ein Interrater hinzugezogen. Als Übereinstimmungskoeffizient wird ein Kappa-Koeffizient (κ) von 0,66 ermittelt. Nach LANDIS und KOCH (1977) gilt dieser Wert als „substantial“ und nach ROBSON (1993) noch als „good“ (siehe Kapitel 7.5.2; S. 50ff.). Die Ergebnisse des Prätests lassen sich aufgabenspezifisch und persohnspezifisch auswerten. Die aufgabenspezifische Auswertung zeigt, dass – bezogen auf die Gesamtgruppe – einige Fragen fast gar nicht beantwortet werden (Abbildung 8.15). Dazu gehört die Erläuterung der Begriffe „*Fettsäuren*“, „*Seifenanion*“ und „*Oberflächenspannung*“ (Aufgabe 1b, 1e, 1f), die Darstellung der Anordnung von Seifenanionen um Öltröpfchen (Aufgabe 3) und die Erklärungen zur Wirkungsweise von Seife (Aufgabe 4). Diese Aufgaben werden als „schwere Aufgaben“ kategorisiert. Die Aufgaben 1a, 1c und 1d (Erläuterung der Begriffe „*hydrophil / hydrophob*“, „*Wasserstoffbrücken*“, „*Ester*“), die Aufgabe 2 (Beschriftung eines Seifenmodells) und die Aufgabe 5 (zum Phänomen der Oberflächenspannung) werden zumindest zum Teil beantwortet und als „mittelschwere Aufgaben“ deklariert. Wie erwartet, können die Aufgaben von den Schülerinnen und Schülern ad hoc nicht zufriedenstellend beantwortet werden. Ausnahme bildet die Aufgabe 2, die von einigen Schülerinnen und Schülern bereits im Prätest richtig beantwortet wird.

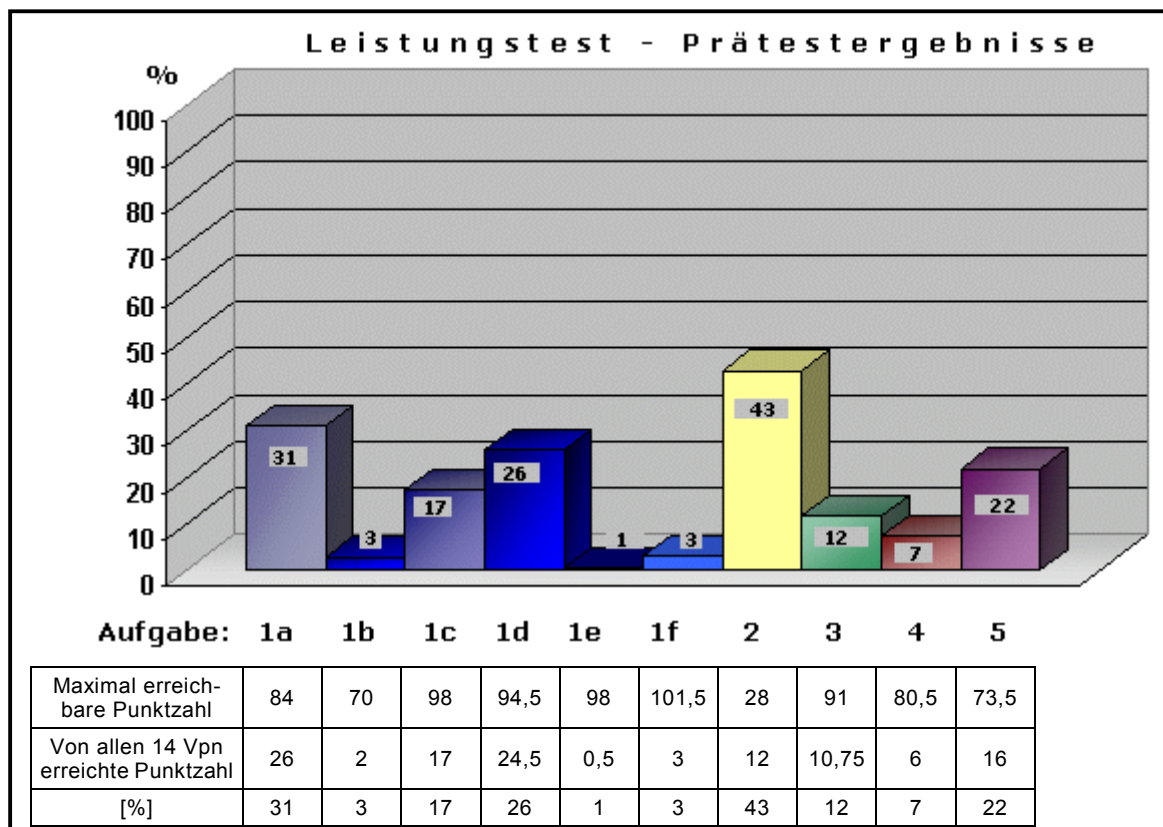


Abb. 8.15: Ergebnisse des Prätests; dargestellt ist das Gesamtergebnis aller 14 Schülerinnen und Schüler für die einzelnen Aufgaben.

Aus der personenspezifischen Auswertung wird ersichtlich, dass alle Versuchspersonen über ein geringes themenspezifisches Vorwissen verfügen (Abbildung 8.16). Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt 58,5 Punkte. Die Versuchsperson 4 ist die einzige, die sich mit 19 Punkten (32,5 Prozent der Gesamtpunktzahl) von den anderen Schülerinnen und Schülern etwas abhebt. Keiner der erreicht im Prätest mehr als zwanzig Prozent der maximal erreichbaren Punktzahl. Acht der vierzehn Schülerinnen und Schüler erreichen weniger als 15 Prozent.

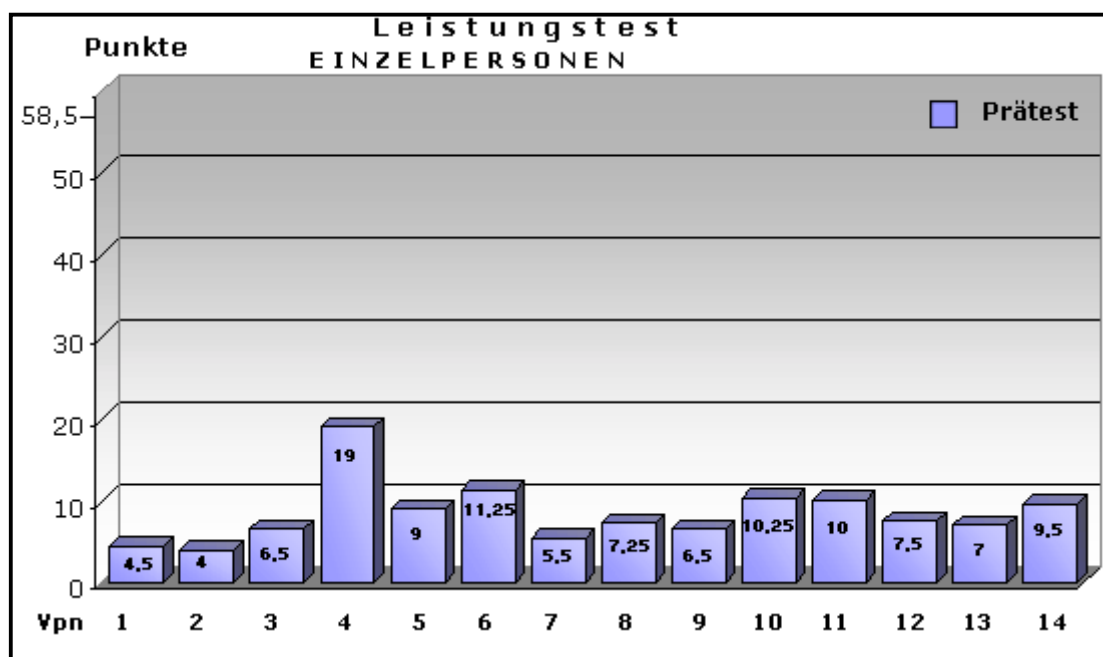


Abb. 8.16: Ergebnisse des Prätests (Gymnasium Oberhausen); dargestellt sind die Einzelergebnisse der 14 Schülerinnen und Schüler.

Die Ergebnisse des Post-Leistungstests zeigen, dass - bezogen auf die Gesamtgruppe - trotz Anwendung der Lernumgebung bestimmte Aufgaben nur mäßig bis schlecht beantwortet werden (Abbildung 8.17). Dazu gehört die Erläuterung der chemiespezifischen Begriffe (Aufgabe 1) und die Erklärung der Wirkungsweise von Seife (Aufgabe 3). Die Pilotstudie hat gezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler normalerweise nie alle Begriffsdefinitionsseiten aufrufen. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass nicht alle Schülerinnen und Schüler die Informationen lesen, die zur Lösung der Aufgaben 1a bis 1f nötig sind. Daneben könnte es sein, dass die Schülerinnen und Schüler, während sie mit der Lernumgebung arbeiten, nur einen Teil der Informationen, die auf den Begriffsdefinitionsseiten dargestellt sind, lesen und verarbeiten, da sie auch nur ein Teil der Informationen in der momentanen Situation interessiert. Das von der Gesamtgruppe nur 39,8 Prozent der maximal möglichen Punkte für die Aufgabe 3 erreicht werden, liegt vermutlich in der Komplexität der Aufgabe. Die zur vollständigen Lösung der Aufgabe benötigten Informationen sind auf verschiedene Haupt-, Neben- und Begriffsdefinitionsseiten verteilt. Das sehr gute Abschneiden der Gesamtgruppe bei Aufgabe 2 - Beschriftung eines Seifenmoleküls mit den vorgegebenen Begriffen „*hydrophil*“, „*hydrophob*“, „*Carboxylgruppe*“ und „*Kohlenwasserstoffrest*“ - hat vermutlich mehrere Ursachen. Ein wichtiger Punkt ist der, dass die Informationen zur

Lösung der Aufgabe in der Lernumgebung immer wieder präsentiert werden und zum Verstehen der Seifenthematik von grundlegender Bedeutung sind, so dass sich die Schülerinnen und Schüler während des Arbeitens mit der Lernumgebung ständig damit auseinandersetzen müssen. Weitere Punkte sind, dass die Aufgabe relativ einfach gestaltet ist und, dass die Schülerinnen und Schüler bereits im Prätest bei der Bearbeitung dieser Aufgabe am besten abschnitten, d.h. hier liegt ein mittleres aufgabenspezifisches Vorwissen vor.

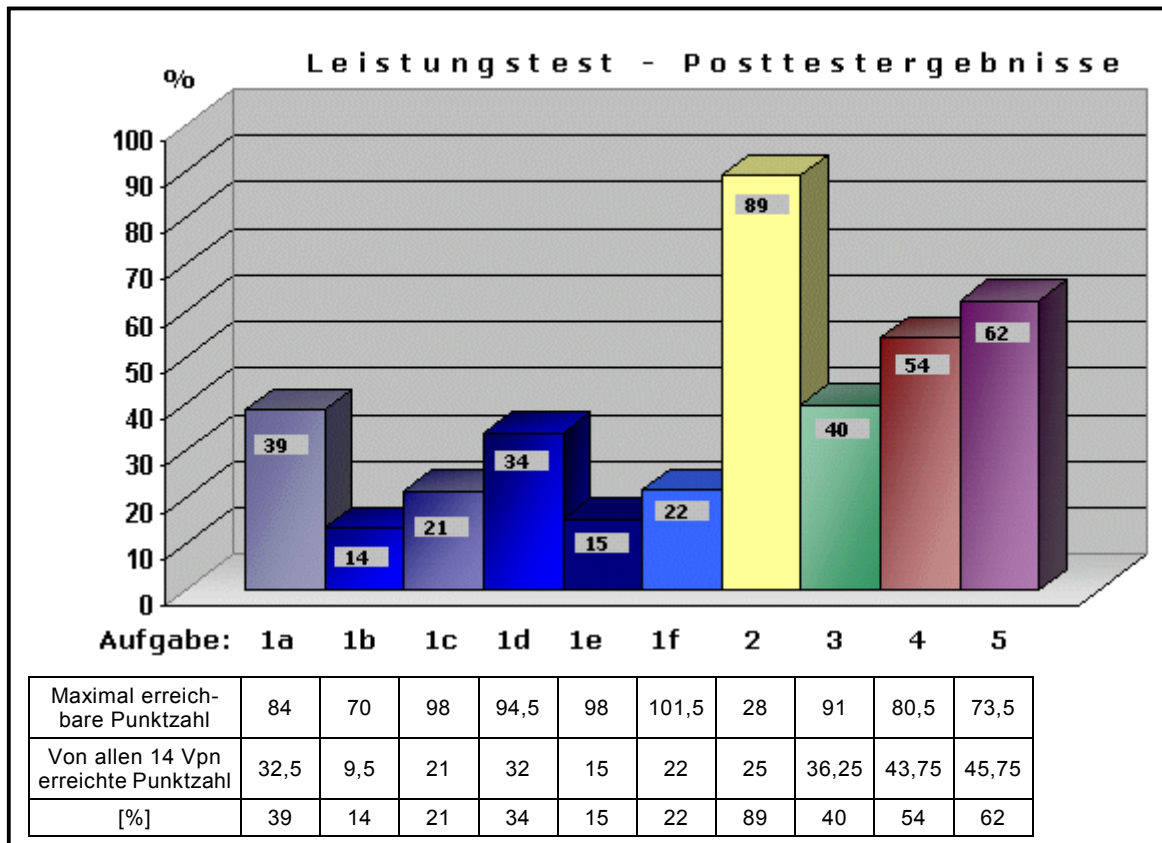


Abb. 8.17: Ergebnisse des Posttests (Gymnasium Oberhausen); dargestellt ist das Gesamtergebnis aller 14 Schülerinnen und Schüler für die einzelnen Aufgaben.

In Abbildung 8.18 sind die Prä- und Posttestergebnisse der Gesamtgruppe dargestellt. Die Gesamtsäule stellt das Ergebnis des Posttests dar, der untere Teil der Säule das Ergebnis des Prätests und der obere Teil die Differenz zwischen Prä- und Posttest. Die Lernzuwächse sind, bezogen auf die maximal bei den einzelnen Aufgaben zu erreichenden Punktzahlen, bei den Aufgaben 1a bis 1d am geringsten. Die Gründe liegen vermutlich - wie bereits angedeutet - in der geringeren Frequentierung der Begriffsdefinitionsseiten gegenüber den Haupt- und Nebenseiten und in der nicht unmittelbaren Verbindung der Begriffe zu den Themen „Eigenschaften der Seife“ und „Waschprozess“. Besser schneiden die Schülerinnen und Schüler bei den Aufgaben 1e und 1f ab. Die Erläuterung des Begriffes „Seifenanion“ (1e) steht in unmittelbarer Beziehung zu dem Thema Seife. Informationen in der Lernumgebung zum Begriff „Oberflächenspannung“ befinden sich nicht auf den Begriffsdefinitionsseiten, sondern auf den Haupt- und Nebenseiten. Die Lernzuwächse sind bei den Aufgaben 2 bis 5 am größten. Damit zeigt sich, dass die Informationen zur Seifenthematik am besten gelernt werden. Dies erklärt vermutlich auch, warum die Schülerinnen

und Schüler bei Aufgaben, die aufgrund der Ergebnisse des Prätests als schwierige Aufgaben kategorisiert sind (Aufgabe 1b, 1e, 1f, 3, 4), zum Teil mehr dazulernen, als bei Aufgaben, die der Kategorie „mittelschwere Aufgaben“ zugeordnet sind (1a, 1c und 1d).

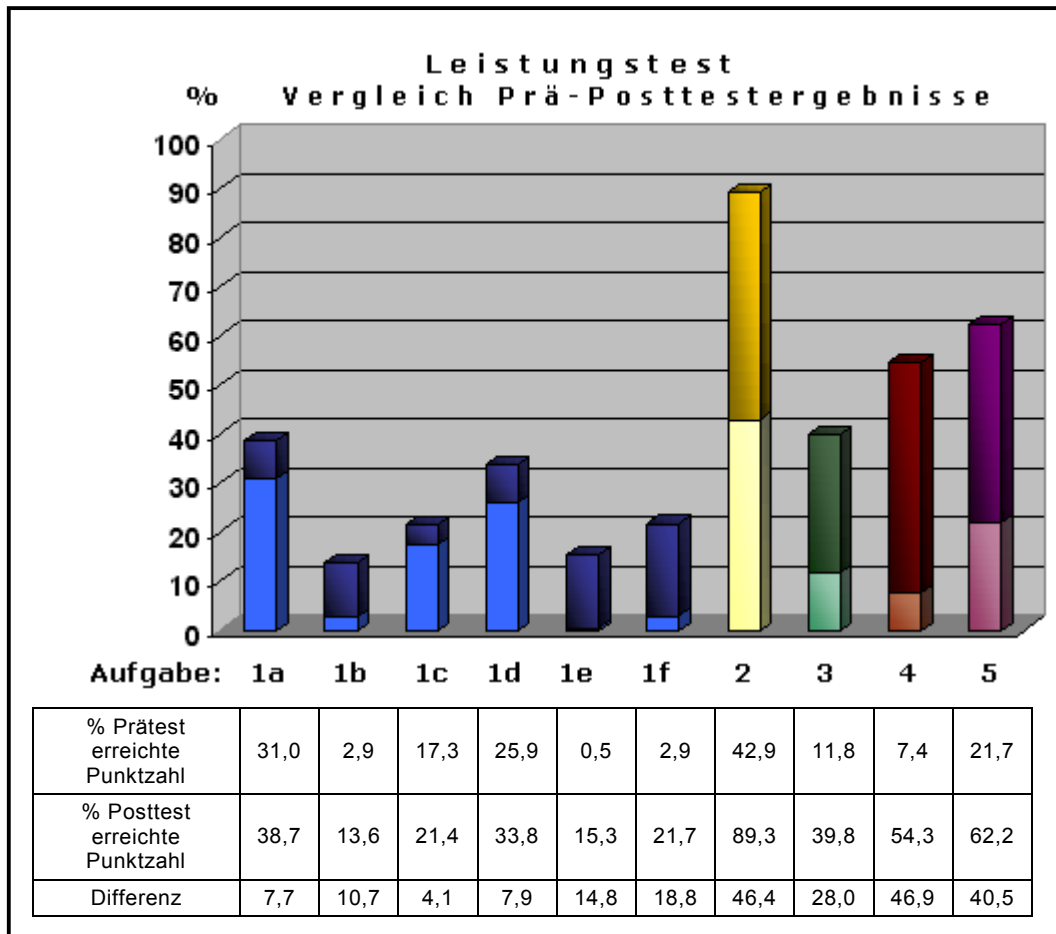


Abb. 8.18: Vergleich der Prä- und Posttestergebnisse; dargestellt ist das Gesamtergebnis aller 14 Schülerinnen und Schüler für die einzelnen Aufgaben.

In der Abbildung 8.19 sind die Gesamtergebnisse der Prä- und Posttests derjenigen sieben Schülerinnen und Schüler dargestellt, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten („lineare Lernumgebungsanwender“). Abbildung 8.20 zeigt die Ergebnisse bezogen auf die Gruppe der „nichtlinearen Lernumgebungsanwender“. Die Ergebnisse der Einzelgruppen stimmen tendenziell mit denen der Gesamtgruppe überein: die Lernzuwächse - bezogen auf die maximal erreichbare Punktzahl der jeweiligen Aufgabe - fallen für die Aufgaben 2 bis 5 größer aus als für die Aufgaben 1a bis 1f. Vergleicht man die beiden Gruppen miteinander, so sind die Unterschiede im Posttestergebnis bei den Aufgaben 2 (100% „linear“ zu 78,6% „nicht-linear“) und 5 (55,8% zu 68,7%) vermutlich darauf zurückzuführen, dass bereits unterschiedliche Prozentniveaus im Prätest vorlagen. Auffällig ist, dass bei den Aufgaben 3 und 4 die Gruppe „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ im Prätest auf einem prozentual niedrigeren Niveau startet als die Gruppe „lineare Lernumgebungsanwender“, im Posttest aber besser als diese abschneidet.

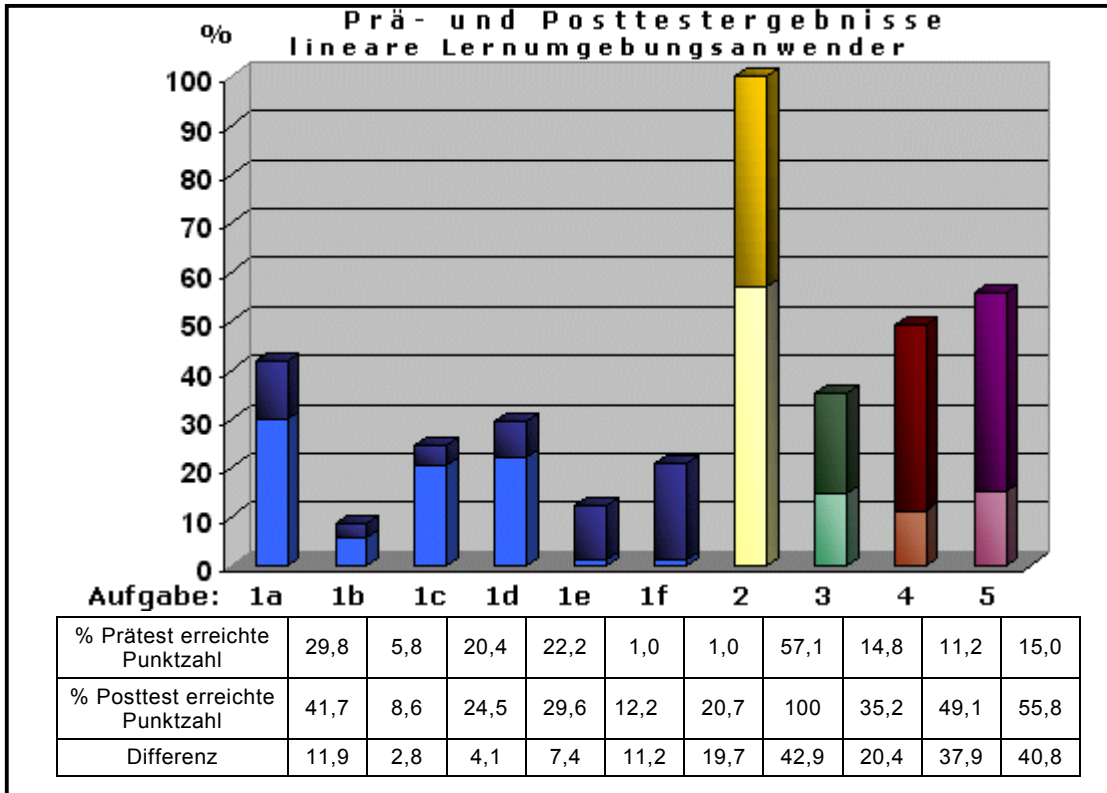


Abb. 8.19: Prä- und Posttest der Gruppe „lineare Lernumgebungsanwender“.

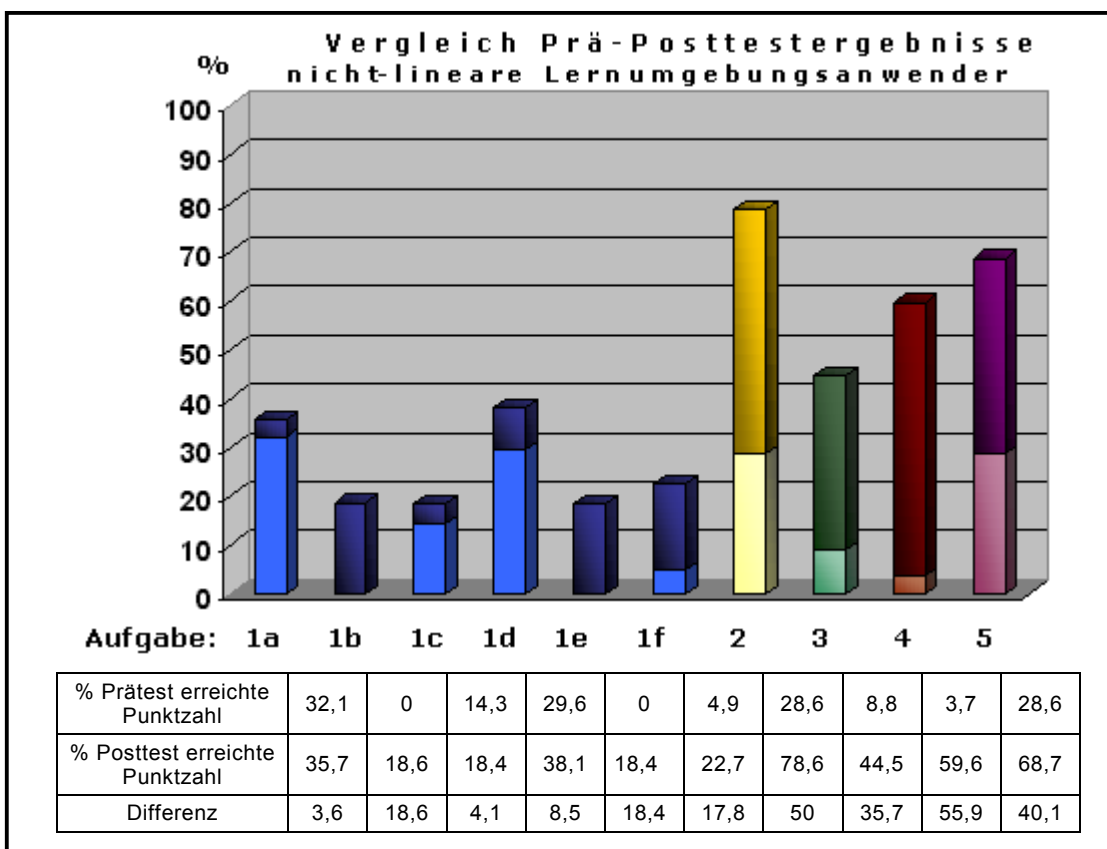


Abb. 8.20: Prä- und Posttest der Gruppe „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.

Ein Vergleich der absoluten Punktzahlen untereinander (Abbildung 8.21) bestätigt diese Ergebnisse. Die maximal erreichbare Punktzahl liegt bei Aufgabe 2 deutlich niedriger als bei den anderen Aufgaben, daher sind die entsprechenden Säulen niedriger als beim prozentualen Vergleich. Vergleicht man für die Aufgabe 3 die Punktdifferenzen von Prä- und Posttest, ergibt sich für die Gruppe „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ eine um 7 Punkte bessere Differenz gegenüber der Gruppe „lineare Lernumgebungsanwender“. Für die Aufgabe 4 beträgt der Wert 7,25 Punkte. Die Differenzen in den Aufgaben 1a und 1b resultieren vermutlich aus einer divergierenden Frequentierung der Begriffsdefinitionsseiten.

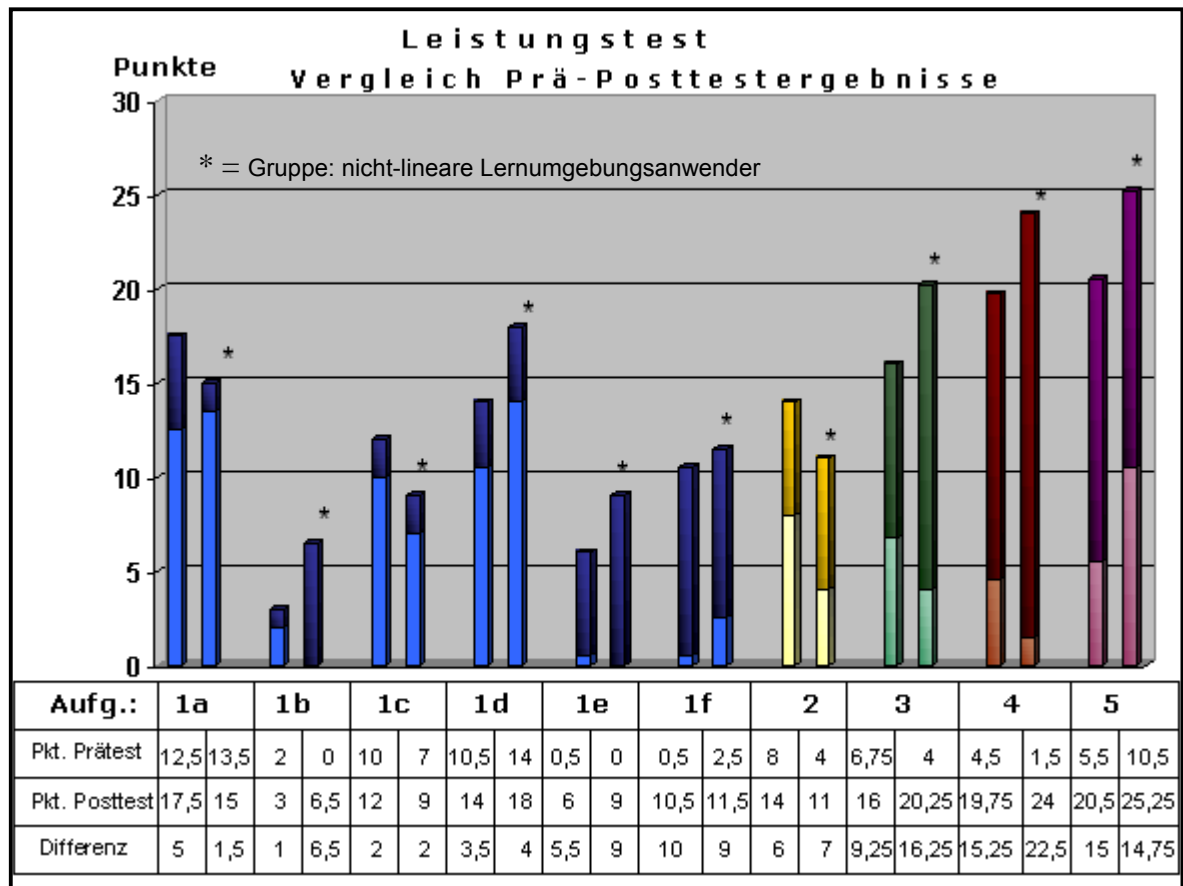


Abb. 8.21: Aufgabenspezifischer Vergleich der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.

Abbildung 8.22 zeigt die personenspezifische Auswertung von Prä- und Posttest. Die Gesamtsäule gibt wiederum die von der Schülerin - bzw. dem Schüler - im Posttest erreichte Punktzahl wieder. Der untere Teil der Säule stellt die Punktzahl aus dem Prätest dar, der obere Teil entsprechend die Punktdifferenz zwischen Prä- und Posttestergebnis. Die Schülerinnen und Schülern sind anhand zunehmender Punktzahlen im Prätest von links nach rechts aufgetragen. Die maximal erreichbare Punktzahl im Leistungstest beträgt 58,5 Punkte pro Person. Alle Schülerinnen und Schüler besitzen - eventuell mit Ausnahme von Schüler 4 - ein themenbezogenes niedriges Vorwissen. Innerhalb dieser Gruppe sind es nicht unbedingt die Schülerinnen und Schüler mit einem vergleichsweise höherem Vorwissen, die im Posttest besser abschneiden. Dies gilt für alle Schülerinnen und Schüler, unabhängig davon, mit welcher Lernumgebung sie arbeiten. So schneidet zum Beispiel VpnO-1, sowohl bezogen auf

die Gesamtpunktzahl im Posttest, als auch auf die Punktedifferenz von Prä- zu Posttest, besser ab als VpnO-6, obwohl sie im Prätest ein schlechteres Ergebnis erzielt als VpnO-6. Gleiches gilt für VpnO-7 im Vergleich mit VpnO-14.

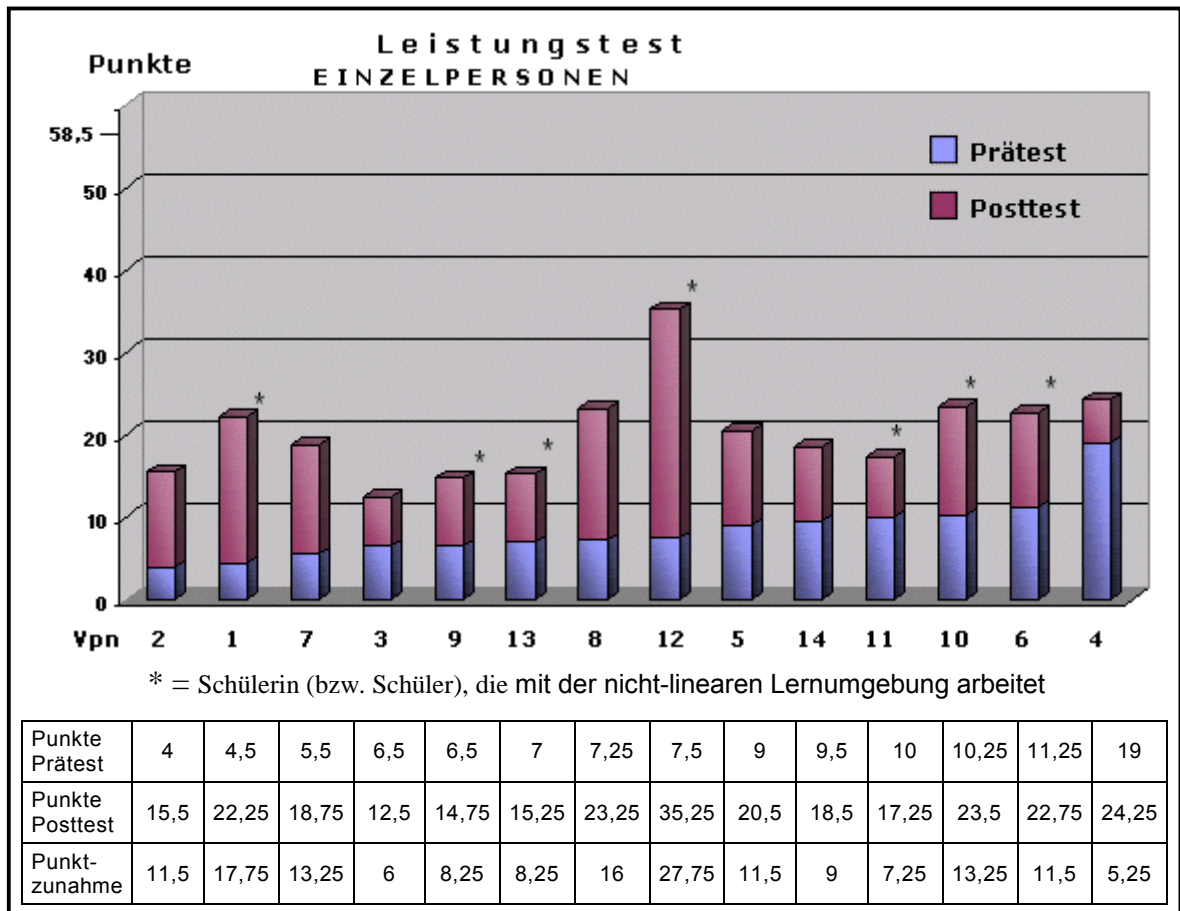


Abb. 8.22: Einzelergebnisse des Prä- und Posttests der 14 Schülerinnen und Schüler.

Ein Vergleich der Gesamtpunktzahlen der beiden Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ (Abbildung 8.23) zeigt, dass die Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, mit einer Gesamtpunktzahl von 149,5 Punkten im Posttest 16,25 Punkte besser abschneiden als die Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten (Gesamtpunktzahl: 133,25 Punkte). Gemessen an den im Prätest von den Gruppen erreichten Punktzahlen (60,75 bzw. 57 Punkte), konnte sich die Gruppe der „linearen Lernumgebungsanwender“ um 119 Prozentpunkte steigern, die Gruppe der „nicht-linearen Lernumgebungsanwender“ um 162 Prozentpunkte. Gemessen an der von 7 Schülerinnen und Schüler maximal erreichbaren Punktzahl von $(7 \cdot 58,5 =) 409,5$ Punkten, erreicht die Gesamtgruppe der „linearen Lernumgebungsanwender“ im Posttest 32,5 Prozent der Gesamtpunktzahl (Prätest: 14,8 %) und die Gruppe der „nicht-linearen Lernumgebungsanwender“ 36,5 Prozent (Prätest: 13,9%). Berücksichtigt man die Informationsfülle und die Komplexität der Thematik, so ist der Lernzuwachs für beide Gruppen als gut zu bewerten; immerhin haben sich die Schülerinnen und Schüler nur 45 Minuten mit einer Thematik befasst, für die im Unterricht wesentlich größere Stundenzahlen und weitere Methoden erforderlich sind. Daneben ist es weder gewollt, noch didaktisch sinnvoll, die Thematik

den Schülerinnen und Schülern allein dadurch zu vermitteln, dass diese in Einzelarbeit mit einer Hypertext-Lernumgebung umgehen.

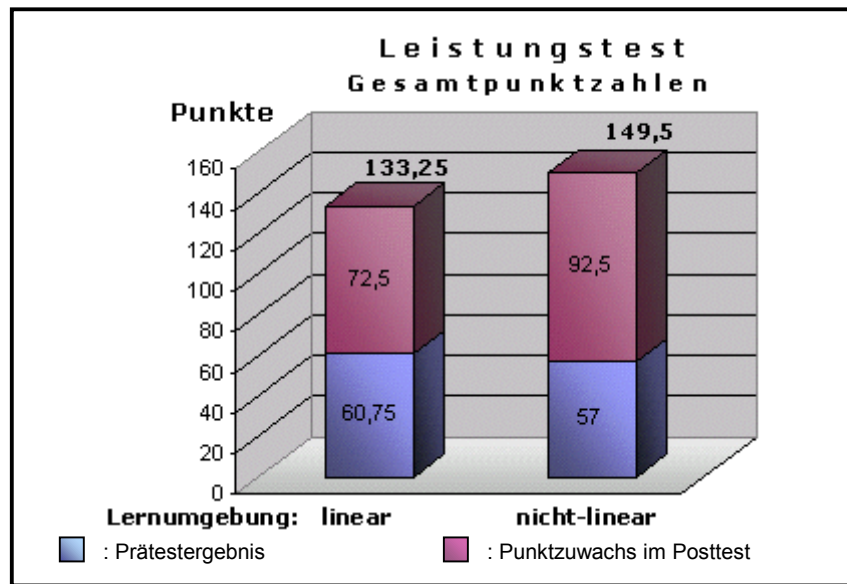


Abb. 8.23: Gesamtpunktzahlen der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.

Die Aufgaben des Leistungstests können unterteilt werden in Aufgaben, für deren Beantwortung in der Lernumgebung auf den Begriffsdefinitionsseiten Informationen zur Verfügung gestellt werden, und Aufgaben, für deren Beantwortung in der Lernumgebung auf den Haupt- und Nebenseiten Informationen zur Verfügung gestellt werden (Abbildung 8.24).

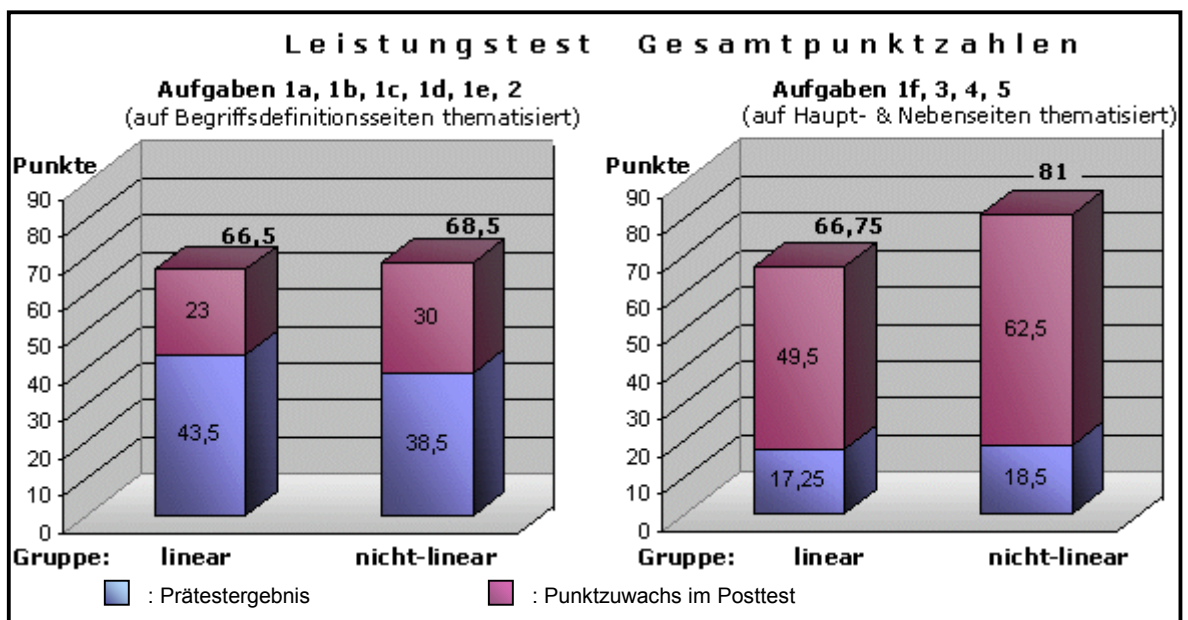


Abb. 8.24: Aufgabengruppenspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen.

Ein Vergleich der Gesamtpunktzahlen der beiden Gruppen (lineare und nicht-lineare Lernumgebungsanwender) verdeutlicht, dass das bessere Abschneiden der Gesamtgruppe „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ nicht allein daraus resultieren kann, dass die Schülerinnen und Schüler dieser Gruppe mehr

Begriffsdefinitionsseiten aufsuchen. Vielmehr sind die Leistungsunterschiede zwischen den beiden Gruppen zu zwei Dritteln auf die Aufgaben zurückzuführen, für deren Bearbeitung Informationen auf den Haupt- und Nebenseiten der Lernumgebung angeboten werden. Die Aufgaben können anhand der Ergebnisse des Prätests in die Kategorien „mittelschwere Aufgaben“ und „schwere Aufgaben“ unterteilt werden. Vergleicht man auch hier die Gesamtpunktzahlen der beiden Gruppen, so wird deutlich, dass die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen aus Leistungsunterschieden bei der Beantwortung der „schweren Aufgaben“ resultieren (Abbildung 8.25). Die Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, erreichen eine Gesamtpunktzahl von 71,25 Punkten im Posttest und schneiden damit um 16 Punkte besser ab als die Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten (Gesamtpunktzahl: 55,25 Punkte).

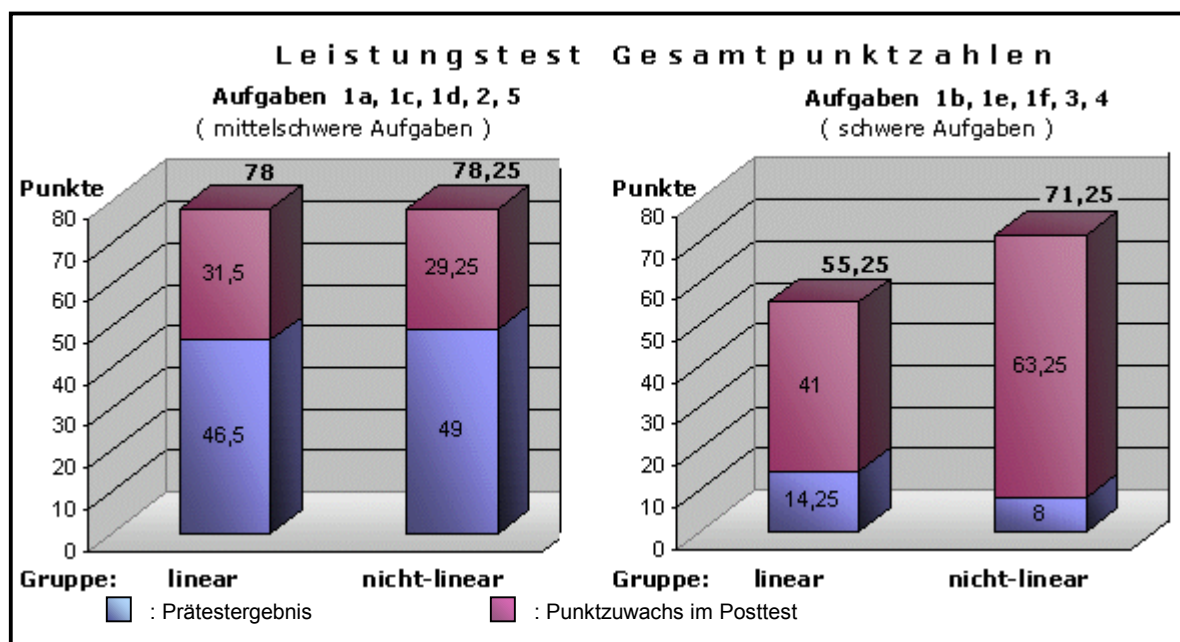


Abb. 8.25: Aufgabengruppenspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen: „mittelschwere“ versus „schwere“ Aufgaben.

Um zu prüfen, ob ermittelten Leistungsunterschiede signifikant sind, wird als Signifikanztest der Student-Test (T-Test) durchgeführt. Dieser erlaubt eine Aussage darüber, ob sich die arithmetischen Mittel der Stichproben signifikant voneinander unterscheiden. Voraussetzung für den T-Test ist, dass sich die Varianzen zwischen den beiden Gruppen nur zufällig voneinander unterscheiden. Dies wird mittels des F-Tests geprüft. Für den F-Test liegt bei einem Signifikanzniveau von 95 Prozent ($1-\alpha=0,95$) der Rückweisungspunkt (t_{tab}) für $v_1=6$ und $v_2=6$ bei 4,28. Für einen zweiseitigen T-Test gilt hierbei ein t-Wert (t_{tab}) von 2,179 ($v=12$; $1-\alpha=0,95$). Verglichen werden die Lernzuwächse der beiden Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.

Die Werte für die Einzelpersonen sind im Anhang in Tabelle 13.7 (S. 144) aufgeführt. Es wurden folgende f- und t-Werte errechnet:

- Gesamtergebnis alle Aufgaben: f-Wert = 3,56; t-Wert = 1,291;
- Aufgaben, zu deren Bearbeitung die Informationen in der Lernumgebung auf den Begriffsdefinitionsseiten angeboten wurden: f-Wert = 6,57;
- Aufgaben, zu deren Bearbeitung die Informationen in der Lernumgebung auf den Haupt- und Nebenseiten angeboten wurden: f-Wert = 1,67; t-Wert = 0,845;
- Vergleich mittelschwere Aufgaben: f-Wert = 1,71; t-Wert = 0,356;
- Vergleich schwere Aufgaben: f-Wert = 1,67; t-Wert = 1,974.

Die ermittelten F-Werte liegen mit einer Ausnahme links vom Rückweisungspunkt und erlauben somit die Durchführung des T-Tests. Die berechneten t-Werte sind kleiner als der Rückweisungspunkt ($t_{\text{tab}}: 2,160$), d.h. die Nullhypothese kann nicht verworfen werden. Die ermittelten Unterschiede für beide Gruppen sind somit nicht signifikant.

Aufgrund der Ergebnisse des Leistungstests kann jedoch folgende Aussage getroffen werden: Schülerinnen und Schüler mit niedrigem Vorwissen können mit einer nicht-linearen Lernumgebung durchaus genauso effektiv lernen, wie mit einer linearen Lernumgebung. Dieses Ergebnis steht konträr zu den Untersuchungsergebnissen von GERDES (1997), hier konnten Lerner mit niedrigem Vorwissen mit linearen Lernumgebungen effektiver lernen als mit nicht-linearen Lernumgebungen. Die Ergebnisse des Leistungstests am Oberhausener Gymnasium unterstützen eher die These von SCHNOTZ & ZINK (1997), dass durch geeignete Lernhilfen (z.B. spezifische Aufgabenstellungen) der Wissenserwerb mit nicht-linearen Lernumgebungen auch bei Lernern mit niedrigem Vorwissen zumindest genauso effektiv gestaltet werden kann wie der Wissenserwerb mit linearen Texten. Neben den geeigneten Lernhilfen ist wahrscheinlich die nutzerfreundliche Gestaltung der Lernumgebung von entscheidender Bedeutung.

8.4.3 Own Word Mapping und Verknüpfungstest

Die Testmethode „Own Word Mapping und Verknüpfungstest“ wird am Gymnasium in Gelsenkirchen als Prä- und als Posttest eingesetzt. Das genaue Auswertungsverfahren ist in Kapitel 7.5.2 (S. 50ff.) beschrieben. Als Übereinstimmungskoeffizient für die Begriffskategorisierung durch die beiden Rater wird ein Kappa-Koeffizient (κ) von 0,85 ermittelt. Nach LANDIS und KOCH (1977) ist dieser Wert als „almost perfect“ und nach ROBSON (1993) als „excellent“ zu bewerten. In der Abbildung 8.26 sind die Ergebnisse der 24 Schülerinnen und Schüler aus Prä- und Posttest zusammengefasst. Die einzelnen Propositionen (Begriffspaar + verknüpfender Satz) der Schülerinnen und Schüler sind jeweils einer Kategorie zugeordnet. In den Prätest-Maps werden zur Verknüpfung der Bilder deutlich mehr Propositionen aus dem alltagsweltlichen Bereich (Kategorien S1 und NS1) verwendet als in den Posttest-Maps. Im Anschluss an das Arbeiten mit der Lernumgebung generieren die Schülerinnen und Schüler weniger Propositionen aus dem nicht-spezifischen Bereich (Kategorien NS1, NS2, und NS3) und beschreiben und erklären stärker auf fachlicher Ebene (Kategorien S2 und S3). Die Zunahme an Propositionen aus den Kategorien S2 und S3 ist als Resultat des Wissensaneignungsprozesses zu deuten. Um den Lernerfolg zu dokumentieren, können daher die Kategorien S2 und S3 zusammengefasst werden. Während die Schülerinnen und Schüler in den Prätest-Maps in diesem fachlichen Bereich nur 167 Propositionen generieren, steigt die Anzahl in den Posttest-Maps um mehr als das Doppelte auf insgesamt 339 Propositionen an.

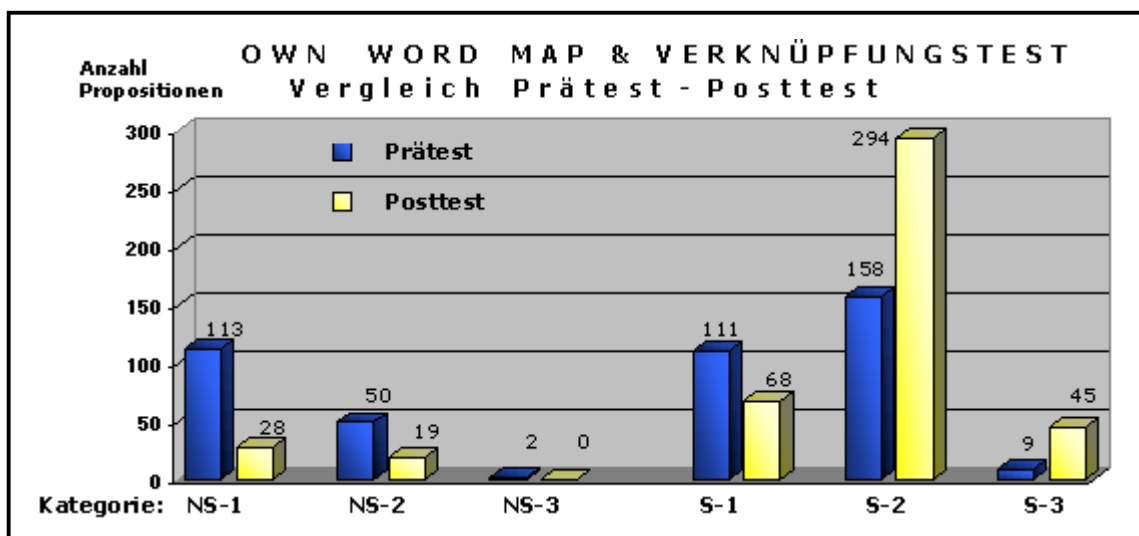


Abb. 8.26: Kategorienspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen der Gesamtgruppe.

Eine Unterteilung der Gesamtgruppe in die beiden Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ (Abbildung 8.27 und 8.28) zeigt, dass sich die Tendenzen der Gesamtgruppe auch in diesen beiden Teilgruppen widerspiegeln. Der Vergleich der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ offenbart hauptsächlich Unterschiede in den Kategorien S2 und S3. Während die Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, in den Posttest-Maps insgesamt 144 Propositionen aus dem fachlichen Bereich (S2 + S3) generieren, bilden jene, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten,

zusammen 195 Propositionen, die den chemisch-fachlichen Kontext betreffen. Ermittelt man die Differenzen aus Prätest und Posttestergebnissen, so werden die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen noch deutlicher. Während die Gruppe der „linearen Lernumgebungsanwender“ in der Kategorie S2 im Posttest 32 Propositionen mehr und in der Kategorie S3 zusammen 9 Propositionen mehr generiert, liegen die Differenzwerte der „nicht-linearen Lernumgebungsanwender“ in der Kategorie S2 bei 104 und in der Kategorie S3 bei 27 Propositionen. Diese Gruppe bildet in Differenz zum Prätest insgesamt 90 Propositionen (131-41) im fachlichen Bereich (Kategorien S2 und S3) mehr als die Gruppe der „linearen Lernumgebungsanwender“.

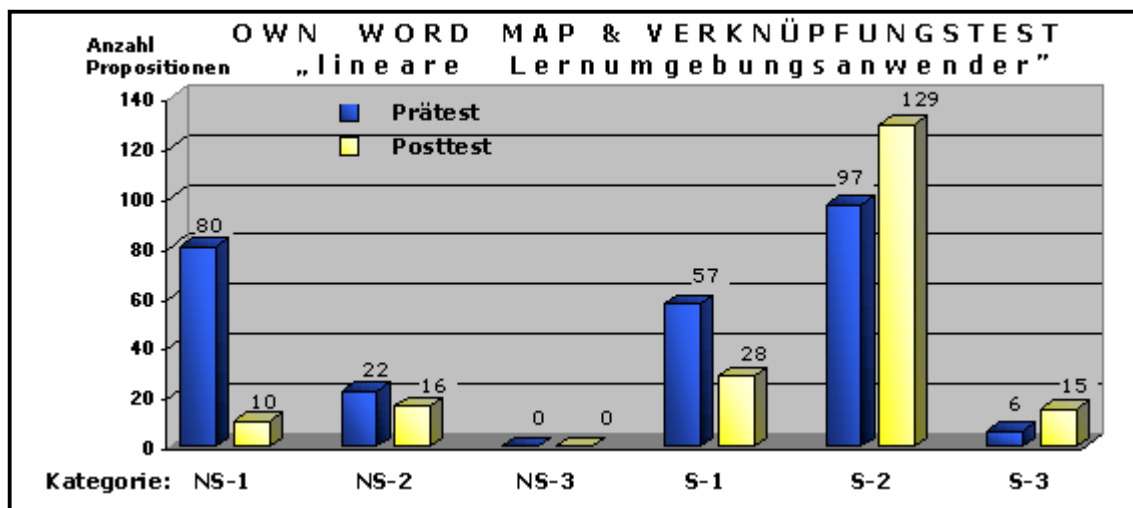


Abb. 8.27: Kategorienspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen der Gruppe „lineare Lernumgebungsanwender“.

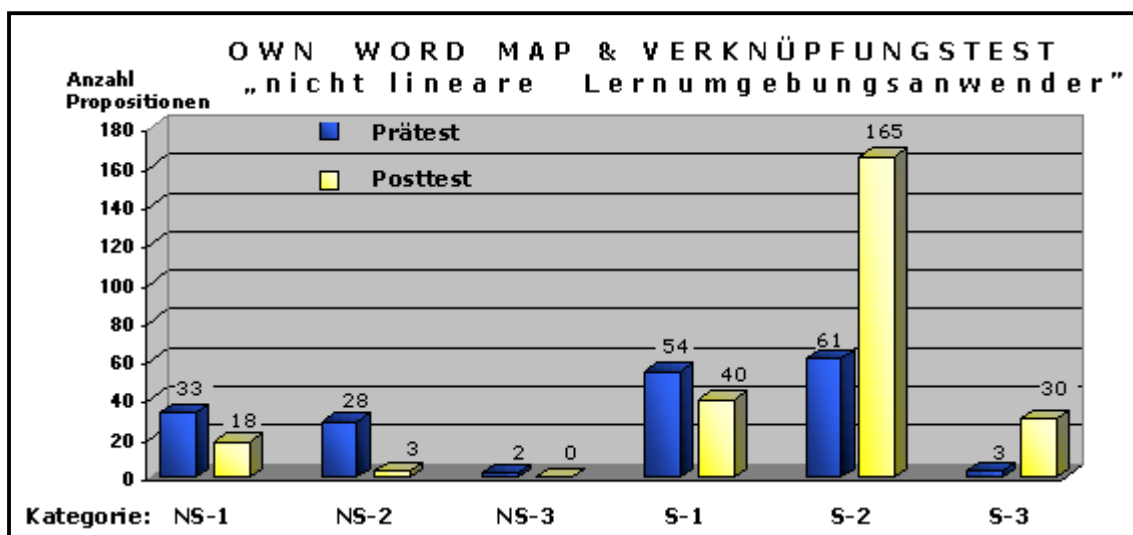


Abb. 8.28: Kategorienspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen der Gruppe „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.

Für den F-Test liegt bei einem Signifikanzniveau von 95 Prozent ($1-\alpha=0,95$) der Rückweisungspunkt (t_{tab}) für $v_1=11$ und $v_2=11$ bei 2,82. Verglichen werden die Differenzwerte aus Prä- und Posttest der beiden Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“. Dabei werden die Kategorien S2 und S3 aus den bereits genannten Gründen zusammenge-

fasst. Der F-Test bestätigt mit einem F-Wert von 2,14 die Homogenitätshypothese ($1-\alpha=0,95$; $t_{\text{tab}} = 2,82$). Der ermittelte F-Wert zeigt, dass die Varianzen sich nur zufällig voneinander unterscheiden. Daher kann als Signifikanztest der Student-Test (T-Test) durchgeführt werden. Mit ihm wird geprüft, ob sich die arithmetischen Mittel der Stichproben in den fachlichen Kategorien (S2 + S3) zwischen den beiden Lernumgebungsanwendergruppen signifikant unterscheiden. Für einen zweiseitigen T-Test ergibt sich bei $v=22$ ein Rückweisungspunkt von 2,074 ($1-\alpha=0,95$). Es wird ein Wert von 3,385 ermittelt, d.h. der Lernzuwachs liegt in der Gruppe der Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten signifikant höher als in der Gruppe der Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten.

Ein Vergleich der einzelnen Leistungen von Schülerinnen und Schülern macht weitere Unterschiede deutlich. In der Abbildung 8.29 sind die Schülerinnen und Schüler anhand der zunehmenden Anzahl an Propositionen aus den Kategorien S2 + S3 von links nach rechts aufgetragen (Prätest-Werte). Die Schülerinnen und Schüler differieren zum Teil erheblich in ihren Vorkenntnissen. Nach einer weiteren Analyse der einzelnen Own Word Maps werden die Schülerinnen und Schüler mit insgesamt bis zu 6 Propositionen aus den Kategorien S2 und S3 der Gruppe „niedriges Vorwissen“ zugeteilt. Schülerinnen und Schüler mit mehr als 6 Propositionen aus den Kategorien S2 und S3 werden in der Gruppe „mittleres Vorwissen“ zusammengefasst (Vpn 7, 24, 9 5, 1, 19, 2, 14, 17). Die einzelnen Werte sind im Anhang in Tabelle 13.8 (S. 145) aufgeführt.

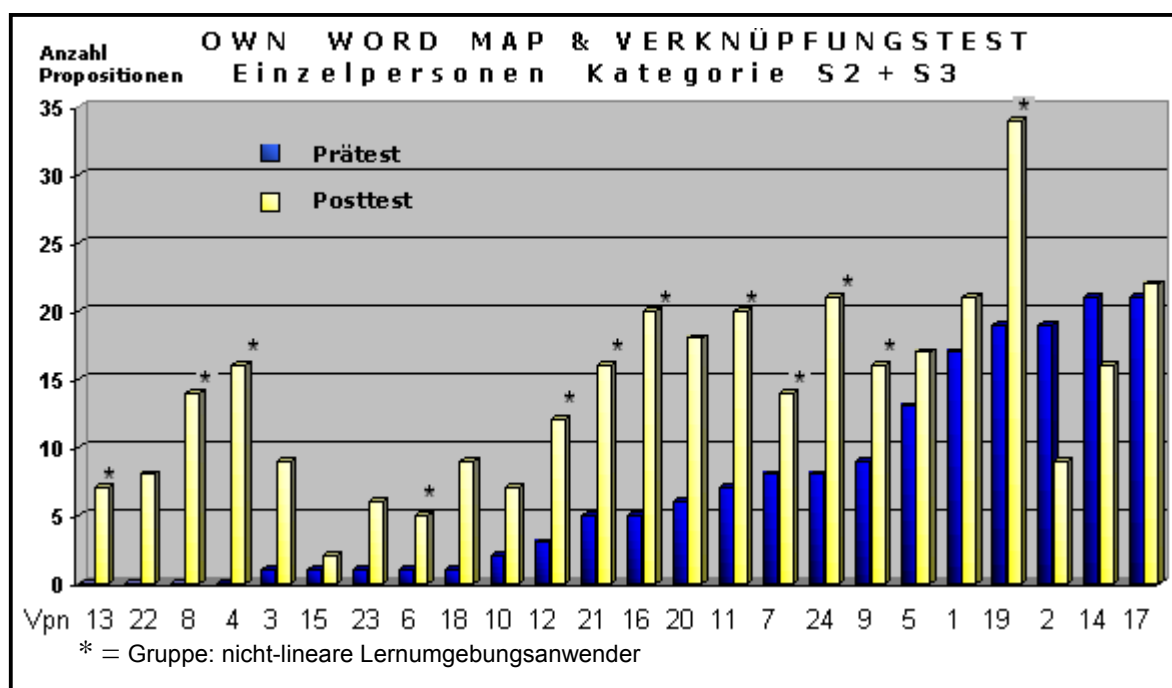


Abb. 8.29: Zusammenfassung der Kategorien S2 + S3 und Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen der Einzelpersonen (Vpn).

Zwei Schüler schneiden im Posttest bezogen auf die Kategorien S2 und S3 schlechter ab als im Prätest. Beide gehören der Gruppe „lineare Lernumgebungsanwender“ an und verfügten nach den Ergebnissen des Prätest zu schließen, über mit das meiste Vorwissen. Nimmt man diese Versuchspersonen (Vpn 2 + 14) und die zwei Versuchspersonen, die aus der Gruppe der „nicht-linearen Lernumgebungsanwender“ im Prätest am besten abschnitten

(Vpn 19 + 9) aus der Wertung, bleiben die Unterschiede zwischen den Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ weiterhin signifikant [f-Wert: 1,47; f_{tab} : 3,18 ($v_1=9$, $v_2=9$; $1-\alpha=0,95$)]; [t-Wert: 3,250; t_{tab} : 2,101 (zweiseitiger Test; $v=18$; $1-\alpha=0,95$)]. Betrachtet man die personenspezifische Zunahme an Propositionen in den Kategorien S2 und S3, zeigt sich, dass die Zunahmen nicht unbedingt mit dem Vorwissen korrelieren, d.h. Schülerinnen und Schüler die im Prätest weniger Propositionen generieren, schneiden im Posttest teilweise besser ab als Schülerinnen und Schüler die im Prätest mehr Propositionen generieren.

In Abbildung 8.30 sind die Gesamtwerte der 14 Schülerinnen und Schüler, die über ein geringes Vorwissen verfügen, graphisch dargestellt. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ sind deutlich. Beide Gruppen generieren im Prätest nahezu gleich viel Propositionen in den Kategorien S2 und S3. In der Kategorie S2 erzielt die Gruppe der „linearen Lernumgebungsanwender“ im Posttest 42 Propositionen mehr und in der Kategorie S3 fünf Propositionen mehr als im Prätest. Die Gruppe der „nicht-linearen Lernumgebungsanwender“ erzielt 59 Propositionen in der Kategorie S2 und 17 Propositionen in der Kategorie S3 mehr als im Prätest. Vergleicht man für die fachlichen Propositionen die Differenzwerte aus Prä- und Posttest der beiden Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender mit niedrigem Vorwissen“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender mit niedrigem Vorwissen“, ergeben sich auch hier signifikante Unterschiede. Der durch den F-Test ermittelte F-Wert von 1,72 bestätigt die Homogenitätshypothese. Der Rückweisungspunkt beträgt 3,794 ($v_1=6$, $v_2=6$; $1-\alpha=0,95$). Der im T-Test ermittelte Wert beträgt 2,806 [t_{tab} : 2,179 (zweiseitiger Test; $v=12$; $1-\alpha=0,95$)], d.h., der Lernzuwachs liegt in der Gruppe, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet signifikant höher als in der Gruppe, die mit der linearen Lernumgebung arbeitet.

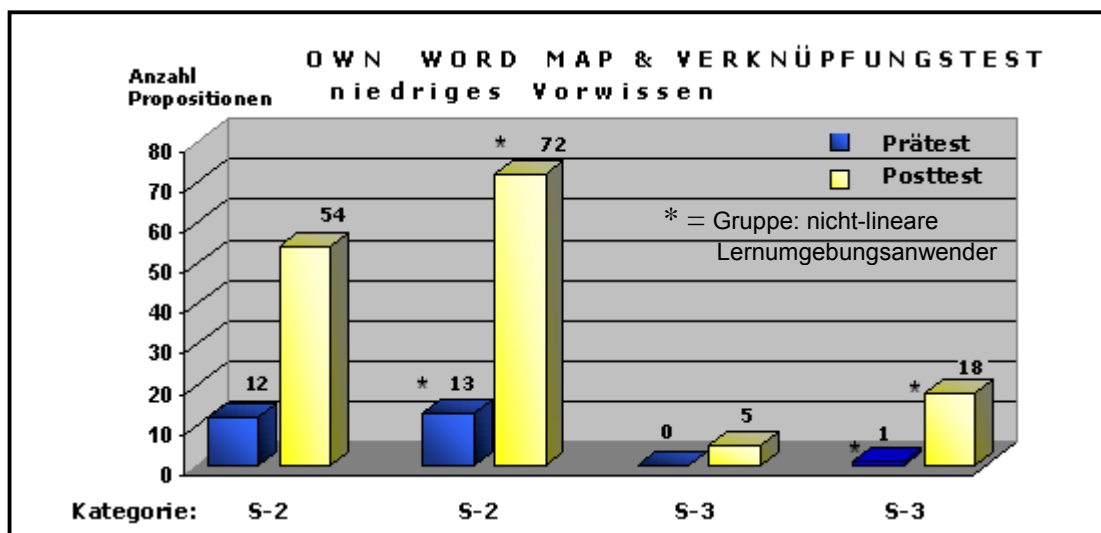


Abb. 8.30: Vergleich der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ in den Kategorien S2 + S3; berücksichtigt sind Schülerinnen und Schüler mit niedrigem Vorwissen.

Die Gruppe der Schülerinnen und Schüler mit „mittlerem“ fachlichen Vorwissen umfasst 10 Personen. Die Anzahl an Propositionen für die beiden Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwen-

der“ sind in Abbildung 8.31 aufgeführt. Auch hier schneiden die Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, im Posttest im fachlichen Bereich (Kategorien S2 + S3) signifikant besser ab als die Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten [f-Wert: 2,15; f_{tab} : 16,0 ($v_1=4$, $v_2=4$; $1-\alpha=0,95$)]; [t-Wert: 4,926; t_{tab} : 2,306 (zweiseitiger Test; $v=8$; $1-\alpha=0,95$)].

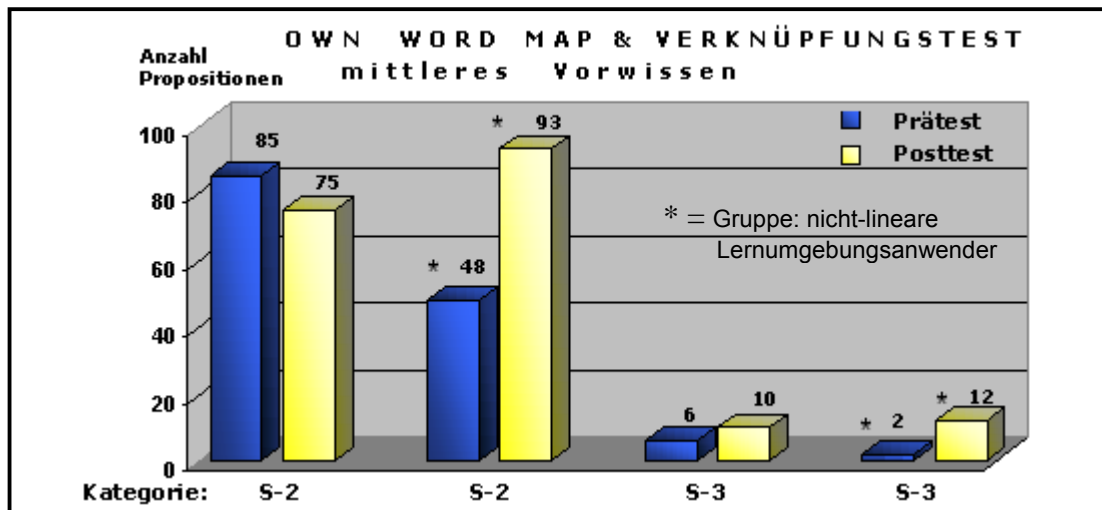


Abb. 8.31: Vergleich der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ in den Kategorien S2 + S3; berücksichtigt sind Schülerinnen und Schüler mit „mittlerem“ Vorwissen.

Als Indikator für die Strukturiertheit der Maps werden der Linkage-Index und die Anzahl der zentralen Knoten ermittelt (vgl. Kapitel 7.5.2; S. 50ff.). Die Ergebnisse sind im Anhang in Tabelle 13.9 (S. 146) und 13.10 (S. 147) aufgeführt. Der Linkage-Index variiert sowohl zwischen den Gruppen als auch zwischen Prä- und Posttestergebnissen nur leicht. Die Anzahl an zentralen Knoten beträgt in der Gruppe der „linearen Lernumgebungsanwender“ in den Prätest-Maps 9 und in den Posttest-Maps 14 Knoten. In der Gruppe der „nicht-linearen Lernumgebungsanwender“ steigt die Zahl der zentralen Knoten zwischen Prä- und Posttest-Maps von 6 auf 18 Knoten an. Die ermittelten Werte sind ein Indiz für die stärkere Strukturiertheit der Maps und die stärkere Verknüpfung einzelner Begriffe bei Schülerinnen und Schülern, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, gegenüber den Maps der Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten.

Die Analyse aller Propositionen von Prä- und Posttest ergibt, dass die Begriffe „Seife“ und „Waschen“ am häufigsten in Verknüpfungen verwendet werden. Der Begriff „Seife“ wird 233 mal in den insgesamt 48 Maps als Ausgangs- oder Zielbegriff für eine Verknüpfung verwendet, der Begriff „Waschen“ 207 mal. Es folgen die Begriffe „Wasser“ (83 mal), „Erniedrigung der Oberflächenspannung“ (60 mal), „Oberflächenspannung“ (57 mal), „Schmutzablösung“ (51 mal), „Waschmittel“ (44 mal), „Hydrophil“ (42 mal) und „Hydrophob“ (42 mal). Die am häufigsten getätigten Verknüpfungen sind „Seife-Waschen“ (39 mal), „Waschen-Schmutzablösung“ (33 mal) und „Seife-Erniedrigung der Oberflächenspannung“ (29 mal). Eine Analyse aller Propositionen die den Kategorien S2 oder S3 zugeordnet wurden ergibt für den Themenbereich „Waschprozess“, dass zu diesem Themenbereich von den Schülerinnen und Schülern, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, im Posttest-Map 101 Propositionen generiert werden (Prätest: 36 Propositionen). Schülerinnen und Schüler die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, generieren im Posttest-Map 143 Propositionen zu diesem Themenbereich (Prätest: 34 Propositionen). Ein noch deutlicher Unterschied zeigt sich für den Themenbereich „Seifeneigenschaften“: die Gruppe der „linearen Lernumgebungsanwender“ generiert im Posttest 83 Propositionen (Prätest: 63 Propositionen), die Gruppe der „nicht-linearen Lernumgebungsanwender“ 151 Propositionen (Prätest: 54 Propositionen). Im Themenbereich „Grenzflächen- und Oberflächenspannung“ zeigen sich nur geringe Unterschiede: die Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, generieren im Posttest 118 Präpositionen (Prätest: 50 Propositionen) gegenüber den Schülerinnen und Schülern, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten mit 106 Propositionen (Prätest: 26 Propositionen). Die drei genannten Themenbereiche sind nicht scharf voneinander abgegrenzt, so dass z.B. eine Aussage wie »Seifenanionen erniedrigen die Oberflächenspannung des Wassers«, sowohl dem Themenbereich „Seifeneigenschaften“ als auch dem Themenbereich „Grenzflächen- und Oberflächenspannung“ zugerechnet wird. Eine mögliche Ursache dafür, dass die Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, in dem Themenbereich „Grenzflächen- und Oberflächenspannung“ nicht besser abschneiden als die Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, könnte die sein, dass ein Teil der Seiten die diesen Themenbereich erörtern nicht direkt von der Indexseite aus erreichbar sind, sondern nur durch „übergreifende Links“ (siehe Abbildung 8.12, S. 83). Dies spräche dafür, in nicht-linearen Lernumgebungen die einzelnen Themenbereiche generell über eine Indexseite zu erfassen, was mit steigendem Informationsangebot immer schwieriger zu realisieren ist.

Im folgenden werden exemplarisch die Prä- und Posttest-Maps von vier Schülerinnen vorgestellt. Zwei der Schülerinnen (Vpn 4 und Vpn 20) verfügen über ein eher geringes Vorwissen, zwei über ein mittleres Vorwissen (Vpn 19 und 24). Abbildung 8.32 zeigt das im Prätest entwickelte Own Word Map von Versuchsperson 4, die im Verknüpfungstest formulierten Aussagen, und die durch den Experten vorgenommene Kategorisierung der jeweiligen Aussage. Die Schülerin generiert keine fachlichen Propositionen, alle Aussagen bleiben im alltagsweltlichen Bereich, wobei nur drei der 9 Aussagen dem Kontext „Seife / Waschen“ zuzuordnen sind.

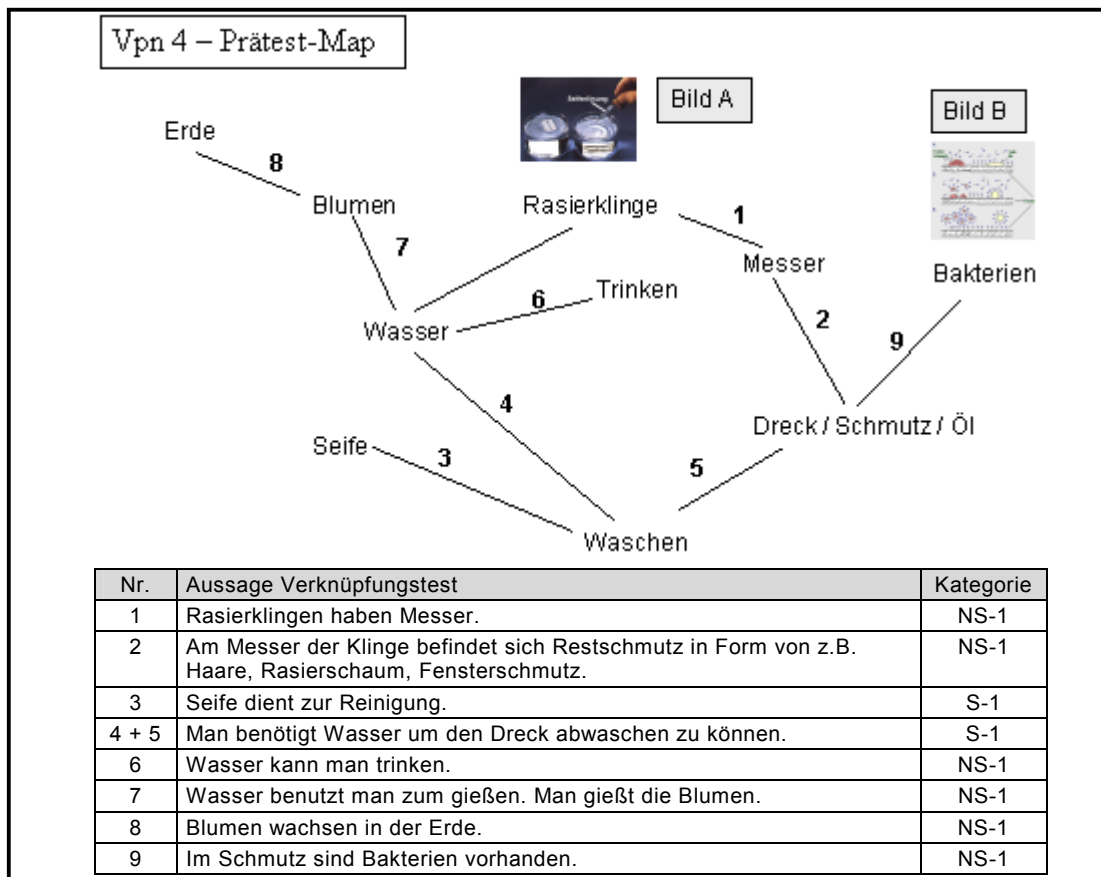


Abb. 8.32: Prätest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 4 und Kategorisierung.

Das Posttest-Map der Schülerin (Abbildung 8.33) weist deutlich mehr Propositionen auf als das Prätest-Map. Einundzwanzig der zweiundzwanzig Propositionen gehören dem spezifischen Bereich an. Die Schülerin beschreibt und argumentiert jetzt hauptsächlich auf fachlicher Ebene und verknüpft die beiden Bilder sinnvoll miteinander. Die Aussagen der Schülerin machen deutlich, dass sie das Phänomen der Oberflächenspannung verstanden hat und auch die Rolle der Seife im Waschprozess wesentlich genauer beschreiben kann als im Prätest. Zentrale Begriffe des Netzes sind die Begriffe „Wasser“, „Seife“ und „Waschen“.

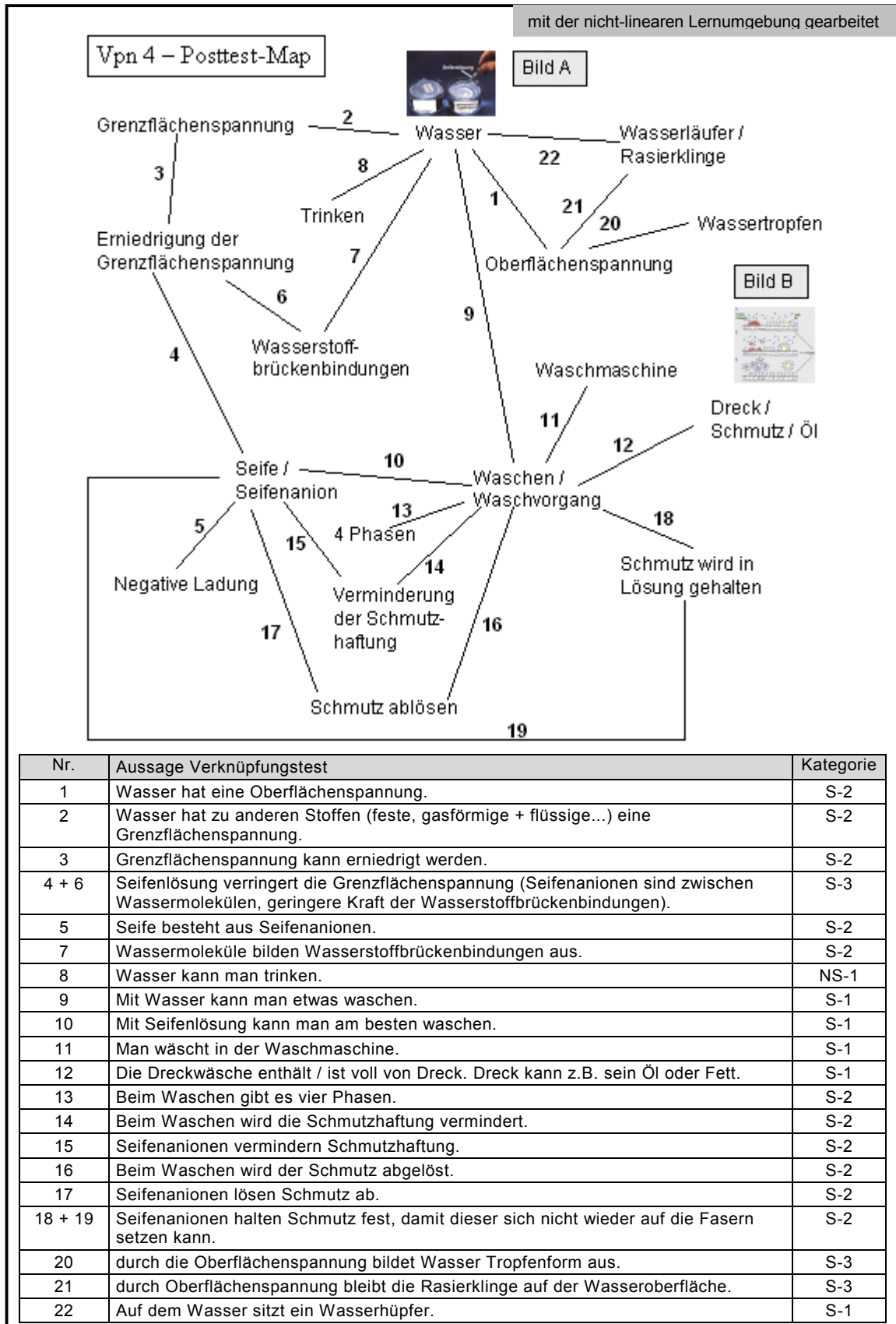


Abb. 8.33: Posttest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 4 und Kategorisierung.

In der Abbildung 8.34 ist das Prätest-Map einer Schülerin aufgeführt (Vpn 20), die bereits vor Anwendung der Lernumgebung einige fachspezifische Propositionen generiert. Sie kommt aber über Aussagen, die die Begriffe „Hydrophil“ und „Lipophil“ beschreiben nicht hinaus. Die Schülerin benutzt deutlich mehr Begriffe als Versuchsperson 4 im Prätest-Map, beschreibt aber hauptsächlich auf alltagsweltlich / phänomenologischer Ebene.

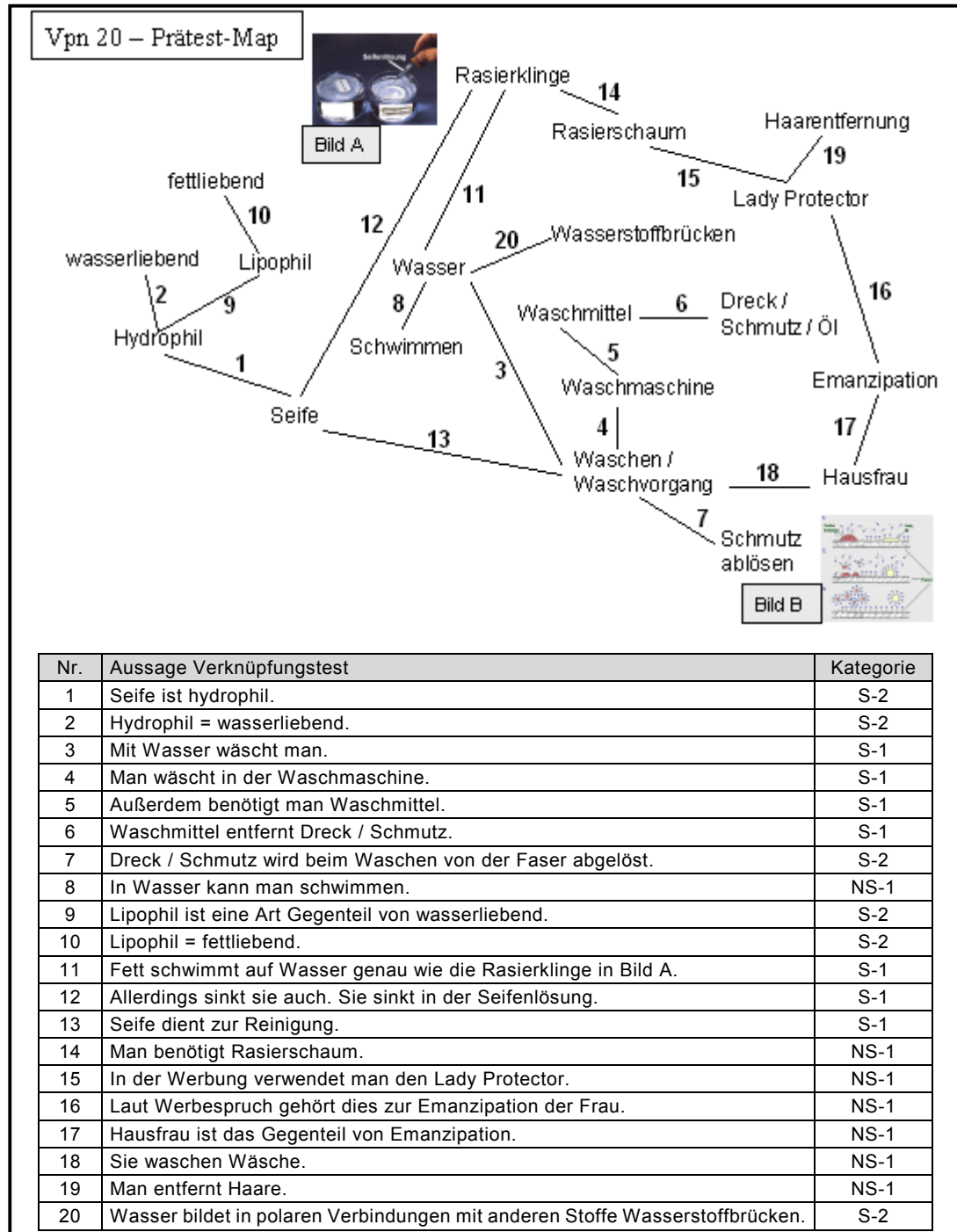


Abb. 8.34: Prätest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 20 und Kategorisierung.

Im Posttest-Map generiert die Schülerin fast genauso viel Propositionen wie im Prätest-Map (Abbildung 8.35). Die Propositionen lassen sich jedoch mit einer Ausnahme den Kategorien S2 oder S3 zuordnen, d.h. die Schülerin beschreibt und argumentiert nahezu durchgängig auf fachlicher Ebene um die beiden

Bilder miteinander zu verknüpfen. Während im Prätest noch Aussagen getroffen werden, die dem nicht-spezifischen Bereich zuzuordnen sind, betreffen alle Aussagen im Posttest die Thematik „Seife / Waschen“. Der Schwerpunkt der Ausführungen liegt in den Themenbereichen „Waschprozess“ und „Eigenschaften von Seifenlösung“. Die Begriffe „Seife / Seifenlösung“ und „Waschen“ stellen somit auch zentrale Knoten des Maps dar. Die Thematik der Oberflächen- und Grenzflächenspannung dient zwar als Ausgangspunkt für die Konzeption des Own Word Maps, wird allerdings nicht detailliert erläutert.

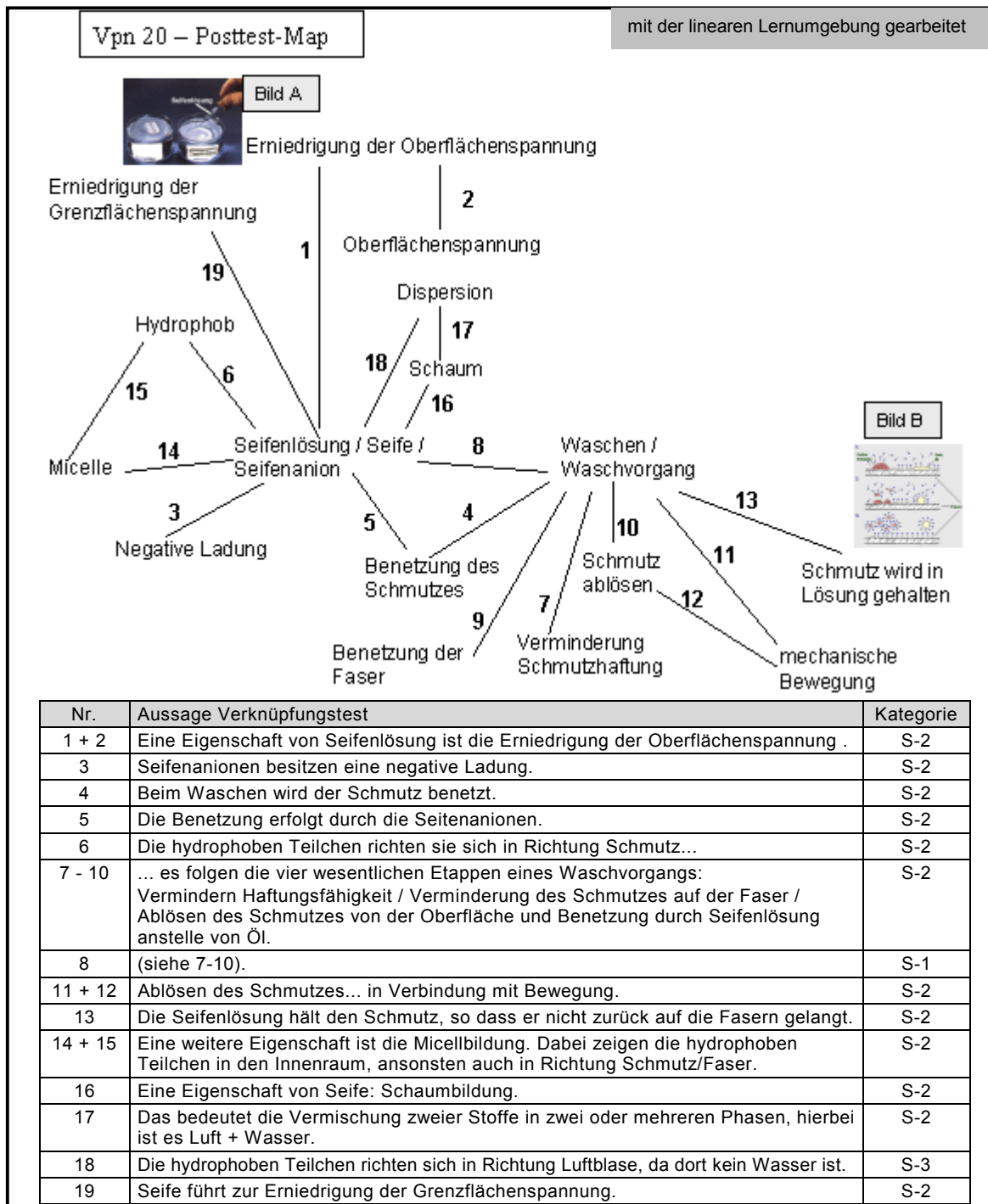


Abb. 8.35: Posttest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 20 und Kategorisierung.

Abbildung 8.36 zeigt das Prätest-Map einer Schülerin (Vpn 24), die aufgrund ihres Prätestergebnisses als Schülerin mit mittlerem Vorwissen eingestuft wird.

Im Gegensatz zu den beiden zuvor beschriebenen Prätest-Maps wird in diesem Map der Bereich des Waschprozesses in den Aussagen 7-10 deutlicher beschrieben. Als zentrale Knoten treten daher auch bereits die Begriffe „Seife / Seifenlösung“ und „Waschen“ in Erscheinung. Die Schülerin beschreibt einzelne Phasen des Waschprozesses; Erklärungen für die Phänomene fehlen jedoch. Der Themenbereich „Grenzflächen- und Oberflächenspannung“ wird nicht erwähnt, daher gelingt die Verknüpfung der beiden Bilder auf fachlicher Ebene nicht.

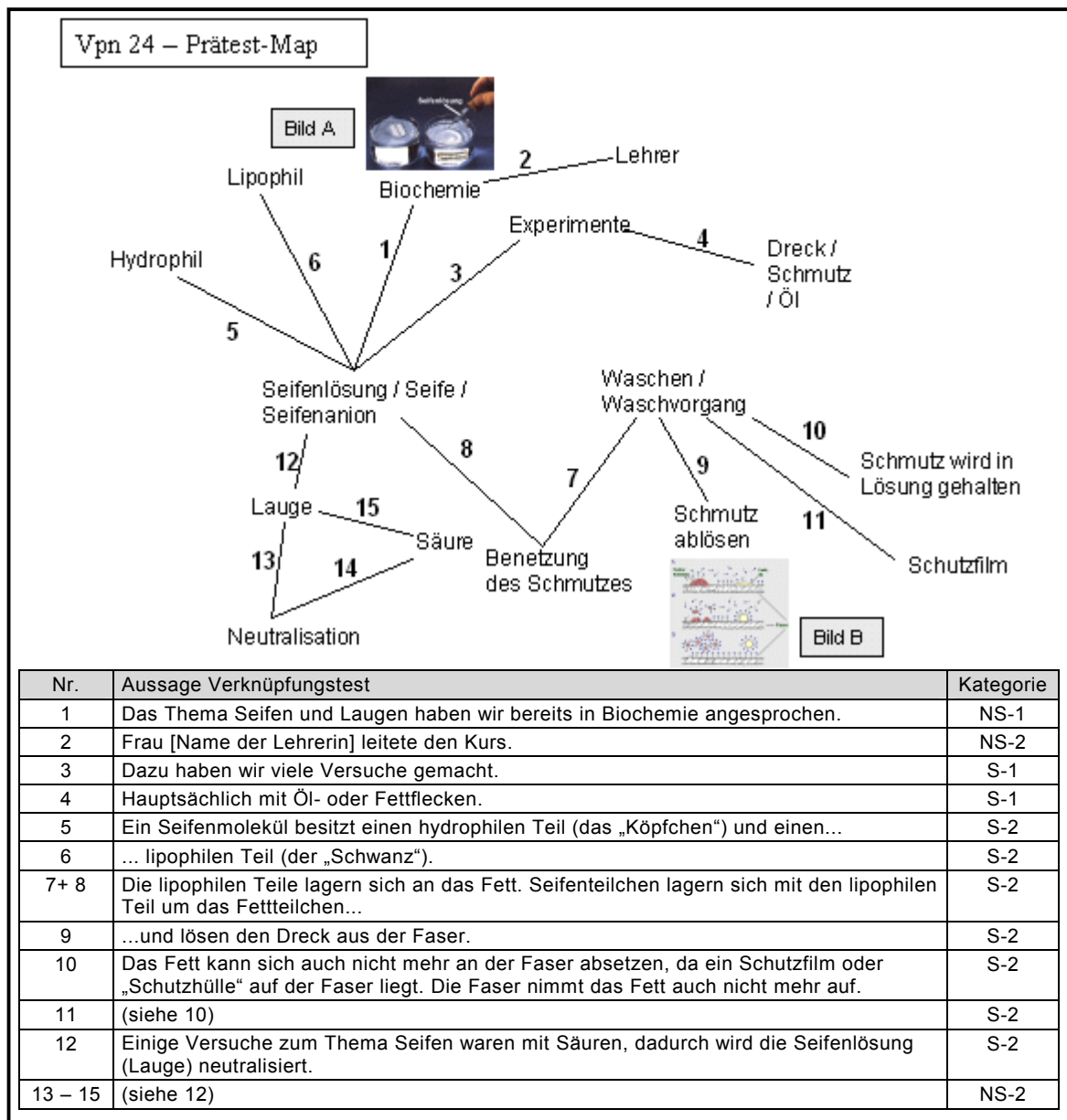


Abb. 8.36: Prätest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 24 und Kategorisierung.

Im Posttest-Map (Abbildung 8.37) beschreibt die Schülerin den Waschprozess noch detaillierter und kann einzelne Phänomene des Waschprozesses auch auf fachlicher Ebene erklären. Der Themenbereich „Eigenschaften von Seifenlösung“ wird jetzt ausführlicher dargestellt, und es gelingt der Schülerin das auf dem Bild A dargestellte Phänomen der Oberflächenspannung fachspezifisch in ihr Map zu integrieren.

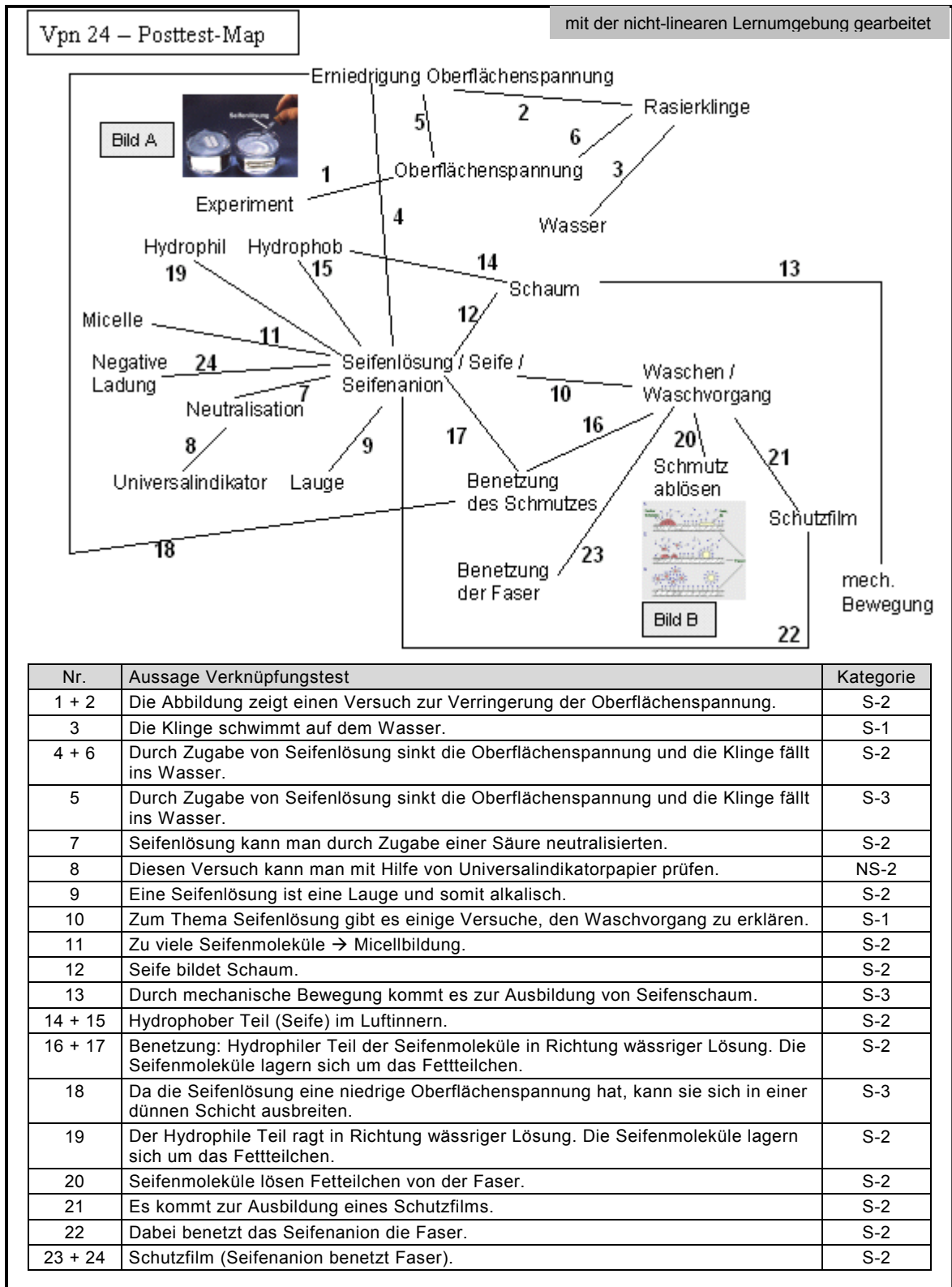


Abb. 8.37: Posttest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 24 und Kategorisierung.

In den Abbildungen 8.38 und 8.39 sind das Prätest- und das Posttest-Map einer Schülerin (Vpn 19) dargestellt, die ebenfalls über ein mittleres Vorwissen verfügt. Die Schülerin besitzt bereits fachliche Vorkenntnisse in den Themenbereichen „Seife/Waschen“ und „Grenzflächenspannung“. Es gelingt ihr allerdings

nicht vollständig, diese beiden Bereiche miteinander zu verknüpfen, so dass zwei Teilnetze (grau schattiert) entstehen.

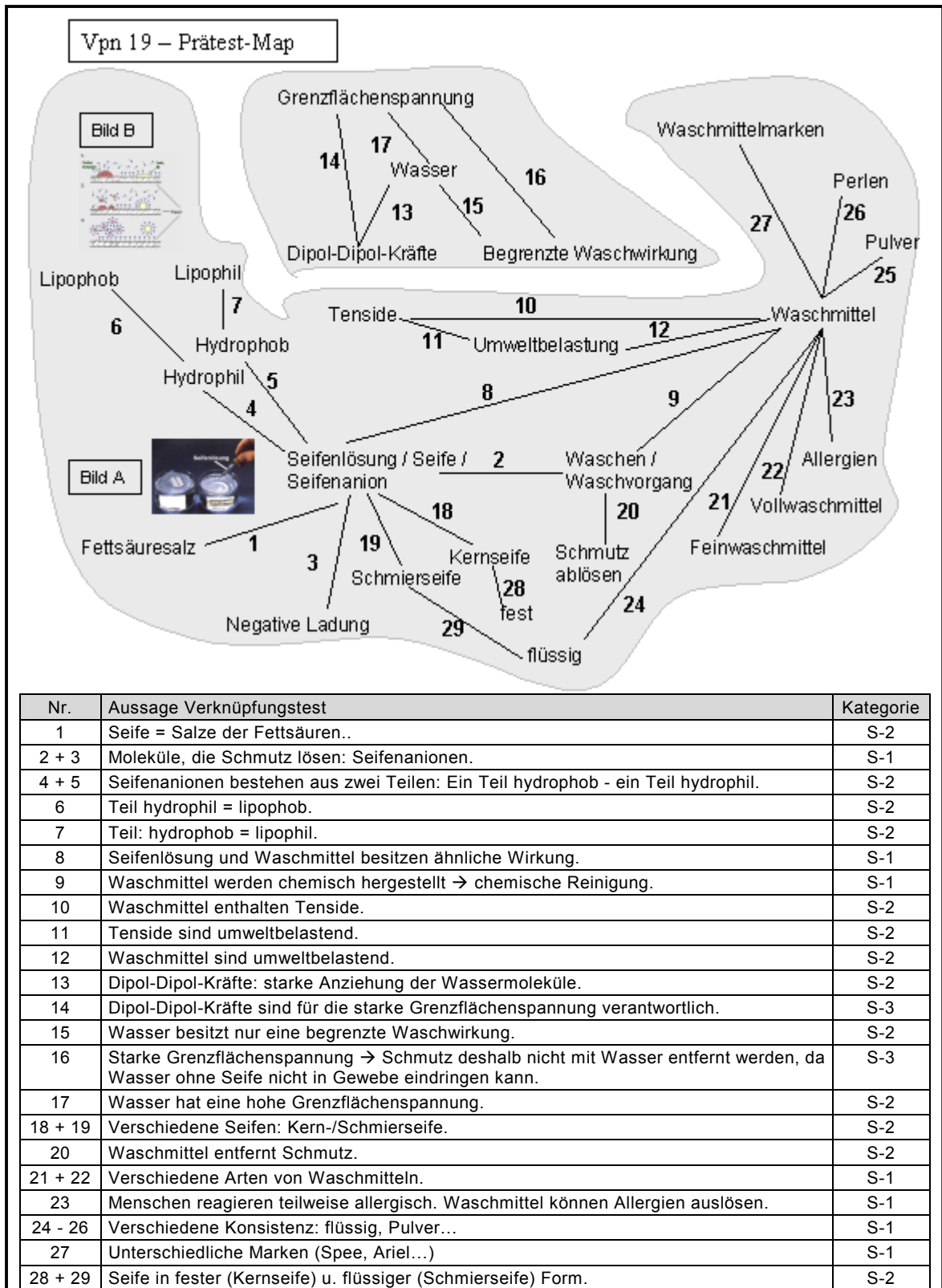


Abb. 8.38: Prätest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 19 und Kategorisierung.

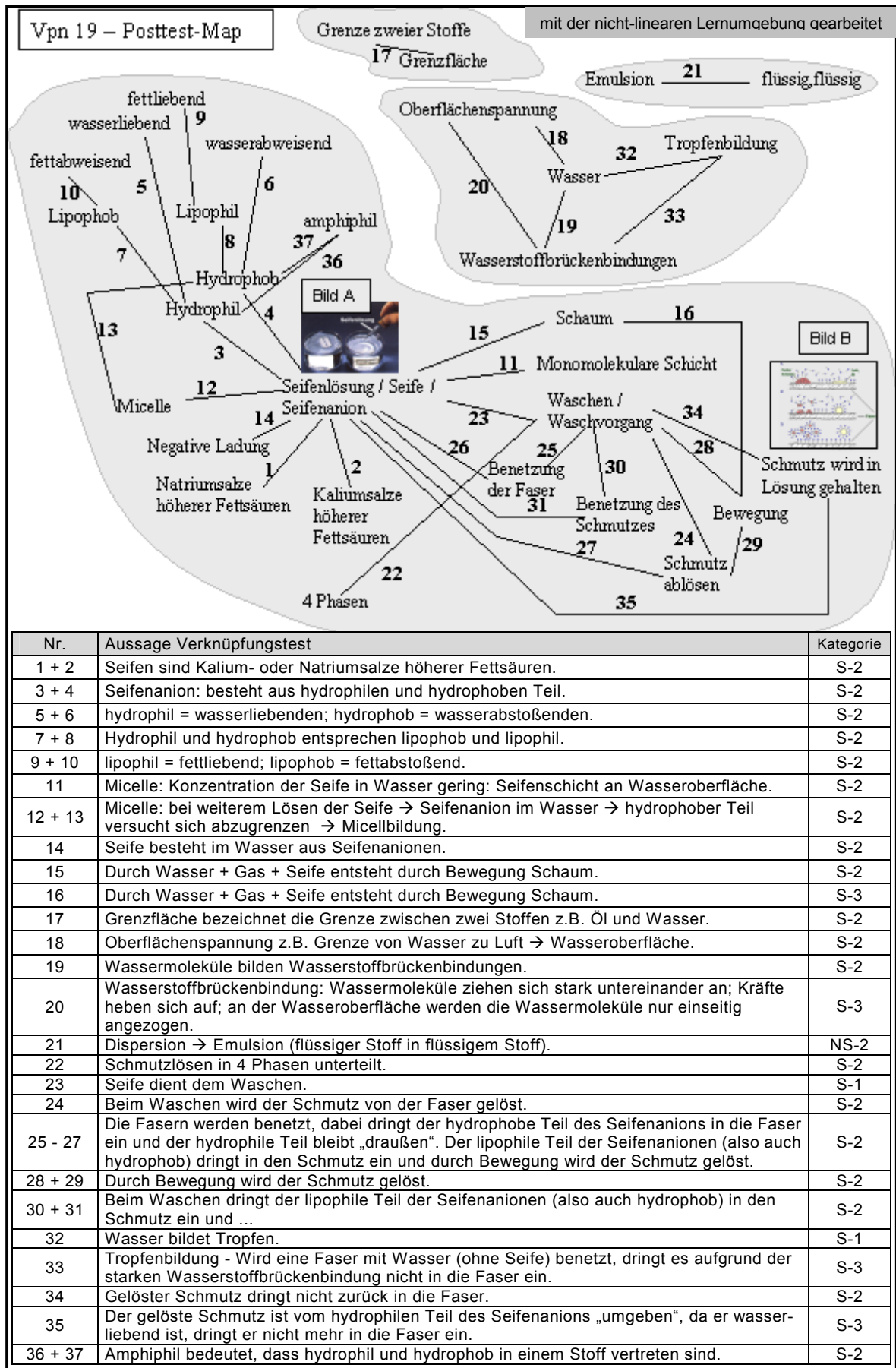


Abb. 8.39: Posttest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 19 und Kategorisierung.

Während die Schülerin (Vpn 19) im Prätest-Map noch häufiger auf der alltagsweltlich / phänomenologischen Ebene (Kategorie S1) beschreibt, sind im Posttest-Map nur zwei der siebenunddreißig Propositionen der Kategorie S1 zuzuordnen. Die Eigenschaften der Seife und die Rolle der Seife im Waschprozess werden sehr umfangreich beschrieben und erklärt. Das Phänomen der hohen Oberflächenspannung des Wassers wird erklärt, die Verbindung zum Waschprozess aber nicht explizit vorgenommen, daher entstehen wieder einzelne Teilnetze bzw. Teilbereiche. Bereits im Prätest-Map ist der Begriff „Seife / Seifenlösung“ ein zentraler Knoten des Maps, der fünf Verknüpfungen bildet, die der Kategorie S2 zuzuordnen sind. Im Posttest-Map gehen von diesem Begriff 11 Verknüpfungen aus, die der Kategorie S2 zuzuordnen sind, und eine Verknüpfung aus der Kategorie S3. Daneben treten mit den Begriffen „hydrophil“, „hydrophob“ und „Waschen“ weitere zentrale Knoten auf, so dass ein stark vernetztes Map entsteht.

8.4.4 Digitale Videoaufzeichnung des Navigationsverlaufs

Der digitale Echtzeit-Videofile erlaubt es, die einzelnen Navigationswege der Schülerinnen und Schüler zu verfolgen und die Aufenthaltsdauer auf einzelnen Seiten zu bestimmen. Die Schülerinnen und Schülern unterscheiden sich deutlich in der Reihenfolge, in der sie auf Seiten zugreifen, in der Aufenthaltsdauer auf bestimmten Seiten und in Bezug auf die Seiten, die sie nicht betrachten. Die Abbildung 8.40 stellt die ersten 35 Navigationsschritte eines Schülers (VpnGE-17) graphisch dar, der mit der linearen Lernumgebung arbeitet. Er benötigt für die 35 Navigationsschritte etwa 13 Minuten. Der gesamte 40minütige Navigationsverlauf eines Schülers oder einer Schülerin ist zu umfangreich, als dass er graphisch übersichtlich präsentiert werden kann.

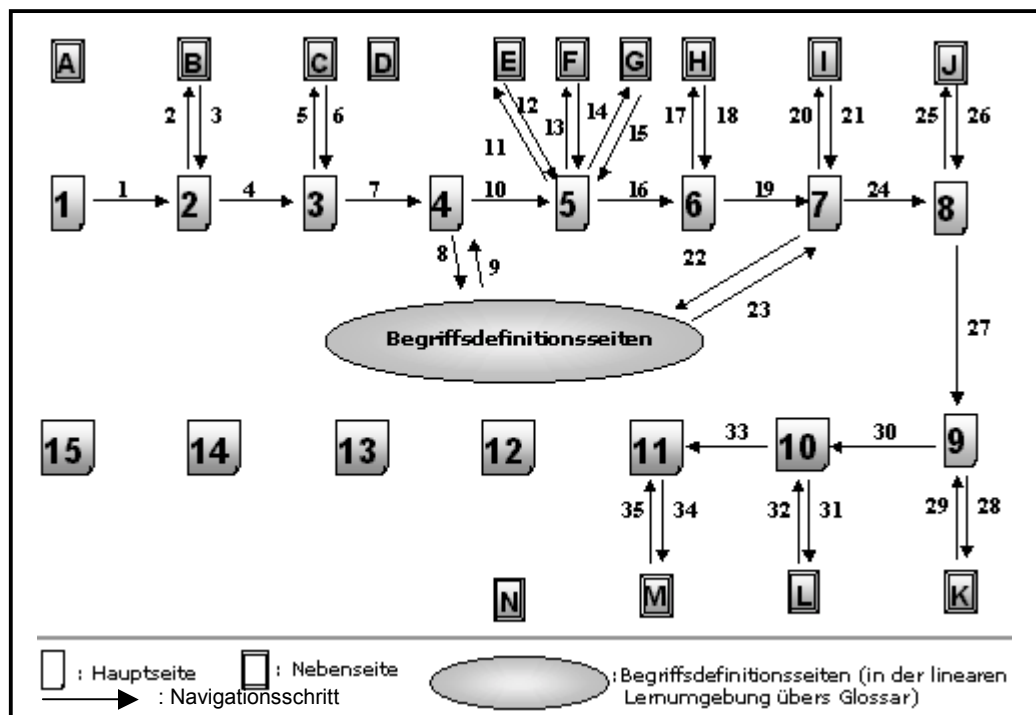


Abb. 8.40: Ausschnitt aus dem Navigationsverlauf eines Schülers, der mit der linearen Lernumgebung arbeitet.

Es wird deutlich, dass der Schüler (VpnGE-17) von Seite 1 bis zu Seite 11 linear navigiert. Er ruft dabei alle graphisch orientierten Nebenseiten mit Ausnahme der Seiten A (Phasengrenzflächen) und D (Phänomene der Oberflächenspannung) auf und navigiert zwei mal ins Glossar um die Begriffsdefinitionsseiten „Adhäsionskräfte“ (Navigationsschritt 8) und „Dynamisches Gleichgewicht“ (Navigationsschritt 22) zu betrachten. Der lineare Navigationsverlauf resultiert z.T. aus der Verknüpfung der Seiten untereinander. Der Schüler bestimmt jedoch, welche Nebenseiten er aufruft, ob er das Glossar nutzt und ob er auf den Hauptseiten vor oder zurück navigiert.

Die Abbildung 8.41 zeigt die ersten 35 Navigationsschritte einer Schülerin (VpnGE-16), die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet. Sie benötigt dafür etwa 14,5 Minuten.

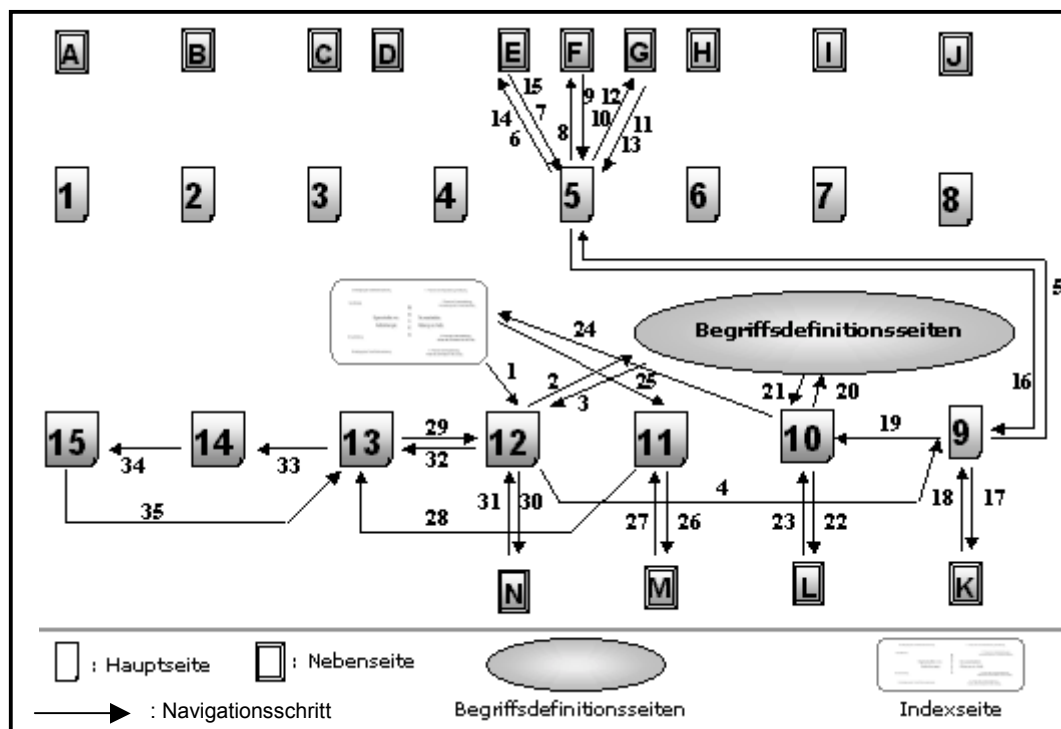


Abb. 8.41: Ausschnitt aus dem Navigationsverlauf einer Schülerin, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet.

Die Schülerin beginnt mit einer Hauptseite zum Thema „Benetzung“ (Hauptseite Nr. 12), ein linearer Navigationsverlauf ist nicht erkennbar. Innerhalb der ersten 35 Navigationsschritte benutzt sie 4 „übergreifende Links“ (Navigationsschritte 4, 5, 33, 34) und ein mal die „Zurück-Funktion“ des Browsers (Navigationsschritt 16). Sie greift auf die beiden Begriffsdefinitionsseiten „Phasen“ (Navigationsschritt 2) und „Adhäsionskräfte“ (Navigationsschritt 20) direkt von der entsprechenden Hauptseite aus zu. In den Abbildungen 8.11 und 8.12 sind die potentiellen Navigationswege in der nicht-linearen Lernumgebung beschrieben.

Der komplette Navigationsverlauf von vier Schülerinnen und Schülern ist in der Tabelle 8.3 exemplarisch dargestellt. Zwei von ihnen (Vpn 2 und Vpn 22) arbeiten mit der linearen Lernumgebung und zwei (Vpn 21 und Vpn 24) mit der nicht-linearen Lernumgebung. Im Anhang in Tabelle 13.11 (S. 148) sind von weiteren drei Schülerinnen und Schülern die Navigationsverläufe, inklusive der

Gesamtzeit, die die Schülerinnen und Schüler einzelne Seiten betrachten, aufgeführt.

Die Schülerin mit der Kennzeichnung VpnGE-2, arbeitet mit der linearen Lernumgebung. Sie navigiert relativ linear von Hauptseite zu Hauptseite, betrachtet zwischenzeitlich einige Nebenseiten, lässt aber auch eine Reihe von Nebenseiten aus (z.B. „Phasengrenzflächen“, „Phänomene der Oberflächenspannung“, „Erniedrigung der Oberflächenspannung“, „Micellbildung“). Von den 14 Nebenseiten betrachtet sie nur 7. Die Schülerin mit der Kennzeichnung VpnGE-22 betrachtet dagegen 13 der 14 Nebenseiten. Während VpnGE-2 insgesamt 5 Begriffsdefinitionsseiten aufruft, navigiert VpnGE-22 zu 11 Begriffsdefinitionsseiten und ruft 5 von ihnen sogar zweimal auf. Die Gründe für das unterschiedliche Navigationsverhalten können mit der angewandten Methodik nicht erfasst werden. Die Ergebnisse der Pilotstudie lassen jedoch vermuten, dass die Begriffsdefinitionsseiten hauptsächlich aufgerufen werden, weil die Lernenden den erläuterten Begriff nicht kennen, oder weil sie sich unsicher sind, ob ihr Begriffsverständnis identisch mit dem dargestellten Fachwissen ist. Gründe für das Aufrufen der Nebenseiten sind häufig, dass die Lernenden sich die Thematik mittels einer Graphik verständlich machen wollen und die Graphiken als willkommene Abwechslung zum Text sehen. Ein Vergleich der Navigationsverläufe von VpnGE-2 und VpnGE-22 zeigt, dass VpnGE-22 in den 103 Navigationsschritten von der ersten Hauptseite „Grenzfläche / Grenzflächenspannung“ bis zur letzten Hauptseite „4. Phase: Schmutzhaltung in der Lösung“ gradlinig navigiert. VpnGE-2 navigiert dagegen erst gradlinig bis zur Hauptseite „Schaumbildung“ (Navigationsschritt 27), navigiert dann, nachdem sie im Glossar den Begriff „Dispersion“ aufgerufen hat, in den Schritten 31 bis 43 mehrfach zurück und wieder vorwärts. Ein ähnliches Navigationsverhalten ist ab dem Navigationsschritt 57 (Seite: „1. Phase: Benetzung“) zu erkennen. Hier navigiert die Schülerin zurück bis zur ersten Hauptseite, dann wieder vorwärts bis zur Seite „1. Phase Benetzung“, um sich dann die letzten drei Seiten zum Waschprozess anzuschauen. Warum VpnGE-2 im Posttest nicht besser abschneidet als im Prätest (vgl. Abb. 8.29; S.99), ist aus dem Navigationsverlauf direkt nicht ersichtlich. Mögliche Gründe könnten sein, dass die Schülerin trotz Wissensdefiziten bestimmte Begriffsdefinitionsseiten nicht aufruft und auch nur wenige Graphiken zur Erläuterung der Thematik nutzt. Ein Vergleich der beiden Schülerinnen (VpnGE-2 und VpnGE-22), die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, mit dem Schüler (VpnGE-21) und der Schülerin (VpnGE-24), die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, verdeutlicht das nicht-lineare Navigationsverhalten von VpnGE-21 und VpnGE-24. Während bei VpnGE-24 noch ein gewisses bereichsspezifisches Navigieren erkennbar ist (die Schülerin ruft zunächst Seiten aus dem Themenbereich „Waschprozess“ auf, dann Seiten zu „Grenzflächen- und Oberflächenspannung“, zu „Seifeneigenschaften“ und zuletzt wieder zu „Grenzflächen- und Oberflächenspannung“), „springt“ der Schüler mit der Kennzeichnung VpnGE-21 ständig zwischen den Themenbereichen hin und her. Beide verzeichnen im Posttest einen deutlichen Lernzuwachs. Auffallend bei VpnGE-24 ist noch, dass sie nur 47 Navigationsschritte tätigt und dabei nur 5 der 14 Nebenseiten aufruft und 3 Hauptseiten („Grenzfläche / Grenzflächenspannung“, „Erniedrigung der Grenzflächenspannung“ (2) und „Die waschaktive Wirkung von Seife“) nicht aufruft. Betrachtet man das Posttest-Map der Schülerin (Abb. 8.37; S. 108), zeigt sich dann auch, dass die Thematik „Oberflächenspannung / Grenzflächenspannung“ zwar erwähnt, aber

nicht ausgeprägt erörtert wird und im Umfang deutlich hinter den anderen Themenbereichen zurückliegt. Ein Vergleich der in Tabelle 8.3 und im Anhang in Tabelle 13.11 (S. 148) dargestellten Navigationsverläufe zeigt, dass bestimmte Begriffsdefinitionsseiten von fast allen Schülerinnen und Schülern frequentiert werden. Dazu gehören „Dispersion“, „Dynamisches Gleichgewicht“, „Van-der-Waals-Kräfte“ und „Wasserstoffbrückenbindung“. Bei diesen Begriffen scheint ein hoher Informationsbedarf zu bestehen. Die Begriffsdefinitionsseiten zu den Begriffen „Fette“, „Polarität“ und „Elektronegativität“ werden dagegen nur von wenigen Schülerinnen und Schülern aufgerufen. Das „Nichtaufrufen“ bestimmter Begriffsdefinitionsseiten lässt jedoch keinerlei Rückschlüsse auf das Wissen der Schülerinnen und Schüler zu dem jeweiligen Begriff zu. In der Pilotstudie zeigte sich, dass Begriffsdefinitionsseiten auch deshalb nicht aufgerufen werden, weil die Lernenden denken, sie hätten den Begriff bereits richtig verstanden oder weil ihnen in der momentanen Situation eine Erläuterung des Begriffes nicht wichtig erscheint.

Die Analyse der Navigationsverläufe aller Schülerinnen und Schüler ergibt, dass sich die zwölf Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, im Navigationsverlauf - bedingt durch die Navigationseinschränkungen - wesentlich ähnlicher sind als die zwölf Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten. Bei den Schülerinnen und Schülern, die in der linearen Lernumgebung navigieren, kann die von TERGAN (1995) als „*Folgen von Pfaden*“ bezeichnete Navigationsform erkannt werden; dabei navigiert der Benutzer entlang einer vorgegebenen, linearen Abfolge von Knoten. Insgesamt gesehen greifen die Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, etwas häufiger auf die Begriffsdefinitionsseiten zu; dies schließt nicht aus, dass einzelne Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, mehr Begriffsdefinitionsseiten frequentieren als Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten. Folgende Parameter differieren von Lerner zu Lerner, unabhängig von der Lernumgebung, zum Teil erheblich:

- die Anzahl der Navigationsschritte, die insgesamt in den etwa 40 Minuten getätigt werden;
- die Zeit, mit der einzelne Seiten betrachtet werden;
- die Seiten, die nicht aufgerufen werden.

	VpnGE-2 * ¹	VpnGE-22 * ¹	VpnGE-21 * ²	VpnGE-24 * ²
Startseite	1	1	1	1
INDEX * ²			2, 21, 32, 43, 54, 58, 62, 64, 68, 73, 81, 87	2, 13, 15, 21, 39, 47 [ENDE]
Grenzfläche / Grenzflächenspannung	2, 68	2, 6, 10, 12, 14, 18	24, 26, 28	
Phasengrenzflächen		11	25	
Oberflächenspannung (1)	3, 5, 67, 69	13, 19, 21	11, 13, 15, 17, 19, 27	41
Oberflächenspannung des Wassers	4	20	12, 18	
Oberflächenspannung (2)	6, 8, 66, 70	22, 24, 26	14, 16,	42, 46
Tropfenbildung	7	23		
Phänomene der Oberflächenspannung		25		43
Eigenschaften von Seifenlösungen	9, 13, 42, 65, 71	27	3, 5, 22, 32, 55	14
Erniedrigung der Oberflächenspannung des Wassers	14, 16, 18, 33, 41, 43, 64, 72	28, 30, 34, 36	6, 8, 10, 20, 82, 84, 86, 88	16, 18, 20
Ausbildung einer monomolekularen Seifenschicht	15	29	83	17
Anordnung von Seifenanionen an der Wasseroberfläche	17		7, 85	
Erniedrigung der Oberflächenspannung		35	9	
Micellbildung (1)	19, 21, 32, 34, 40, 63, 73	37, 41, 43	33, 35, 59, 61, 89	22, 24, 26, 32
Micellbildung	20	42	34,	23
Micellbildung (2)	22, 26, 31, 35, 39, 41, 62, 74	44, 48, 50	90, 92 [ENDE]	27, 29, 31, 33
Anordnung von Seifenmolekülen an der Wasseroberfläche und im Wasser		49	91	28, 30
Schaumbildung	27, 30, 36, 38, 42, 61, 75	60, 64, 66	36, 38, 40, 42, 63	34, 36, 38
Bildung von Seifenschaum		65	39, 41	37
Erniedrigung Grenzflächenspannung (1)	37, 43, 60, 76	67, 69	23, 29, 31, 65, 67	40
Erniedrigung der Grenzflächenspannung Wasser-Öl		68	30,	
Erniedrigung Grenzflächenspannung (2)	44, 47, 49, 59, 77	70, 74, 76		
Benetzung wasserabweisender Textilien		75		
Die waschaktive Wirkung von Seife	48, 50, 52, 54, 58, 78	77, 79	4, 47, 49, 56, 74	
Phasen der Schmutzablösung	51, 53	78	48, 57	
1. Phase: Benetzung	55, 57, 79	80, 82	44, 46, 50, 69, 71, 75	3
Versuch zur Benetzung	56	81	45	
2. Phase: Verminderung Schmutzhaftung	80, 84	83, 103 [ENDE]	51, 72, 76, 78	4, 10
3. Phase: Schmutzablösung von der Faser	85	84, 102	52, 77, 79	11
4. Phase: Schmutzhalt in der Lösung	86 [ENDE]	85, 101	53, 80	12
GLOSSAR * ¹	10, 12, 23, 25, 28, 45, 81, 83	3, 5, 7, 9, 15, 17, 31, 33, 38, 40, 45, 47, 61, 63, 71, 73, 86, 88, 90, 92, 94, 96, 100		
Begriffsdefinitionsseiten				
Adhäsionskräfte	46	72		
Dipolmolekül				
Dispersion	29	62, 95	37	35
Dynamisches Gleichgewicht	24	46		27
Elektronegativität				
Ester				7
Fette				
Fettsäuren		97, 99		6, 8
Fettsäuren Beispiele		98		
Hydrophil / Lipophob	11	32, 89		
Hydrophob / Lipophil		87		
Phasen		8	70	
Polarität				
Seife / Seifenanion			66	5, 9
Tenside		4, 91		
Van-der-Waals-Kräfte		39	60	25
Wasserstoffbrückenbindung	82	16, 93	87	19

Tab. 8.3: Navigationsverlauf lineare *¹ und nicht-lineare*² Lernumgebung (grau: Hauptseiten).

9. Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Hypertext- und Hypermediasysteme werden insbesondere aufgrund des expandierenden World Wide Web immer häufiger als Lehr- und Lernsysteme eingesetzt. In den kommenden Jahren wird sich dieser Trend weiter fortsetzen. Der Einzug von Hypertext- und Hypermedia-Lernumgebungen in den Schulalltag hat bereits begonnen. Für einen effektiven Einsatz derartiger Lernumgebungen in den Schulunterricht ist - gerade im Hinblick auf das vielfach geforderte entdeckende und aktiv konstruierende Lernen - ein fundiertes Wissen über die Vor- und Nachteile solcher Medien und über ihre potentiellen Einsatzmöglichkeiten unerlässlich. Dies schließt Erkenntnisse darüber ein, welche zielgruppenabhängigen Parameter bei der Konzeption von Lernumgebungen zu berücksichtigen sind. Als ein entscheidender Parameter wird der Grad der Vernetztheit von Lernumgebungen diskutiert. Die lineare oder nicht-lineare (vernetzte) Organisationsstruktur der Lernumgebungen kann, in Abhängigkeit vom Vorwissen der Anwender, den Lernerfolg beeinflussen. JONASSEN & GRABINGER (1990) MEYERHOFF (1993) und GERDES (1997) präferieren für Lerner mit niedrigem Vorwissen lineare Lernumgebungen. Als plausiblen Grund führen sie an, dass Lernende nur mit einem ausreichend inhaltlichen Vorwissen sinnvoll entscheiden können, wann sie welche Inhalte aufrufen, oder nicht aufrufen. GERDES (1997) konnte belegen, dass vernetzte Hypertextsysteme nur bei Lernern mit hohem Vorwissen Vorteile gegenüber linearen Lernumgebungen bieten. In ihrer Studie konnte sie darüber hinaus nachweisen, dass Lernende mit niedrigem Vorwissen von linearen Lernumgebungen stärker profitieren als von nicht-linearen Lernumgebungen. Sollte sich dies als generelles Merkmal nicht-linearer Lernumgebungen herausstellen, so ist dies bei der Internetnutzung im Schulunterricht und bei der Konzeption von Hypertext- und Hypermediasystemen zu berücksichtigen. Die Gegenhypothese könnte lauten, dass durch geeignete Lernhilfen, wie z.B. spezifische Aufgabenstellungen (SCHNOTZ & ZINK 1997), durch ein schlüssiges Design der Lernumgebung und durch Kurz-Coachings zur Einführung in die Lernumgebung, der Wissenserwerb mit nicht-linearen Hypertextsystemen auch bei Lernern mit niedrigem Vorwissen zumindest genauso effektiv gestaltet werden kann wie der Wissenserwerb mit linearen Lernumgebungen. Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, zu ermitteln, ob vernetzte Hypertextsysteme auch bei Lernern mit niedrigem Vorwissen den Wissensaufbau und damit den Lernerfolg unterstützen können. Zu diesem Zweck sind für den Chemieunterricht zwei inhaltlich identische Lernumgebungen entwickelt worden. Die Organisationsstruktur der einen Lernumgebung ist linear, die der anderen nicht-linear.

Mit einer Pilotstudie, an der acht Erstsemesterstudierende und fünf Experten beteiligt sind, werden verschiedene Ziele verfolgt:

- Erprobung und Optimierung der Lernumgebungen;
- Erprobung und Optimierung verschiedener Testinstrumentarien wie Fragebogen, Own-Word-Mapping (spezielles Mapping-Verfahren), Leistungstest und der Methode des Lauten Denkens. Mit dem Fragebogen werden die Vorerfahrungen der Lernenden im Computerbereich und ihre Einstellung gegenüber Lernsoftware ermittelt. Own Word Map und Leistungstests dienen der Erhebung des Vorwissens und des Lernerfolgs.

Die Methode des Lauten Denkens soll Aufschluss über die Intentionen für das Navigationsverhalten der Lernenden geben;

- Ermittlung erster Hinweise darauf, welche Faktoren das Navigationsverhalten bestimmen und welche Faktoren das Antwortverhalten der Lernenden in den Posttests bestimmen.

Der personenspezifische Vergleich von Leistungstest und Own Word Map zeigt hohe Übereinstimmungen in den Ergebnissen. Die ermittelten Wissenszuwächse sind insgesamt gesehen als eher gering zu bewerten und differieren von Versuchsperson zu Versuchsperson relativ stark. Äußerungen der Versuchspersonen lassen darauf schließen, dass mögliche Ursachen für den geringen Lernzuwachs in der Überbelastung der Versuchspersonen durch das Testinstrumentarium (Leistungstest und Own Word Map) und in der als störend empfundenen Methode des Lauten Denkens zu sehen sind. Ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Vorwissen der Versuchspersonen und dem aus der Lernumgebungsanwendung resultierenden Lernerfolg ist nicht zu erkennen. Ein auf die beiden Lernumgebungen bezogener Vergleich zeigt, dass die Versuchspersonen, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, tendenziell besser abschneiden als die Versuchspersonen, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten. Die Analyse des Navigationsverlaufs ergibt, dass Versuchspersonen, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten in der Regel trotzdem eher linear navigieren. Ein Grund dafür könnte das durch die Schulsozialisation gewohnte lineare Erarbeiten von Textinhalten sein. Ein weiterer Grund könnte sein, dass es weniger anstrengend ist, einen vorgegebenen linearen Strang zu verfolgen, als zu reflektieren, welcher Schritt als nächstes sinnvoll ist. Unabhängig von der Lernumgebung unterscheiden sich die Versuchspersonen in der Anzahl der insgesamt aufgerufenen Seiten und der Aufenthaltsdauer auf einzelnen Seiten. Als Motive für die Navigation zu bestimmten Seiten werden am häufigsten „Interesse“ und „Verständnisschwierigkeiten“ geäußert.

Die Hauptstudie wird mit 38 Schülerinnen und Schülern an zwei Gymnasien durchgeführt. Sie soll Aufschluss darüber geben, inwiefern beim Arbeiten mit linearen und nicht-linearen Lernumgebungen der Lernerfolg vom Vorwissen der Schülerinnen und Schüler abhängt. Der Forschungsschwerpunkt wird dabei auf Schülerinnen und Schüler gelegt, die nur über ein geringes themenspezifisches Vorwissen verfügen. Die Thematik (Wirkungsweise von Seife) und die Jahrgangsstufe (11.2) werden so gewählt, dass mit einem eher geringen themenspezifischen Vorwissen zu rechnen ist. Um das Vorwissen und den Lernerfolg zu ermitteln, werden an einem Gymnasium (Oberhausen; 14 Schülerinnen und Schüler) ein Leistungstest und an dem anderen Gymnasium (Gelsenkirchen; 24 Schülerinnen und Schüler) das Own Word Map-Verfahren durchgeführt. Beide Verfahren haben sich in der Pilotstudie als vielversprechende Testmethoden erwiesen. Die Hypertextseiten der Lernumgebungen der Pilotstudie werden im Umfang so reduziert, dass die Inhalte in etwa 45 Minuten erarbeitet werden können. Die Hypertextseiten der nicht-linearen Lernumgebung werden wesentlich stärker als in der Lernumgebung der Pilotstudie miteinander vernetzt und lineare Navigationsverläufe partiell unterbunden, so dass die Schülerinnen und Schüler teilweise gezwungen sind über den Navigationsverlauf zu reflektieren.

Die 14 Schülerinnen und Schüler des Oberhausener Gymnasiums verfügen alle über ein themenspezifisch geringes Vorwissen. Die Analyse der Prätest- und Posttestergebnisse führt zu folgenden Resultaten:

- der Lernerfolg ist für alle Schülerinnen und Schüler gemessen an der Informationsfülle, der Komplexität der Thematik und der Lerndauer als gut bis sehr gut zu bewerten;
- die Ergebnisse differieren von Lerner zu Lerner zum Teil deutlich;
- der Lernerfolg korreliert nicht mit dem Vorwissen, wobei das Vorwissen aller Schülerinnen und Schüler als niedrig zu bewerten ist;
- Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, schneiden im Posttest tendenziell besser ab als Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten. Diese Tendenz bezieht sich auf die Aufgaben, die aufgrund der Resultate des Prätests als „schwere Aufgaben“ deklariert wurden. Bei den Aufgaben mit mittlerem Schwierigkeitsgrad unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht voneinander. Die ermittelten Ergebnisse sind jedoch nicht signifikant.

Von den 24 Schülerinnen und Schüler des Gelsenkirchener Gymnasiums verfügen 14 über ein als niedrig einzustufendes themenspezifisches Vorwissen und 10 Schülerinnen und Schüler über ein „mittleres“ Vorwissen. Die Analyse der Prätest- und Posttest-Own Word Maps der Schülerinnen und Schüler mit niedrigem Vorwissen führt zu folgenden Ergebnissen:

- die Schülerinnen und Schüler beschreiben und erklären innerhalb der Seifenthematik im Posttest-Map wesentlich häufiger auf fachlicher Ebene als im Prätest-Map. Die Lernerfolge der einzelnen Schülerinnen und Schüler sind hauptsächlich als gut bis sehr gut einzustufen;
- die Lernerfolge der Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, sind signifikant größer als die Lernerfolge der Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten.

Die Analyse der Prätest- und Posttest-Own Word Maps der Schülerinnen und Schüler mit „mittlerem“ Vorwissen führt zu folgenden Ergebnissen:

- die Lernerfolge der Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, sind signifikant größer als die Lernerfolge der Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten;
- bei zwei der fünf Schülerinnen und Schüler, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, ist kein Lernzuwachs nachzuweisen.

In den Posttest-Maps der Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, sind zentrale fachspezifische Begriffe stärker vernetzt dargestellt als bei Schülerinnen und Schülern, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten.

Die Lernerfolge der Schülerinnen und Schüler, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten, erweisen sich gegenüber den Lernerfolgen der Schülerinnen und Schülern, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, beim Own Word Mapping als signifikant besser. Dieses Resultat ist bei dem Leistungstest nur als Tendenz erkennbar. Der Grund für die Differenzen zwischen den beiden

Testverfahren könnte der sein, dass durch Mapping-Verfahren andere Ebenen des Verständnisses angesprochen werden können als durch konventionelle Leistungstests (vgl. SCHECKER & KLIEME 2000).

Die Ursache für das schlechte Abschneiden von Schülerinnen und Schülern mit mittlerem fachspezifischen Vorwissen, die mit der linearen Lernumgebung arbeiten, ist eventuell in Motivationsverlusten aufgrund der „Bevormundung“ durch die Lernumgebung zu sehen.

Warum Schülerinnen und Schülern mit niedrigem Vorwissen mit nicht-linearen Lernumgebungen größere Lernerfolge erzielen als mit linearen Lernumgebungen, ist aufgrund des logischen Zusammenhangs zwischen sinnvollen Navigationsentscheidungen und hohem Vorwissen, nicht einfach nachzuvollziehen.

Denkbare Gründe dafür sind:

- das Erlebnis der eigenen Einflussnahme auf den Lernweg stimuliert die Lerner motivation und damit den Lernerfolg (vgl. ASTLEITNER et al 1998). Dies würde damit übereinstimmen, dass der Lernerfolg bei leistungsmotivierten Lernern größer ist, wenn sie den Lernprozess selbst steuern können als wenn dieser fremdgesteuert ist (vgl. SCHMITZ 1998);
- es gibt kaum Themenfelder, bei denen der Lerner über keinerlei themenspezifische Kenntnisse verfügt. Bereits ein niedriges Vorwissen könnte ausreichen, um zielgerichtet und erfolgreich zu navigieren;
- während die Schülerinnen und Schüler mit der Lernumgebung arbeiten, steigt das themenspezifische Wissen, und damit die Kompetenz sinnvolle Navigationsentscheidungen zu treffen.

Als Quintessenz der Studie kann festgehalten werden, dass nicht-lineare Lernumgebungen auch bei Lernern mit niedrigem Vorwissen den Wissensaufbau und damit den Lernerfolg unterstützen können. Bei geeigneter Konzeption und in geeignetem Rahmen kann dabei der Lernerfolg mit einer nicht-linearen Lernumgebung signifikant besser ausfallen als mit einer linearen Lernumgebung. Die Ergebnisse der Studie sollten nicht so ausgelegt werden, dass generell beim Arbeiten mit nicht-linearen Lernumgebungen ein größerer Wissenszuwachs zu erwarten ist als von linearen Lernumgebungen.

Hypertext- und Hypermediasysteme als Lernumgebungen werden im zukünftigen Chemieunterricht einen immer größeren Stellenwert einnehmen. Damit der Einsatz dieser Systeme möglichst effektiv und erfolgreich verläuft, sind weitere Untersuchungen notwendig. Dies bezieht sich sowohl auf die konzeptionelle Gestaltung von Lernumgebungen, als auch auf potentielle Einsatzmöglichkeiten im Unterrichtskontext. Im chemiespezifischen Bereich ist dabei insbesondere an die Visualisierung submikroskopischer Prozesse durch entsprechende Animationen und Simulationen und an mögliche interaktive Ersatzformen für gefährliche oder zu kostenintensive Experimente zu denken.

10. Literaturverzeichnis

- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Astleitner, H. / Leutner, D. (1994). Computer in Unterricht und Ausbildung: Neue Anforderungen an Lehrer und Trainer? *Zeitschrift für Pädagogik* 40 (4); S. 647-664.
- Astleitner, H. / Saams, J. / Thonhauser, J. (1998). *Womit werden wir in Zukunft lernen?* Wien: ÖBV Pädagogischer Verlag.
- Ayersman, D. J. (1996). Reviewing the research on hypermedia-based Learning. *Journal of Research Computing in Education* 28 (4); pp. 500-525.
- Ayersman, D. J. / Reed, W. M. (1998). Relationships Among Hypermedia-Based Mental Models and Hypermedia Knowledge. *Journal of Research on Computing in Education* 30 (3); pp. 222-238.
- Bahnemann, R. (1982). Seife - eine didaktische Skizze. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 30 (2); S. 58-64.
- Beeman, W. O. (1989). Hypertext and pluralism. From lineal to non-lineal thinking. In: *Acm (Association for Computing Machinery), Hypertext , 87 Proceedings*. New York: Acm.; pp. 67-88.
- Behler, G. (2000). Erfolgsgeschichte Internet. URL: http://www.mswwf.nrw.de/miak/presse/mwfpres_lang.php3?kennung=251 [Stand 2000-12-05].
- Bernstein, M. (1991). The Navigation Problem Reconsidered. In: Berk, E. / Devlin, J. (Eds.). *Hypertext / Hypermedia Handbook*. New York: Intertext Publications / Multiscience Press; pp. 285-297.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: where we are today. *International Journal of Educational Research* 31; pp. 445-457. (Internetversion verfügbar)
- Böhle, K. / Riehm, U. / Wingert, B. (1997). *Vom allmählichen Verfertigen elektronischer Bücher - ein Erfahrungsbericht*. Frankfurt a.M.: Campus Verlag.
- Brünken, R. / Leutner, S. (2000). Neue Medien als Gegenstand empirischer pädagogischer Analyse: Stand der Forschung und Perspektiven. In: Leutner, D. / Brünken, R. (Hrsg.). *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung - Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung*. Münster: Waxmann; S. 7-16.
- Bruns, B. / Gajewski, P. (1999). *Multimediales Lernen im Netz - Leitfaden für Entscheider und Planer*. Berlin: Springer.
- Bulmahn, E. (2000). Bundesministerin für Bildung und Forschung. „Lehren und Lernen in Zeiten des Internet“. Eröffnungsrede zur LEARNTEC 2000 in Karlsruhe. URL: <ftp://ftp.bmbf.de/0208karl.pdf> [Stand 2000-12-05].
- Bush, V. (1945). As we May Think. Reprinted from the *Atlantic Monthly*, Vol. 176, No.1 (1945); pp. 641-649. In: Nyce, J. M. / Kahn, P. (Eds.). (1991). *From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine*. San Diego: Academic Press; pp. 85-107.
siehe auch
Bush, V. (1945). As we May Think. URL: <http://www.isg.sfu.ca/~duchier/misc/vbush/vbush.shtml> [Stand 2000-12-05].
- Cates, W. M. (1992). Fifteen Principles for Designing More Effective Instructional Hypermedia/Multimedia Products. *Educational Technology*, December 1992; pp. 5-11.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42 (2); pp. 21-30.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20 (1); pp. 37-46.

- Cohen, J. (1968). Weighted Kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin* 70 (4); pp. 213-220.
- Conklin, J. (1987). Hypertext: an introduction and survey. *IEEE Computer Magazine*, 20 (9); pp. 17-41.
- Deffner, G. (1984). *Lautes Denken – Untersuchung zur Qualität eines Datenerhebungsverfahrens*. Frankfurt a. M.: Lang.
- Dias, P. / Gomes, M. J. / Correia, A. P. (1999). Disorientation in hypermedia environments: mechanism to support navigation. *Journal of Educational Computing Research* Vol. 20 (2); pp. 93-117.
- Dietrich, V. (1994). Methodische und fachliche Aspekte der Behandlung von Seifen und Waschmitteln - Teil 1: Eigenschaften von Seifenlösungen. *Chemie in der Schule* 41 (7/8); S. 273-277.
- Dietrich, V. (1996). Zur Behandlung des Themas „Seife und Waschmittel“ im Chemieunterricht der gymnasialen Oberstufe. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 45 (1); S. 17-25.
- Dillon, A. (1996). Myths, Misconceptions, and an Alternative Perspective on Information Usage and the Electronic Medium. In: Rouet, J.-F. / Levonen, J. J., / Dillon, A. / Spiro, R. J. (Eds.). *Hypertext and Cognition*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass.; pp. 25–42.
- Dunlap, J. C. / Grabinger, S. (1996). Nodes and Organization. In: Kommers, P. / Grabinger, S. / Dunlap, J. C. (Eds.). *Hypermedia Learning Environments*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass.; pp.79-88.
- Dunn, R. H. (1993). *Software-Qualität: Konzepte und Pläne*. München: Carl Hanser.
- EducETH. (1999). *Seifen und Waschmittel*.
URL: <http://educeth.ethz.ch/chemie/puzzles/seifen/index.html> [Stand 2000-12-05].
- Edwards, D. M. / Hardman, L. (1993). 'Lost in Hyperspace': cognitive mapping and navigation in a hypertext environment. In: McAleese, R. (Ed). *Hypertext: Theory into Practice*. Oxford: Intellect Books; pp. 90-106.
- Elm, W. / Woods, D. (1985). Getting lost: a case study in interface design. In: *Proceedings of the Human Factors Society 29th Annual Meeting, 1985*; pp. 927-931.
- e-initiative.nrw (2000). URL: <http://www.e-initiative.nrw.de/> [Stand 2000-12-05].
- Eschenhagen, D. / Kattmann, U. / Rodi, D. (1993). *Fachdidaktik Biologie. 2. überarbeitete Auflage*. Köln: Aulis-Deubner.
- Euler, D. (1994). (Multi)Mediales Lernen - Theoretische Fundierungen und Forschungsstand. *Unterrichtswissenschaft* 22 (4), S. 291 – 311.
- Foltz, P. W. (1996). Comprehension, coherence, and strategies in hypertext and linear text. In: Rouet, J.-F. / Levonen, J. J., / Dillon, A. / Spiro, R. J. (Eds.). *Hypertext and Cognition*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass.; pp. 109-136.
- Freisler, S. (1994). Hypertext – eine Begriffsbestimmung. *Deutsche Sprache* 22 (1); S. 19-50.
- Friege, G. / Lind, G. (2000). Begriffsnetze und Expertise. In: Fischler, H. / Peuckert, J. (Hrsg.). *Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie*. Berlin: Logos; S. 147-178.
- Frindte, W. (1999). Internetbasierte Kommunikation als komplexes Management – psychologische Konsequenzen. In: Frindte, W. / Köhler, T. (Hrsg.). *Kommunikation im Internet (Internet communication; Bd. 1)*. Frankfurt a.M.: Lang. S. 51-87.
- Friz, S. (1997). Navigation & Internet. *Multimedia in der Schule. Erfahrungen beim Modellversuch SEMIS*. *Medien praktisch* 21(1); S. 22-28.
- Frühauf, D. / Tegen, H. (Hrsg.). (1993). *Blickpunkt Chemie*. Hannover: Schroedel.
- Gay, G. / Mazur, J. (1991). Navigating in Hypermedia. In: Berk, E. / Devlin, J. (Eds.): *Hypertext / Hypermedia Handbook*. New York: Intertext Publications / Multiscience Press; pp. 271-284.

- Gerdes, H. (1997). Lernen mit Text und Hypertext. Lengerich: Pabst.
- Gloor, P. (1997). Elements of hypermedia design: techniques for navigation and visualization in cyberspace. Boston: Birkhäuser.
- Glowalla, U. (1992a). Das gezielte Wiedererlernen von Wissen mit Hilfe des Hypermedia-Systems MEM. In: Cordes, R. / Streit, N. (Hrsg.). Hypertext und Hypermedia 1992. Berlin: Springer; S. 45-61.
- Glowalla, U. (1992b). Wiedererlernen von Wissen. In: Glowalla, U., Schoop, E. (Hrsg.). Hypertext und Multimedia - Neue Wege in der computerunterstützten Aus- und Weiterbildung. Berlin: Springer; S. 332-351.
- Gräber, W. (1992). EPASoft: Instrument zur Bewertung pädagogischer Software. Computer und Unterricht, 1992/7; S. 60-63.
- Grabinger, S. (1996). Screen Design. In: Kommers, P. A. / Grabinger, S. / Dunlap, J. C. (Eds.). Hypermedia Learning Environments. Mahwah New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass.; pp. 137-156.
- Grabinger, S. / Dunlap, J. C. / (1996). Links. In: Kommers, P. / Grabinger, S. / Dunlap, J. C. (Eds.). Hypermedia Learning Environments. New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass.; pp. 89-114.
- Gräsel, C. et al. (1997). Lernen mit Computernetzen aus konstruktivistischer Perspektive. Unterrichtswissenschaft, 1/1997; S. 4-18.
- Groeben, N. (1982). Leserpsychologie: Textverständnis – Textverständlichkeit. Münster: Aschendorff.
- Großmann, H. (1982a). Die Waschwirkung grenzflächenaktiver Substanzen. Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie, 30 (2); S. 39-43.
- Großmann, H. (1982b). Das Phänomen Oberflächenspannung. Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie, 30 (2); S. 44-47.
- Großmann, I. / Schmidkunz, H. (1982). Schulversuche zur Wirkungsweise und zum Nachweis waschaktiver Substanzen. Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie, 30 (2); S. 64-70.
- Haack, J. (1995). Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia. In: Issing, L. / Klimsa, P. (Hrsg.). Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Beltz; S. 151-166.
- Haake, J. / Hannemann, J. / Thüring, M. (1991). Ein Ansatz zur Organisation von Hyperdokumenten. In: Maurer, H. (Eds.). Hypertext / Hypermedia '91. Berlin: Springer; pp. 119-134.
- Hammond, N. (1992). Tailoring Hypertext for the Learner. In: Kommers, P. / Jonassen, D. H. / Mayes, J. T. (Eds.). Cognitive Tools for Learning. NATO ASI Series F: Computer and System Sciences, Vol. 81. Berlin: Springer; pp. 149-160.
- Hammwöhner, R. (1993). Kognitive Plausibilität: Vom Netz im (Hyper-)Text zum Netz im Kopf. Nachrichten für Dokumentation 44; S. 23-28.
- Hammwöhner, R. (1997). Offene Hypertextsysteme: das Konstanzer Hypertextsystem (KHS) im wissenschaftlichen Kontext; Konstanz: Universitätsverlag Konstanz.
- Harbeck, J. / Sherman, T. M. (1999). Seven Principles for Designing Developmentally Appropriate Web Sites for Young Children. Educational Technology, July-August 1999; pp. 39-44.
- Hasebrook, J. P. (1995). Lernen mit Multimedia. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 9 (2); S. 95-103.
- Häusler, K. (1982). Einfache Schulexperimente zur Waschmittelchemie. Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie 30 (2); S. 73-77.
- Henkel. (Hrsg.). (1994). Heute für morgen – Forschung und Entwicklung bei Henkel. Düsseldorf.

- Heußler, P. / Wolf, H. (1990). Duden Abiturhilfen – Kunststoffe, Farbstoffe, Waschmittel. Mannheim: Duden.
- Hofmann, M. / Simon, L. (1995). Problemlösung Hypertext: Grundlagen, Entwicklung, Anwendung. München: Hanser.
- Huber, E. (1998). Projekt Databroadcast Schulfernsehen – Waschmittel. URL: <http://www.br-online.de/bildung/databrd/chemie3.htm/seifevor.htm> [Stand 2000-12-05].
- Huber, O. (1998). Sprachwissenschaftliche Überlegungen zu Hypertext. URL: <http://www.huberoliver.de/index.html> [Stand 2000-12-05].
- Hucke, L. / Fischer, H.E. (2000). Wissenserwerb und Handlungsregulation im physikalischen Praktikum. In: Fischler, H. / Peuckert, J. (Hrsg.). Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie. Berlin: Logos; S. 57-89.
- Issing, L. J. (1994). "Von der Mediendidaktik zur Multimedia-Didaktik". Unterrichtswissenschaft 22 (3); S. 267-284.
- Jacobson, M.J. & Spiro, R.J. (1994). Hypertext learning environments and epistemic beliefs: a preliminary investigation. In Vosniadou, S. / DeCorte, E. / Mandl H. (Eds.). Technology-based learning environments. Psychological and educational foundations. NATO ASI Series F: Computer and Systems Sciences, Vol. 137. Berlin: Springer; pp. 290-295.
- Jarz, E. M. (1997). Entwicklung multimedialer Systeme - Planung von Lern- und Masseninformati onssystemen. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Jonassen, D.H. (1986). Hypertext Principles for Text and Courseware Design. Educational Psychologist 21 (4); pp. 269 - 292.
- Jonassen, D.H. (1988). Designing structured hypertext and structuring access to hypertext. Educational Technology 28; pp. 13 - 16.
- Jonassen, D. H. (1989). Hypertext / Hypermedia. New Jersey 07632: Educational Technology Publications, Englewood Cliffs.
- Jonassen, D. H. (1991a). Designing Hypertext for Learning. In: Scanlon, E. / O'Shea, T. (Eds.). New Directions in Educational Technology. NATO ASI Series F: Computer and Systems Science Vol.96. Berlin: Springer; pp. 123-130.
- Jonassen, D.H. (1991b). Hypertext as instructional design. Educational Technology 39; pp. 83-92.
- Jonassen, D. H. (1993). Effects of semantically structured hypertext knowledge bases on users' knowledge structures. In: McKnight, A. / Dillon, A. / Richardson, S. (Eds.). Hypertext: a psychological perspective. New York: Ellis Horwood; pp. 153-168.
- Jonassen, D. H. / Grabinger, R. S. (1990). Problems and issues in designing hypertext / hypermedia for learning. In: Jonassen, D. H. / Mandl, H. (Eds.). Designing hypermedia for learning. Berlin: Springer; pp. 3-25.
- Jonassen, D.H. / Wang, S. (1994). The Physics Tutor: Integrating Hypertext and Expert Systems. Journal of Educational Technology Systems 22 (1); pp.19-28.
- Kammerl, R. (2000). Mediendidaktische und medienerzieherische Perspektiven des Lernens mit dem Internet. In: Kammerl, R. (Hrsg.). Computerunterstütztes Lernen. München: Oldenbourg; S. 130-147.
- Kearsley, G. (1988). Authoring Considerations for Hypertext. Educational Technology, November 1988; pp. 21-24.
- Kerres, M. (1998). Multimediale und telemediale Lernumgebungen – Konzeption und Entwicklung; München: Oldenbourg.
- Kintsch, W. (1982). Gedächtnis und Kognition. Berlin: Springer.
- Kintsch, W. (1994). Text Comprehension, Memory, and Learning. American Psychologist 14; pp. 3-14.

- Koring, B. (1997). Lernen und Wissenschaft im Internet – Anleitungen und Reflexionen zu neuen Lern-, Forschungs- und Beratungsstrukturen. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Kozma, R. B. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research* 61; pp. 179 – 211.
- Kuhlen, R. (1991). Hypertext. Ein nicht-lineares Medium zwischen Buch und Wissenschaft. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Kuittinen, M. (1998). Criteria for evaluating CAI applications. *Computers and education* 31; pp. 1-16.
- LSW (Landesinstitut für Schule und Weiterbildung). (Hrsg.). (1994). Interaktive Medien im Unterricht. Gestaltung von Hypermedia - Arbeitsumgebungen: Lernen in Sach- und Sinnzusammenhängen. Soest.
- Landis, J. R. / Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* 33; pp. 159-174.
- Landow, G. P. (1992). Hypertext: the convergence of contemporary critical theory and technology. London: John Hopkins University Press.
- Lynch, P. J. / Horton, S. (1999). Web style guide: basic design principles for creating web sites. New Haven: Yale University Press.
- MacGregor, S. K. (1999). Hypermedia Navigation Profiles: cognitive characteristics and information processing strategies. *Journal of Educational Computing Research* 20 (2); pp. 189-206.
- Mandl, H. (1981). Einige Aspekte zur Psychologie der Textverarbeitung. In: Mandl, H. (Hrsg.). *Zur Psychologie der Textverarbeitung: Ansätze, Befunde, Probleme*. München: Urban & Schwarzenberg; S. 3-37.
- Mandl, H. / Gruber, H. / Renkl, A. (1995). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: Issing, L. / Klimsa, P. (Hrsg.). *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim: Beltz; S. 167 – 178.
- Marchionini, G. (1988). Hypermedia and Learning: Freedom and Chaos. *Educational Technology*, November 1988; pp. 8-20.
- Marchionini, G. (1995). *Information Seeking in Electronic Environments*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: are we asking the right questions? *Educational Psychologist* 32 (1); pp. 1-19.
- McAleese, R. (1989). Navigation and Browsing in Hypertext. In: McAleese, Ray (Ed.). *Hypertext: Theory into Practice*. Oxford: Intellect Books; pp. 6-44.
- McDonald, S. / Stevenson, R.J. (1998). Navigation in hyperspace: An evaluation of the effects of navigation tools and subject matter expertise on browsing and information retrieval in hypertext. *Interacting with Computers* 10; pp. 129-142.
- McKnight, C. / Dillon, A. / Richardson, J. (1991). *Hypertext in Context*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- McKnight, C. / Dillon, A. / Richardson, J. (Eds.). (1993). *Hypertext: a psychological perspective*. New York: Ellis Horwood.
- Meloefski, R. (1996). Seifen und Waschmittel - Behandlung im Unterricht der Sekundarstufe I. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 45 (1); S. 8-16.
- Meyer-Hesemann, W. (2000). Technikwartung und IT-Management von Schulen in NRW. Eröffnungsrede zur gleichnamigen Tagung am 26. Oktober 2000 in Leverkusen. URL: <http://www.mswf.nrw.de/navi/naviwf.html> (Rubrik: „Reden“). [Stand 2000-12-05].
- Meyerhoff, D. B. (1993). Hypertext und tutorielle Lernumgebungen: Ein Ansatz zur Integration; GMD-Bericht Nr.223. München: Oldenbourg.
- MSWF (Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen). URL: <http://www.mswf.nrw.de/navi/naviak.html> [Stand 2000-12-05].

- Müller-Kalthoff, T. / Möller, J. (2000). Effekte von Navigationshilfen und Vorwissen beim Lernen mit Hypertext. In: Leutner, D. / Brünken, R. (Hrsg.). *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung - Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung*. Münster: Waxmann; S. 57-64.
- Nelson, T. H. (1965). A File Structure for The Complex, The Changing and the Intermediate. In: *Proceedings of the 20th National ACM Conference in Cleveland, Ohio*. New York: ACM; pp. 84-100.
- Nelson, T. H. (1972). As We Will Think. Reprinted from *Online 72 Conference Proceedings, Volume 1* (Uxbridge, 1972); pp. 439-454. In: Nyce, J. M. / Kahn, P. (Eds.) (1991). *From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine*. San Diego: Academic Press; pp. 245-260.
- Nelson, W. A. / Palumbo, D. B. (1992). Learning, Instruction, and Hypermedia. *Journal of Multimedia and Hypermedia* 1, 1992; pp. 287 – 299.
- Nielsen, J. (1995). *Multimedia and Hypertext. The Internet and Beyond*. Boston: Academic Press.
- Nielsen, J. (1996). *Multimedia, Hypertext und Internet – Grundlagen und Praxis des elektronischen Publizierens*. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg.
- Parunak, V.D. (1989). Hypermedia Topologies and User Navigation. In: Akscyn, R. et al. (Eds.). *Hypertext '89: Proceedings of the 2nd ACM Conference on Hypertext*. New York: ACM; pp. 43-50.
- Pohl, C. (1998). *Methodik und Realisation von Systemen zur effizienten Wissensvermittlung durch Hypermedia, Europäische Hochschulschriften Reihe V Volks- und Betriebswirtschaft*, Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Rat für Forschung, Technologie und Innovation. (1995). *Informationsgesellschaft – Chancen, Innovationen und Herausforderungen*. Initiative Informationsgesellschaft Deutschland.
- Rein, A. von. (Hrsg.). (1996). *Medienkompetenz als Schlüsselbegriff*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Reinmann-Rothmeier, G. / Mandl, H. (1996). Lernen auf der Basis des Konstruktivismus. *Computer und Unterricht* 26, 1996; S. 41-44.
- Reinmann-Rothmeier, G. / Mandl, H. / Prenzel, M. (1994). *Computergestützte Lernumgebungen. Planung, Gestaltung und Bewertung*. München: Publicis-MCD-Verlag.
- Reiter, A. (1998). Innovation von Lehren und Lernen durch Multimedia, Hypermedia und Internet. In: Reiter, A. (Hrsg.). *Multimedia – Aufbruch in neue Lernwelten?* Wien: Österreichische Computer Gesellschaft; S. 15-57.
- Robson, C. (1993). *Real world research: a resource for social scientists and practitioner-researchers*. Oxford: Blackwell.
- Rolff, H.-G. (1991). Computer als Chance für die Bildung von morgen; *Computer und Unterricht* 9, 1991; S. 5-9.
- Salomon, G. (1984). Television is „easy“ and print is „though“: the differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology* 76; pp. 647-658.
- Schallies, M. (1980). *Kunststoffe, Farbstoffe, Waschmittel*. Bamberg: C.C. Buchners.
- Schecker, H. / Klieme, E. (2000). Erfassung physikalischer Kompetenzen durch Concept-Mapping-Verfahren. In: Fischler, H. / Peuckert, J. (Hrsg.). *Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie*. Berlin: Logos; S. 23-55.
- Schell, F. / Stolzenburg, E. / Theunert, H. (Hrsg.). (1999). *Medienkompetenz: Grundlagen und pädagogisches Handeln*. München: KoPäd.
- Schickor, H. (1998). *Nachteil der Seifen / Wasserhärte*. URL: <http://www.hsckickor.de/wm4a.htm> [Stand 2000-12-05].

- Schmitz, G. (1998). Lernen mit Multimedia: Was kann die Medienpsychologie beitragen? In: Schwarzer, R. (Hrsg.): Multimedia und Telelearning. Frankfurt: Campus; S. 197-214.
- Schnotz, W. (1987). Mentale Kohärenzbildung beim Textverstehen: Einflüsse der Textsequenzierung auf die Verstehensstrategien und die subjektiven Verstehenskriterien. Universität Tübingen, Deutsches Institut für Fernstudien (DIFF), Forschungsbericht 42.
- Schnotz, W. (1994). Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. (1995). Wissenserwerb mit Diagrammen und Texten. In: Issing, L. / Klimsa, P. (Hrsg.). Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Beltz; S. 85-105.
- Schnotz, W. / Zink, T. (1997). Informationssuche und Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Hypertext. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 11 (2); S. 95-108.
- Schulmeister, R. (1997). Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. 2. Auflage. München: Oldenbourg.
- Schulz-Zander, R. (1996). "Veränderte Lernwelten mit Multimedia und Telekommunikation?". Computer und Unterricht 21, 1996; S. 41-46.
- Schüttler, S. (1994). Zur Verständlichkeit von Texten mit chemischem Inhalt. Frankfurt a.M.: Lang.
- Seel, N. / Dörr, G. / Dinter, F. (1992). Lernen im Medienverbund - Eine Untersuchung zum Erwerb neuen Wissens. Unterrichtswissenschaft 20 (3); S. 275-288.
- Silva, A. P. (1992). Hypermedia: Influence of Interactive Freedom Degree in Learning Processes. In: Hypermedia Courseware: Structures of Communication and Intelligent Help; NATO ASI Series F: Computer and System Sciences, Vol. 92. Berlin: Springer; S. 145-156.
- Simpson, A. / McKnight, C (1990). Navigation in hypertext: structural cues and mental maps. In: Hypertext: State of the Art. Oxford: Intellect; pp. 74-83.
- Smith, P. A. (1996). Towards a practical measure of hypertext usability. Interacting with computers 8 (4); pp. 365-381.
- Sommerfeld, H. et al. (1998). Chemie im Haushalt - Wasch- und Reinigungsmittel. URL: <http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/wsu-haush/> [Stand 2000-12-05].
- Spiro, R. J. / Feltovich, P. J. / Jacobson, M. J. / Coulson, R. L. (1991a). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random Access Instruction for Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. Educational Technology 31; pp. 24-33.
- Spiro, R. J. / Feltovich, P. J. / Jacobson, M. J. / Coulson, R. L. (1991b). Knowledge Representation, Content Specification, and the Development of Skill in Situation-Specific Knowledge Assembly: Some Constructivist Issues as they relate to Cognitive Flexibility Theory and Hypertext. Educational Technology, Sept. 1991; pp. 22-25.
- Spiro, R. J. / Coulson, R. L., / Feltovich, P. J. / Anderson, D. K. (1988). Cognitive Flexibility Theory: Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. In: Patel, V. (Ed.). Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass.; pp. 375-383.
- 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: Nix, D. / Spiro, R. J. (Eds.). Cognition, Education, and Multimedia. Exploring Ideas in High Technology. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass.; pp. 163-205.
- Stark, R. / Graf, M. / Renkl, A. / Gruber, H. / Mandl, H. (1995). Förderung von Handlungskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Lernkontexte. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, Band XXVII, Heft 4; S. 289-312.
- Steiner, G. (1993). Übung macht den Meister – unter welchen Bedingungen? Computer und Unterricht 9, 1993; S. 4-9.

- Sumfleth, E. (1988). Lehr- und Lernprozesse im Chemieunterricht. Frankfurt a. M.: Lang.
- Sumfleth, E. / Körner, H. D. / Todtenhaupt, S. (1991). Eine Pilotstudie zum Lernen und Vergessen im Chemieunterricht. *Chimica didactica* 17 (1); S. 5-29.
- Sumfleth, E. / Schüttler, S. (1995). Linguistische Textverständlichkeitskriterien - Helfen sie bei der Darstellung chemischer Inhalte weiter?
Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 1, 1995; S. 55-72.
- Sumfleth, E. / Tiemann, R. (2000a). Own Word Mapping – Ein alternativer Zugang zu Schülervorstellungen. In: Fischler, H. / Peuckert, J. (Hrsg.). *Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie*. Berlin: Logos; S. 179-203.
- Sumfleth, E. / Tiemann, R. (2000b). Bilder und Begriffe – Repräsentieren sie ähnliche Inhalte?
Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 6, 2000; S. 115-127.
URL: <http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/index.html> [Stand 2000-12-05].
- Switalla, B. (1994). Hypermedia-Arbeitsumgebungen.
Computer und Unterricht 13, 1994; S. 53-57.
- Tausch, M. (Hrsg.). (1993). *Chemie SII Stoff-Formel-Umwelt*. Bamberg: C.C. Buchners.
- Tergan, S.-O. (1993). Zum Aufbau von Wissensstrukturen mit Texten und Hypertexten.
Nachrichten für Dokumentation 44; S. 15-22.
- Tergan, S.-O. (1995). Hypertext und Hypermedia: Konzeptionen, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme. In: Issing, L. / Klimsa, P. (Hrsg.). *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim: Beltz; S. 123-137.
- Tergan, S.-O. (1997a). Multiple Views, Contexts, and Symbol Systems in Learning with Hypertext / Hypermedia: A Critical Review of Research.
Educational Technology 37 (4); pp. 5-18.
- Tergan, S.-O. (1997b). Lernen mit Texten, Hypertexten und Hypermedien - Retrospektive und State of the Art. In: Gruber, H. / Renkl, A. (Hrsg.). *Wege zum Können. Determinanten des Kompetenzerwerbs*. Bern: Huber; S. 236-249.
- Tergan, S.-O. (1998). Checklist for the evaluation of educational software. Critical reviews and prospects. *Innovations in Education and Training International (IETI)* 35 (1); pp. 9-20.
- Tergan, S.-O. (1999). Förderung der Wissensstrukturbildung durch Hypermedien?
In: Schulz, W. K. (Hrsg.). *Aspekte und Probleme der didaktischen Wissensstrukturierung*. Frankfurt am Main: Lang; S. 131-148.
- Tessmer, M. (1996). In: Kommers, P. A. / Grabinger, S. / Dunlap, J. C. (Eds.). *Hypermedia Learning Environments*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass.; pp. 187-210.
- Tiemann, R. (1999). Analyse individueller Wissensstrukturen im Kontext Chemie mit Hilfe eines neuen Mapping-Verfahrens. Münster: Lit.
- Tochtermann, K. (1995). Ein Modell für Hypermedia – Beschreibung und integrierte Formalisierung wesentlicher Hypermediakonzepte. Aachen: Shaker.
- Tolhurst, D. (1992). A Checklist for Evaluating Content-Based Hypertext Computer Software.
Educational Technology, March 1992; pp. 17-21.
- Tolhurst, D. (1995). Hypertext, Hypermedia, Multimedia Defined?
Educational Technology, March-April 1995; pp.21-26.
- Tulodziecki, G. (1996). Lehr-/lerntheoretische Konzepte und Software-Entwicklung. In: Bertelsmann Stiftung / Heinz Nixdorf Stiftung (Hrsg.). *Neue Medien in den Schulen - Projekte – Konzepte – Kompetenzen*. Gütersloh: Bertelsmann; S. 41-54.
- Tulodziecki, G. (1997). *Medien in Erziehung und Bildung*. 3. Auflage. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Tulodziecki, G. (2000). Computerunterstütztes Lernen aus mediendidaktischer Sicht.
In: Kammerl, R. (Hrsg.). *Computerunterstütztes Lernen*. München: Oldenbourg; S. 53-72.

- Unz, D. C. / Heese, F. W. (1999). The use of hypertext for learning. *Journal of Educational Computing Research* 20 (3); pp. 279-295.
- Van Lück, W. (1996). Verändertes Lernen: eigenaktiv, konstruktiv und kommunikativ. *Computer und Unterricht* 23, 1996; S. 5-9.
- Wagner, G. (1993a). *Arbeitsblätter Seifen und Waschmittel*. Stuttgart: Klett.
- Wagner, G. (1993b). *Waschmittel – Chemie und Ökologie*. Stuttgart: Klett.
- Wagner, W.-R. (1995). *Computer und Kommunikation*. *Computer und Unterricht* 18, 1995; S. 4-8.
- Weber, W. (1992). Das Biologie-Schulbuch in der Unterrichtspraxis. Ergebnisse einer Lehrerbefragung. *Praxis der Naturwissenschaften Biologie* 41 (4); S. 44-46.
- Wei, C.-I. (1991). Hypertext and Printed Materials: Some Similarities and Differences. *Educational Technology*, March 1991; pp. 51-53.
- Weidenmann, B. (1991). *Lernen mit Bildmedien: psychologische und didaktische Grundlagen*. Weinheim: Beltz.
- Weidenmann, B. (1994). *Wissenserwerb mit Bildern: instruktionale Bilder in Printmedien, Film, Video und Computerprogrammen*. Bern: Huber.
- Weidenmann, B. (1995). *Abbilder in Multimedia-Anwendungen*. In: Issing, L. / Klimsa, P. (Hrsg.). *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim: Beltz; S. 107-121.
- Weidenmann, B. (1997). „Multimedia“: Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle ? *Unterrichtswissenschaft* 3, 1997; S. 197-206.
- Wenger, M.J. & Payne, D.G. (1996). Comprehension and retention of non-linear text: Considerations of working memory and material-appropriate processing. *American Journal of Psychology* 109 (1); pp. 93-130.
- Whalley, P. (1990). Models of hypertext structure and learning. In: Jonassen D. H. / Mandl H. (Eds.). *Designing hypermedia for learning* Berlin: Springer; pp. 61-67.
- Winter, A. (1998). Arbeiten an und mit Hypertexten. *Unterrichtswissenschaft* 1, 1998; S. 32-50.
- Zimmermann, G. (1996). Die Elaborationsstrategien guter und schlechter Textverarbeiter. *Zeitschrift für Fremdsprachenforschung* 7 (1); S. 43-59.
- Zimmermann, G. (1997). Stützstrategien beim Lernen von Instruktionstexten – Lageorientierung versus Handlungsorientierung. In: Meißner, F.-J. (Hrsg.). *Interaktiver Fremdsprachenunterricht*. Tübingen: Gunter Nar; S. 163-180.
- Zink, T. (1997). *Wissenserwerb mit Hypertexten – Einfluss von handlungsbezogenen und kognitiven Persönlichkeitsmerkmalen auf das Lerngeschehen beim Wissenserwerb mit Hypertexten*. Landau: Empirische Pädagogik.

11. Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 2.1: Hypertextsystem mit fünf Knoten und neun Verknüpfungen.	3
Abb. 2.2: Unterscheidung der Links nach den Verknüpfungszielen.	5
Abb. 2.3: Unidirektionale und bidirektionale Links.	5
Abb. 2.4: Hypertextsystem mit linearer Struktur.	6
Abb. 2.5: Hypertextsystem mit hierarchischer Struktur.	7
Abb. 2.6: Hypertextsystem mit netzwerkartiger Struktur.	7
Abb. 4.1: Phasen zur Erstellung einer Hypertext-Lernumgebung.	24
Abb. 4.2: Rahmenbedingungen eines Projektes zur Hypertextsystemerstellung.	24
Abb. 4.3: Rapid Prototyping zur Erstellung und Optimierung einer Hypertext-Lernumgebung.	26
Abb. 5.1: Einsatzmöglichkeiten und Vorteile von Hypertext-Lernumgebungen im Unterrichtskontext.	28
Abb. 6.1: Teilbereiche der Untersuchung.	30
Abb. 7.1: Übersichtsseite der Lernumgebung „Seife“.	31
Abb. 7.2: Ausschnitt aus dem Sachregister.	32
Abb. 7.3: Übergangsseite zu einem ausgewählten Kapitel.	32
Abb. 7.4: Hauptseite im Kapitel „ <i>Wirkungsweise von Seife</i> “.	33
Abb. 7.5: Graphisch orientierte Nebenseite.	33
Abb. 7.6: Begriffsdefinitionsseite zum Begriff „ <i>Ester</i> “.	34
Abb. 7.7: Glossar der linearen Lernumgebung.	35
Abb. 7.8: Navigationsmöglichkeiten innerhalb der linearen Lernumgebung.	36
Abb. 7.9: Zusätzliche Navigationsmöglichkeiten innerhalb der nicht-linearen Lernumgebung.	37
Abb. 7.10: Navigationsmöglichkeiten innerhalb der nicht-linearen Lernumgebung.	37
Abb. 7.11: Fragebogen zu Computervorkenntnissen und Einstellungen.	40
Abb. 7.12: Aufgabenstellung für das Own Word Map.	41
Abb. 7.13: Bilder für das Own Word Map.	42
Abb. 7.14: Aufgabenstellung für den Verknüpfungstest.	42
Abb. 7.15: Aufgabenstellung für den Integrationstest.	43
Abb. 7.16: Aufgaben des Leistungstests.	44
Abb. 7.17: Leitfaden für das Interview.	46
Abb. 7.18: Untersuchungsdesign der Pilotstudie.	48
Abb. 7.19: Angaben zur Computernutzung.	49
Abb. 7.20: Kategorisierungsraster zur Kategorisierung der Propositionen.	50

Abb. 7.21: Own Word Maps: Zu- und Abnahme der Propositionen zwischen Prä- und Posttest bei einzelnen Versuchspersonen.	52
Abb. 7.22: Own Word Maps: Zu- und Abnahme zwischen Prä- und Posttest in der „Gesamtgruppe“ (B) und den Gruppen „Lineare Lernumgebungsanwender“ (C) und „Nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ (D).	53
Abb. 7.23: Prätest-Own Word Map, Verknüpfungstest von Vpn 8 und Kategorisierung.	55
Abb. 7.24: Posttest-Own Word Map, Verknüpfungstest von Vpn 8 und Kategorisierung.	56
Abb. 7.25: Prätest-Own Word Map, Verknüpfungstest von Vpn 1 und Kategorisierung.	57
Abb. 7.26: Posttest-Own Word Map, Verknüpfungstest von Vpn 1 und Kategorisierung.	59
Abb. 7.27: Gesamtpunktzahl der Versuchspersonen in den Leistungstests.	63
Abb. 7.28: Vergleich der Gesamtpunktzahl aller Versuchspersonen zwischen Aufgabe 1 und den Aufgaben 2-4 (Leistungstest).	64
Abb. 8.1: Untersuchungsdesign A (Gymnasium Gelsenkirchen).	73
Abb. 8.2: Untersuchungsdesign B (Gymnasium Oberhausen).	73
Abb. 8.3: Fragebogen zur Lernumgebungsbewertung und zur Einstellung gegenüber dem Einsatz von Lernsoftware.	74
Abb. 8.4: Leistungstest der Hauptstudie.	76
Abb. 8.5: Startseite der Lernumgebung.	77
Abb. 8.6: Glossar der linearen Lernumgebung.	78
Abb. 8.7: Hauptseite der linearen Lernumgebung.	79
Abb. 8.8: Navigationsmöglichkeiten in der linearen Lernumgebung.	80
Abb. 8.9: Indexseite der linearen Lernumgebung.	81
Abb. 8.10: Hauptseite in der nicht-linearen Lernumgebung.	81
Abb. 8.11: Navigationsmöglichkeiten (Auswahl 1) in der nicht-linearen Lernumgebung.	82
Abb. 8.12: Navigationsmöglichkeiten (Auswahl 2) in der nicht-linearen Lernumgebung.	83
Abb. 8.13: Angaben zur Computernutzung (Gymnasium Gelsenkirchen).	84
Abb. 8.14: Angaben zur Computernutzung (Gymnasium Oberhausen).	84
Abb. 8.15: Ergebnisse des Prätests; (Aufgabenspezifisch - Oberhausen).	87
Abb. 8.16: Ergebnisse des Prätests (Einzelpersonen Oberhausen).	88
Abb. 8.17: Ergebnisse des Posttests (Aufgabenspezifisch - Oberhausen).	89
Abb. 8.18: Vergleich der Prä- und Posttestergebnisse (Aufgabenspezifisch - Oberhausen).	90
Abb. 8.19: Prä- und Posttest der Gruppe „lineare Lernumgebungsanwender“.	91
Abb. 8.20: Prä- und Posttest der Gruppe „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.	91

Abb. 8.21: Aufgabenspezifischer Vergleich der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.	92
Abb. 8.22: Einzelergebnisse des Prä- und Posttests der 14 Schülerinnen und Schüler.	93
Abb. 8.23: Gesamtpunktzahlen der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.	94
Abb. 8.24: Aufgabengruppenspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen.	94
Abb. 8.25: Aufgabengruppenspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen: „mittelschwere“ versus „schwere“ Aufgaben.	95
Abb. 8.26: Kategorienspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen der Gesamtgruppe.	97
Abb. 8.27: Kategorienspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen der Gruppe „lineare Lernumgebungsanwender“.	98
Abb. 8.28: Kategorienspezifischer Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen der Gruppe „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“.	98
Abb. 8.29: Zusammenfassung der Kategorien S2 + S3 und Vergleich von Prä- und Posttestergebnissen der Einzelpersonen (Vpn).	99
Abb. 8.30: Vergleich der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ in den Kategorien S2 + S3; berücksichtigt sind Schülerinnen und Schüler mit niedrigem Vorwissen.	100
Abb. 8.31: Vergleich der Gruppen „lineare Lernumgebungsanwender“ und „nicht-lineare Lernumgebungsanwender“ in den Kategorien S2 + S3; berücksichtigt sind Schülerinnen und Schüler mit mittlerem Vorwissen.	101
Abb. 8.32: Prätest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 4 und Kategorisierung.	103
Abb. 8.33: Posttest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 4 und Kategorisierung.	104
Abb. 8.34: Prätest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 20 und Kategorisierung.	105
Abb. 8.35: Posttest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 20 und Kategorisierung.	106
Abb. 8.36: Prätest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 24 und Kategorisierung.	107
Abb. 8.37: Posttest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 24 und Kategorisierung.	108
Abb. 8.38: Prätest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 19 und Kategorisierung.	109
Abb. 8.39: Posttest-Map und Verknüpfungstest von Vpn 19 und Kategorisierung.	110
Abb. 8.40: Ausschnitt aus dem Navigationsverlauf eines Schülers, der mit der linearen Lernumgebung arbeitet.	111
Abb. 8.41: Ausschnitt aus dem Navigationsverlauf einer Schülerin, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet.	112

12. Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 4.1: Spezifizierung der Rahmenbedingungen zur Erstellung einer Hypertext-Lernumgebung.	25
Tab. 7.1: Seiten innerhalb der linearen und nicht-linearen Lernumgebung zum Thema Seifen.	34
Tab. 7.2: Ergebnisse des Integrationstests.	60
Tab. 7.3: Strukturiertheit der Maps.	61
Tab. 7.4: Auswahl an Begründungen der Versuchspersonen zum Navigationsverhalten.	66
Tab. 7.5: Auswahl an Begründungen zum „Nicht-Anklicken“ von Verknüpfungen.	66
Tab. 7.6: Navigationsreihenverlauf bei drei Versuchspersonen.	69
Tab. 8.1: Zugriff von Hauptseiten auf Begriffsdefinitionsseiten.	83
Tab. 8.2: Angaben zu Vor- und Nachteilen von Lehrbuch und multimedialem Lehrbuch (Gymnasium Oberhausen).	85
Tab. 8.3: Navigationsverlauf lineare und nicht-lineare Lernumgebung.	115

13. Anhang

- was ist eine Hypertext-Lernumgebung?
- Gliederung der Lernumgebung
 - Herstellung und Zusammensetzung heutiger Seifen;
 - Wirkungsweise von Seife;
 - Nachteile beim Waschen mit Seife;
 - Stichwortregister;
 - Glossar (nur in der linearen Lernumgebung).
- 3 Seitentypen
 - a) Hauptseiten
 - Funktion;
 - Hinweis auf den Hintergrund;
 - Hinweis auf die Überschriften;
 - Hinweis auf den Button „Übersicht“;
 - Hinweis auf das „Vor-“ und „Zurück-Blättern“.
 - b) Nebenseiten
 - Funktion;
 - Wie gelangt man da hin?;
 - Was ist ein Link?;
 - Hinweis auf Cursor-Veränderung beim „überfahren“ eines Links;
 - Hinweis auf die kurze Erläuterung „Wo geht es hin“;
 - Aufbau einer Nebenseite;
 - Hinweis auf Hintergrund;
 - Hinweis auf Zurück-Button / Übersichts-Button.
 - c) Begriffsdefinitionsseiten
 - Funktion;
 - Wie gelangt man da hin?;
 - Hinweis auf Hintergrund;
 - Wie gelangt man zurück zur Ausgangsseite?
 - Übergreifende Verknüpfungen zu anderen Hauptseiten (nur in der nicht-linearen Lernumgebung)
 - Hinweis auf die Verknüpfungen;
 - Wie gelangt man zurück zur Ausgangsseite?

Abb. 13.1: Leitfaden für die Einweisung in die Lernumgebung.

Idealantwortverzeichnis und Punkteschlüssel - Leistungstest (Pilotstudie)

1. Erläutern Sie die folgenden Begriffe:

a) Fett

Es sind Ester, die aus dem dreiwertigen Alkohol Glycerin und drei Fettsäuremolekülen unter Wasserabspaltung gebildet werden.

2,5

Man bezeichnet sie auch als Triacylglycerine oder Triglyceride.

0,5

[Reaktionsgleichung].

2,5

Fette besitzen eine geringere Dichte als Wasser, sind wasserunlöslich, lösen sich aber in organischen

Lösungsmitteln (z.B. Benzin, Chloroform).

1,5

Max. Gesamtpunktzahl: 7,0

b) Emulsion (Begriffsdefinition)

Eine Emulsion ist ein disperses System (fein verteiltes Stoffgemisch) von zwei oder mehreren miteinander nicht mischbaren Flüssigkeiten.

1,5

Die eine der flüssigen Phasen bildet dabei das Dispersionsmittel, in dem die andere Phase in Form feiner Tröpfchen verteilt ist.

1,5

Die meisten natürlichen und technischen Emulsionen bestehen aus Wasser und Öl oder Fett als nicht mischbare Phasen.

1

Die Stabilität einer grobdispersen Emulsion kann durch den Zusatz kleiner Mengen Emulgatoren erhöht werden.

0,5

Max. Gesamtpunktzahl: 4,5

c) Kalkseife

In hartem Wasser, das Calcium- und Magnesium-Ionen enthält, bilden die Erdalkali-Ionen mit den Seifenanionen schwer lösliche Erdalkali-Salze, die sogenannten Kalkseifen.

1,5

[Strukturformel].

3

Die Kalkseifen bewirken eine Trübung der Seifenlösung, setzen sich als Rückstand auf den Textilien ab und machen die Wäsche hart und grau.

1

Max. Gesamtpunktzahl: 5,5

d) Van-der-Waals-Kräfte

Zwischenmolekulare Kräfte, die zwischen Atomen bzw. Molekülen auftreten.

1,5

Diese Anziehungskräfte entstehen dadurch, dass Atome äußerst kurzlebige Dipole bilden können. Die eine Seite des Atoms weist dann eine etwas stärker negative Ladung auf als die andere (unsymmetrische Ladungsverteilung).

1,5

Nähern sich Atome und erfolgt in beiden Atomen die Ladungsverschiebung synchron, dann wirken ab einem bestimmten Abstand Anziehungskräfte, die als Van-der-Waals-Kräfte bezeichnet werden. Der positiv polarisierte Teil des einen Atoms zieht dabei den negativ polarisierten Teil des anderen Atoms an.

1,5

Die Möglichkeit zur Polarisierung nimmt mit steigender Oberfläche des Atoms zu und ist umso größer, je weiter die äußeren Elektronen vom Kern entfernt sind. Aus diesem Grund nehmen die Van-der-Waals-Kräfte mit steigender Atom- bzw. Molekülmasse zu.

1

Max. Gesamtpunktzahl: 5,5

e) Phase

Eine Phase ist ein in sich homogener Bereich eines Stoffes.

1

Einzelne Phasen (z.B. zwei nicht miteinander mischbare Flüssigkeiten) sind durch scharfe Trennflächen (Grenzflächen) voneinander abgesetzt.

2

Max. Gesamtpunktzahl: 3

f) Fettsäuren

[Strukturformel]

2,5

Ungesättigte Fettsäuren enthalten im Gegensatz zu gesättigten Fettsäuren eine oder mehrere Doppelbindungen.

1

Besitzen amphiphilen Charakter (hydrophil und hydrophob bzw. polar / unpolar).

1

Bsp.: Laurinsäure, Palmitinsäure, Stearinsäure, Ölsäure (ungesättigt).

0,5

Max. Gesamtpunktzahl: 5,0

g) Emulgator

Emulgatoren stabilisieren Emulsionen, d.h. sie verzögern die Entmischung der beiden Phasen (z.B. Öl und Wasser).

2,5

Die gemeinsame Anwesenheit hydrophiler und lipophiler Gruppen im Molekül ermöglicht Emulgatoren das Eingehen von Wechselwirkungen, sowohl mit hydrophilen als auch mit lipophilen Phasen.

1

Der Emulgator muss sich an der Grenzschicht zwischen den Phasen anreichern. Dazu muss er über grenzflächen- bzw. oberflächenaktive Eigenschaften verfügen, d.h. die Grenzflächenspannung der nichtmischbaren Phasen reduzieren.

1

Der Emulgator muss ferner entweder die Teilchen aufladen, so dass sie sich gegenseitig abstoßen oder eine stabile Schutzschicht um die Teilchen bilden.

1

Emulgatoren können im engeren Sinne als oberflächenaktive Stoffe bzw. Tenside bezeichnet werden.

0,5

Max. Gesamtpunktzahl: 6


h) Ester		
[Reaktionsgleichung]		
Ester sind Verbindungen, die sich bei der Reaktion von Säuren mit Alkoholen unter Abspaltung von Wasser bilden (Veresterung).		4,5
Ester können aus organischen und anorganischen Säuren gebildet werden.		0,5
Ester zerfallen unter Wassereinfluss in ihre Säure- und Alkoholkomponenten, d. h. sie werden hydrolytisch gespalten (0,75). Diesen Prozess bezeichnet man im engeren Sinne auch als Verseifung (0,5); er wird durch die Zugabe von Säuren, Laugen oder Enzymen stark beschleunigt. (0,5)		1,75
	Max. Gesamtpunktzahl:	6,75
3. Stellen Sie die Reaktionsgleichung zur Bildung von Seife aus Natronlauge und Fett auf.		
[Reaktionsgleichung].		5
	Max. Gesamtpunktzahl:	5
4. Zeichnen Sie modellhaft,  wie sich Seifenmoleküle		
a) an der Wasseroberfläche und		
b) im Innern des Wassers anordnen und erläutern Sie diese Anordnungen.		4
[Zeichnung].		
Beim Lösen von Seife in Wasser verteilen sich die Seifenanionen nicht gleichmäßig in der Lösung, sondern es bildet sich an der Oberfläche zunächst eine monomolekulare Seifenschicht aus.		0,5
Die hydrophilen Gruppen der Seifenmoleküle richten sich so aus, dass sie mit dem Wasser in Kontakt bleiben und ragen dadurch in Richtung wässriger Lösung. Die hydrophoben Gruppen der Seifenmoleküle entziehen sich der Wechselwirkung mit dem Wasser, indem sie aus der Wasseroberfläche herausragen.		1
Beim Lösen weiterer Seife liegen dann auch Seifenanionen im Innern der Lösung vor.		0,5
Der Tendenz des hydrophoben Teils des Seifenanions folgend, sich der Wechselwirkung mit dem Wasser möglichst zu entziehen, bilden sich Micellen.		0,5
Die Seifenmoleküle sind so orientiert, dass die hydrophoben Gruppen in das Innere der Micelle weisen.		0,5
Seifenmoleküle in den Micellen stehen mit den monomolekular gelösten einzelnen Seifenmolekülen in der Lösung und an der Oberfläche in einem dynamischen Gleichgewicht. Dadurch verändern sich ständig Größe und Form der Micellen.		0,5
	Max. Gesamtpunktzahl:	7,5
5. Palmitinsäure ($C_{15}H_{31}COOH$) ist in Form des Natrium- oder Kaliumsalzes eine typische Seife. Wie alle langkettigen Fettsäuren gehört auch Palmitinsäure zu den schwachen Säuren.		
Leiten Sie am Beispiel der Palmitinsäure mit Hilfe von Reaktionsgleichungen ab:		
a) Warum Seife in Wasser alkalisch reagiert.		
b) Welchen Einfluss eine Säure auf die Löslichkeit und das Waschvermögen der Seife hat.		
zu a)		
[Reaktionsgleichung].		3
Das Gleichgewicht liegt auf der Seite der undissoziierten Säure, so dass die Hydroxid-Ionen die stark alkalische Reaktion der Seifenlösung bewirken.		0,5
zu b)		
[Reaktionsgleichung].		1
Gibt man zu einer wässrigen Seifenlösung eine Säure, so bilden sich schwerlösliche Fettsäuren und die Seife verliert ihre Reinigungswirkung.		3
	Max. Gesamtpunktzahl:	7,5

Abb. 13.2: Idealantwortverzeichnis und Punkteschlüssel für den Leistungstest der Pilotstudie.

Idealantwortverzeichnis und Punkteschlüssel - Leistungstest (Hauptstudie)

1. Erläutern Sie die folgenden Begriffe möglichst präzise:

a) Hydrophil / Hydrophob

	Pkt.
Hydrophil bezeichnet die Eigenschaft verschiedener Moleküle oder Molekülgruppen, sich in Wasser, nicht aber in Fetten oder Ölen zu lösen.	1
Hydrophil durch polare Gruppen / polare Moleküle.	0,75
Hydrophob bezeichnet die Eigenschaft verschiedener Moleküle oder Molekülgruppen, sich in Fetten oder Ölen, nicht aber in Wasser zu lösen.	1
Hydrophob durch unpolare Gruppen / unpolare Moleküle.	0,75
Hydrophil = Lipophil (fettabstoßend).	0,5
Hydrophob = Lipophil (fettliebend).	0,5
Verbindungen, die hydrophile und hydrophobe Gruppen tragen, werden als amphiphil bezeichnet.	0,75
Beispiel: Seifenanionen besitzen eine stark hydrophile Carboxylgruppe und eine stark hydrophobe Kohlenwasserstoffkette.	0,75
Max. Gesamtpunktzahl:	6,0

b) Fettsäuren

[Strukturformel].	2,5
Ungesättigte Fettsäuren enthalten im Gegensatz zu gesättigten Fettsäuren eine oder mehrere Doppelbindungen.	1
Besitzen amphiphilen Charakter (hydrophil und hydrophob bzw. polar / unpolar).	1
Beispiel (Laurinsäure, Palmitinsäure, Stearinsäure).	0,5
Max. Gesamtpunktzahl:	5,0

c) Wasserstoffbrückenbindungen

Entsprechende Zeichnung mit Wasser oder Essigsäure; inkl. Außenelektronen.	2,5
Moleküle, die einen starken Dipol besitzen, ziehen sich gegenseitig stärker an.	1
Das kleine Wasserstoffatom kann besonders stark angezogen werden, da sein Kern (Proton) nur schwach abgeschirmt ist.	1
Können schnell gebildet werden, aber auch schnell durch die Bewegung der Moleküle „zerfallen“.	0,5
Wasserstoffbrückenbindung sind stärker als normale Dipol-Dipol-Bindungen aber wesentlich schwächer als Atombindungen.	1
Bewirken die hohe Oberflächenspannung des Wassers.	0,5
Seifenanionen lagern sich zwischen Wassermolekülen an, es werden weniger Wasserstoffbrückenbindungen ausgebildet und so die Oberflächenspannung des Wassers erniedrigt.	0,5
Max. Gesamtpunktzahl:	7

d) Ester

Reaktionsgleichung zur Bildung; inkl. Beschriftung.	3,5
Ester sind Verbindungen, die sich bei der Reaktion von Säuren mit Alkoholen bilden.	1
Dabei wird Wasser abgespalten (Veresterung).	0,5
Ester können aus organischen und anorganischen Säuren gebildet werden.	0,5
Ester zerfallen unter Wassereinfluss in ihre Säure- und Alkoholkomponenten, d. h. sie werden hydrolytisch gespalten.	0,75
Diesen Prozess bezeichnet man im engeren Sinne auch als Verseifung; er wird durch die Zugabe von Säuren, Laugen oder Enzymen stark beschleunigt.	0,5
Max. Gesamtpunktzahl:	6,75

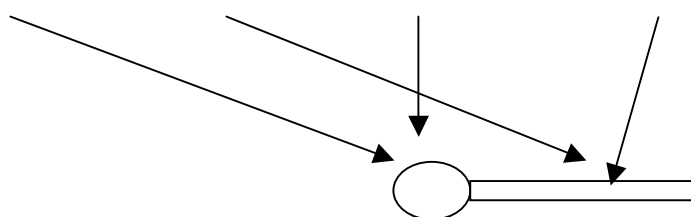
e) Seifenanion

[Strukturformel].	2
Besteht aus einer Carboxylgruppe,	0,5
diese ist polar, hydrophil (lipophil);	0,75
...und einer Kohlenwasserstoffkette,	0,5
diese ist unpolar, stark lipophil (hydrophob).	0,75
Amphiphiler Charakter.	0,5
Seifenanionen erniedrigen die Oberflächenspannung des Wassers.	0,5
Bilden an der Wasseroberfläche ein monomolekulare Seifenschicht aus.	0,5
Ordnen sich im Wasser zu Micellen zusammen.	0,5
Bilden Seifenschaum aus.	0,5
Max. Gesamtpunktzahl:	7

f) Oberflächenspannung

Spezielle Form der Grenzflächenspannung,	1
an der Phasengrenze zwischen Flüssigkeit oder Festkörper einerseits und Gas andererseits.	1
Bsp. Wasser: Im Innern einer Wasserportion ist jedes Molekül von vielen anderen Wassermolekülen umgeben. Die zwischen den Wassermolekülen wirkenden Anziehungskräfte (Wasserstoffbrückenbindungen) wirken gleichmäßig nach allen Seiten und heben sich daher in ihrer Wirkung gegenseitig auf.	1,5
An der Wasseroberfläche fehlen nach oben hin die Wassermoleküle und damit auch die entsprechenden Anziehungskräfte. Nach unten hin sind jedoch Wassermoleküle vorhanden, die die an der Wasseroberfläche befindlichen Wassermoleküle anziehen.	1,5
Deshalb wirkt auf ein Oberflächenmolekül eine Kraft, die ins Innere der Flüssigkeit gerichtet ist. Die Summe dieser Kräfte tritt als Oberflächenspannung in Erscheinung.	1,5
Wasser besitzt durch die relativ starken Wasserstoffbrückenbindungen eine hohe Oberflächenspannung.	0,75
Max. Gesamtpunktzahl:	7,25

2. Die Abbildung stellt modellhaft ein Seifenanion dar. Beschriften Sie das Modell mit folgenden Begriffen:
hydrophil hydrophob Carboxylgruppe Kohlenwasserstoffrest



Max. Gesamtpunktzahl: 2

3. Zeichnen Sie modellhaft, wie sich Seifenmoleküle um ein Öltröpfchen anordnen und erläutern Sie diesen Vorgang.

[Zeichnung] 2,5
Bedingt durch die Grenzflächenaktivität der Seifenmoleküle lagern sich diese bevorzugt an der Grenzfläche Wasser-Öl an. 1,5
Der Öltröpfchen wird von einer monomolekularen Schicht aus Seifenanionen umgeben. 1
Der hydrophile Anteil der Seifenmoleküle (Carboxylgruppe) ragt in die wässrige Lösung, der hydrophobe Anteil (Kohlenwasserstoffrest) in das Öl. 1,5
Max. Gesamtpunktzahl: 6,5

4. Erläutern Sie die Wirkungsweise von Seife im Waschprozess.

1. Phase: Benetzung. 0,5
Reines Wasser kann nicht richtig bis zum Schmutz vordringen, da Wasser aufgrund der großen Oberflächenspannung eine Tropfenform ausbildet. Eine Seifenlösung kann sich aufgrund der niedrigeren Oberflächenspannung Schmutz und Faser vollständig benetzen. 1
2. Phase: Verminderung der Schmutzhaftung / Umnetzung. 0,5
An der Grenze zwischen Faser und Schmutzteilen bildet sich durch die Anordnung der Seifenanionen eine negativ geladene hydrophile Schicht aus. Diese Schicht führt zu einer elektrostatischen Abstoßung zwischen dem Schmutz und der zumeist ebenfalls negativ geladenen Faser. 1
3. Phase: Ablösen des Schmutzes von der Faser. 0,5
Restlosen Entfernung des Öltröpfchens von der Faser: mechanische Bewegung. 0,5
4. Phase: Halten des Schmutzes in der Lösung. 0,5
Die Seifenanionen verhindern, dass sich einmal abgetrennter Schmutz erneut auf der Faser absetzt. (Schmutztragevermögen) Eine weitere Stabilisierung wird durch die negative elektrische Aufladung der Tröpfchen erreicht. Dies führt zur Abstoßung der Öltröpfchen untereinander. 1,25
Max. Gesamtpunktzahl: 5,75

5. Ein Wasserläufer kann sich mühelos auf der Wasseroberfläche fortbewegen.

d) Welche Eigenschaft des Wassers nützt der Wasserläufer aus ?
Die besonders starke Oberflächenspannung des Wassers. 1
e) Wodurch wird diese Eigenschaft verursacht ?
Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Wassermolekülen. 1,25
Der Dipolcharakter des Wassers führt zu besonders starke intermolekulare Anziehungskräften. 0,75
f) Was geschieht, wenn man dem Wasser eine Seifenlösung zusetzt?
Seifenanionen lagern sich an der Wasseroberfläche an (monomolekulare Seifenschicht). 0,5
Seifenanionen lagern sich zwischen die Wassermoleküle. 0,5
Es werden weniger Wasserstoffbrücken gebildet und dadurch die Oberflächenspannung erniedrigt. 0,75
Der Wasserläufer sinkt. 0,5
Max. Gesamtpunktzahl: 5,25

Abb. 13.3: Idealantwortverzeichnis und Punkteschlüssel für den Leistungstest der Hauptstudie.

		Kategorie						Σ
		NS1	NS2	NS3	S1	S2	S3	
Vpn 1 nicht-lineare LU	Prätest	1	4	0	4	14	0	23
	Posttest	0	0	0	3	30	3	36
	Diff. Post - Prä	-1	-4	0	-1	16	3	13
Vpn 2 nicht-lineare LU	Prätest	1	0	0	1	11	1	14
	Posttest	0	0	0	2	22	1	25
	Diff. Post - Prä	-1	0	0	1	11	0	11
Vpn 3 lineare LU	Prätest	0	0	0	6	2	0	8
	Posttest	0	0	0	2	5	1	8
	Diff. Post - Prä	0	0	0	-4	3	1	0
Vpn 4 lineare LU	Prätest	0	0	0	1	6	0	7
	Posttest	0	0	0	2	6	0	8
	Diff. Post - Prä	0	0	0	1	0	0	1
Vpn 5 nicht-lineare LU	Prätest	0	0	0	4	9	0	13
	Posttest	0	0	0	2	10	0	12
	Diff. Post - Prä	0	0	0	-2	1	0	-1
Vpn 6 lineare LU	Prätest	0	0	0	1	8	0	9
	Posttest	0	0	0	0	4	1	5
	Diff. Post - Prä	0	0	0	-1	-4	1	-4
Vpn 8 lineare LU	Prätest	0	1	0	1	4	0	6
	Posttest	0	0	0	4	7	0	11
	Diff. Post - Prä	0	-1	0	3	3	0	5

Tab. 13.1: Kategorisierung der Propositionen (Pilotstudie).

		Programmierkenntnisse	Internet	Textverarbeitung	Computerspiele	Graphikbearbeitung	MM Lexika	Hyper-text-systeme	Lern-software	Stunden / Woche
VpnGE-1	m		✓		✓	✓	✓		✓	10
VpnGE-2	w		✓		✓					0
VpnGE-3	w			✓	✓		✓			5
VpnGE-4	* w		✓	✓	✓			✓		3
VpnGE-5	m			✓	✓		✓		✓	10
VpnGE-6	* w	✓	✓	✓	✓	✓	✓			5
VpnGE-7	* w		✓	✓	✓	✓	✓		✓	7
VpnGE-8	* w	✓	✓	✓	✓	✓				5
VpnGE-9	* w									0
VpnGE-10	w	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	14
VpnGE-11	* w	✓	✓	✓	✓	✓			✓	5,5
VpnGE-12	* m	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12
VpnGE-13	* m			✓	✓		✓		✓	3,5
VpnGE-14	m		✓	✓	✓	✓	✓		✓	2,5
VpnGE-15	w	✓	✓	✓	✓	✓			✓	7,5
VpnGE-16	* w		✓		✓		✓		✓	7
VpnGE-17	m	✓	✓	✓	✓				✓	3
VpnGE-18	w			✓	✓		✓		✓	2,5
VpnGE-19	* w		✓	✓	✓	✓			✓	3,5
VpnGE-20	w		✓	✓			✓			1,5
VpnGE-21	* w	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		13
VpnGE-22	w			✓	✓	✓			✓	3,5
VpnGE-23	* m		✓	✓	✓		✓			5
VpnGE-24	w		✓	✓	✓	✓	✓		✓	6
Gesamt		8	18	20	22	13	15	4	15	
* = Versuchsperson, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet										
m = männlich; w = weiblich										

Tab.13.2: Angaben der Schülerinnen und Schüler (VpnGE) des Gelsenkirchener Gymnasiums zur Computernutzung.

			Program- mierkennt- nisse	Internet	Textverar- beitung	Computer- spiele	Graphik- bearbei- tung	MM Lexika	Hyper- text- systeme	Lern- software	Stunden / Woche
VpnO-1	*	m		✓		✓				✓	10
VpnO-2		w			✓						0
VpnO-3		m	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	10
VpnO-4		m	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	35
VpnO-5		m	✓	✓	✓	✓		✓	✓		22,5
VpnO-6	*	w		✓	✓	✓	✓				2
VpnO-7		w			✓	✓				✓	3
VpnO-8		m		✓	✓	✓	✓	✓		✓	25
VpnO-9	*	w			✓	✓	✓				2
VpnO-10	*	m	✓	✓		✓	✓				18
VpnO-11	*	m	✓		✓	✓		✓		✓	15
VpnO-12	*	m	✓		✓	✓		✓			6
VpnO-13	*	m	✓	✓	✓	✓		✓	✓		15
VpnO-14		m	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	25
Gesamt			8	9	12	13	7	8	3	7	
* = Versuchsperson, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet											
m = männlich; w = weiblich											

Tab. 13.3: Angaben der Schülerinnen und Schüler (VpnO) des Oberhausener Gymnasiums zur Computernutzung.

Versuchsperson		Test	Bevorzugtes Medium zur Klausurvorbereitung		Nutzt Lernsoftware			
			Lehrbuch	Multimediales Lehrbuch	gern	ungern	nicht	
VpnO-1	*	m	Prätest	✓			✓	
			Posttest	✓			✓	
VpnO-2		w	Prätest	✓				✓
			Posttest	✓			✓	
VpnO-3		m	Prätest	✓	✓	✓		
			Posttest		✓	✓		
VpnO-4		m	Prätest	✓	✓	✓		
			Posttest	✓	✓	✓		
VpnO-5		m	Prätest	✓			✓	
			Posttest	✓		✓		
VpnO-6	*	w	Prätest	✓				✓
			Posttest	✓				✓
VpnO-7		w	Prätest	✓			✓	
			Posttest	✓			✓	
VpnO-8		m	Prätest		✓	✓		
			Posttest		✓	✓		
VpnO-9	*	w	Prätest	✓				✓
			Posttest		✓	✓		
VpnO-10	*	m	Prätest	✓			✓	
			Posttest	✓				✓
VpnO-11	*	m	Prätest	✓			✓	
			Posttest		✓	✓		
VpnO-12	*	m	Prätest	✓				✓
			Posttest	✓				✓
VpnO-13	*	m	Prätest	✓			✓	
			Posttest	✓	✓		✓	
VpnO-14		m	Prätest		✓	✓		
			Posttest	✓			✓	
* = Versuchsperson, die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet								
m = männlich; w = weiblich								

Tab.13.4 : Angaben der Schülerinnen und Schüler (VpnO) des Oberhausener Gymnasiums zur Lernsoftwarenutzung und zur bevorzugten Medienform als Klausurvorbereitung.

Schülerin / Schüler	Kritik	Kommentar
VpnO-2	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - Bilder; - Schaumbildung; - Waschwirkung.
	Contra	k.A.
VpnO-3	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - viele übersichtliche Abbildungen; - einfache Beschreibung des Themas; - einzelne Begriffe erklärt.
	Contra	<ul style="list-style-type: none"> - noch besser als das Glossar wäre ein Link zu den Erklärungen gewesen; - keine Summenformel für Seife genannt.
VpnO-4	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - Bilder (vor allem die Vielzahl) und Grafiken; - Verbindung von Bild und Text; - Anführung anschaulicher Versuche.
	Contra	k.A.
VpnO-5	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - die grafischen Darstellungen „Wirkungsweise der Seife“; - sehr übersichtlich strukturiert; - ein Glossar ist hilfreich; - nur die wichtigsten Informationen sind zum Thema aufgelistet.
	Contra	- Breite der Informationen ist zu stark eingeschränkt.
VpnO-7	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - Bilder; - Erklärung einiger Begriffe.
	Contra	<ul style="list-style-type: none"> - Unübersichtlichkeit; - Wiederholungen.
VpnO-8	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - gut verständlich; - Verdeutlichung durch Zeichnungen und Fotos; - Glossar; - optisch ansprechend.
	Contra	k.A.
VpnO-14	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - informativ; - gute Begriffserklärung (Glossar); - Grafiken; - grafische Darstellungen.
	Contra	<ul style="list-style-type: none"> - zu viele Informationen auf einmal, dadurch vergisst man wichtige Sachen, wenn man nur einen Begriff nachschlagen will; - Direktzugriffe auf die gesuchten Themen; - manche Begriffe werden als bekannt angenommen, die es aber nicht sind.

Tab. 13.5: Äußerungen der Oberhausener Schülerinnen und Schüler zur linearen Lernumgebung.

Schülerin / Schüler	Kritik	Kommentar
VpnO-1	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - es waren erklärende Bilder dabei, die es anschaulicher machen; - Fachbegriffe wurden erläutert, so dass man alles besser verstehen konnte.
	Contra	k.A.
VpnO-6	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - zu jeglichen Begriffen aus der Chemie gibt es ausführliche Erklärungen; - es sind schematische Bilder gegeben, die gut nachvollziehbar sind.
	Contra	- viele Zusammenhänge werden unnötig mehrmals wiederholt.
VpnO-9	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - einfache Erklärung der Themen; - separate Erklärung zu einzelnen Begriffen; - anschauliche Bilder und Diagramme.
	Contra	k.A.
VpnO-10	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - einfache, leicht verständliche Handhabung; - kurze Ladezeiten; - die farbigen, teils 3-D-Grafikmodelle, teils 2-D-3-D-Realobjekte verdeutlichen einem die Reaktionen sehr gut; - die Links zu den Begriffserklärungen.
	Contra	<ul style="list-style-type: none"> - es könnten Moviefiles und interaktive Versuche eingebaut werden; - negativ ist mir nichts aufgefallen, ich habe mir nur ein paar Verbesserungsvorschläge ausgedacht.
VpnO-11	Pro	<ul style="list-style-type: none"> - informative Abbildungen; - passende Verknüpfungen, die wirklich weiterhelfen.
	Contra	<ul style="list-style-type: none"> - die waschaktive Wirkung von „Seife“ war miteinander verknüpft, die Seiten der „Eigenschaften von Seifenlösungen“ nicht; - Programmfehler.
VpnO-12	Pro	- das man ständig zu Begriffsdefinitionen springen kann.
	Contra	k.A.
VpnO-13	Pro	- man kann sofort Definitionen zu Begriffen, die man nicht kennt abrufen, ohne sie nachschlagen zu müssen.
	Contra	k.A.

Tab. 13.6: Äußerungen der Oberhausener Schülerinnen und Schüler zur nicht-linearen Lernumgebung.

		Alle Aufgaben	Mittelschwere Aufgaben	Schwere Aufgaben	Begriffsdefinitionsseiten	Haupt- und Nebenseiten
		Aufg.: 1-5	Aufg. 1a,c,d, 2, 5	Aufg. 1b,e,f, 3, 4	Aufg.: 1a-1e, 2	Aufg.: 1f,3,4, 5
		Punktzahl	Punktzahl	Punktzahl	Punktzahl	Punktzahl
Posttest lineare Lernumgebung	VpnO-2	15,5	11,25	4,25	8,5	7
	VpnO-3	12,5	9,5	3	7	5,5
	VpnO-4	24,25	15,25	9	12	12,25
	VpnO-5	20,5	10,75	9,75	11,25	9,25
	VpnO-7	18,75	9,5	9,25	8,5	10,25
	VpnO-8	23,25	10,75	12,5	8,25	15
	VpnO-14	18,5	11	7,5	11	7,5
Summe		133,25	78	55,25	66,5	66,75
Mittelwert		19,036	11,143	7,893	9,5	9,536
Varianz		17,113	3,768	10,851	3,563	10,780
Standardabweichung		3,830	1,797	3,050	1,747	3,040
Posttest nicht-lineare Lernumgebung	VpnO-1	22,25	9,75	12,5	5	17,25
	VpnO-6	22,75	12,75	10	11,5	11,25
	VpnO-9	14,75	11	3,75	8,5	6,25
	VpnO-10	21,5	13	8,5	10,5	11
	VpnO-11	17,25	7,5	9,75	7,5	9,75
	VpnO-12	35,25	16,5	18,75	19	16,25
	VpnO-13	15,25	7,25	8	6,5	8,75
Summe		149	77,75	71,25	68,5	80,5
Mittelwert		21,286	11,107	10,179	9,786	11,5
Varianz		48,926	10,851	21,327	21,488	15,6875
Standardabweichung		6,476	3,050	4,276	4,292	3,6669
Punktzunahme lineare Lernumgebung	VpnO-2	11,5	7,25	4,25	4,5	7
	VpnO-3	6	4,5	1,5	2,5	3,5
	VpnO-4	5,25	4,25	1	1,5	3,75
	VpnO-5	11,5	5	6,5	6,5	5
	VpnO-7	13,25	4	9,25	4	9,25
	VpnO-8	16	4,5	11,5	2	14
	VpnO-14	9	2	7	2	7
Summe		72,5	31,5	41	23	49,5
Mittelwert		10,357	4,5	5,857	3,286	7,071
Varianz		14,955	2,396	15,039	3,238	13,473
Standardabweichung		3,580	1,433	3,590	1,666	3,398
Punktzunahme nicht-lineare Lernumgebung	VpnO-1	17,75	5,25	12,5	0,5	17,25
	VpnO-6	11,5	1,5	10	2	9,5
	VpnO-9	8,25	6	2,25	4	4,25
	VpnO-10	13,25	4,75	8,5	5,75	7,5
	VpnO-11	7,25	0	7,25	1,75	5,5
	VpnO-12	27,75	10,5	17,25	14	13,75
	VpnO-13	8,25	0,75	7,5	2	6,25
Summe		94	28,75	65,25	30	64
Mittelwert		13,428	4,107	9,321	4,286	9,143
Varianz		53,223	13,518	21,952	21,301	22,560
Standardabweichung		6,754	3,404	4,337	4,273	4,397

Tab. 13.7: Punktzahlen der einzelnen Schülerinnen und Schüler; und gruppenspezifische Mittelwerte, Varianzen und Standardabweichungen.

Versuchsperson	Test	Kategorie					
		NS1	NS2	NS3	S1	S2	S3
VpnGE-1	Prätest	0	3	0	5	16	1
	Posttest	0	0	0	4	18	3
VpnGE-2	Prätest	0	0	0	1	19	1
	Posttest	0	0	0	3	6	3
VpnGE-3	Prätest	4	0	0	8	1	0
	Posttest	0	0	0	3	6	3
VpnGE-4	* Prätest	6	0	0	3	0	0
	Posttest	1	0	0	5	12	4
VpnGE-5	Prätest	0	11	0	2	13	0
	Posttest	0	1	0	1	16	1
VpnGE-6	* Prätest	6	1	0	7	1	0
	Posttest	2	0	0	6	4	1
VpnGE-7	* Prätest	1	3	0	4	8	0
	Posttest	1	0	0	6	12	2
VpnGE-8	* Prätest	6	1	0	3	0	0
	Posttest	0	0	0	3	14	0
VpnGE-9	* Prätest	1	0	0	2	9	0
	Posttest	3	0	0	5	15	1
VpnGE-10	Prätest	6	0	0	9	2	0
	Posttest	0	0	0	1	7	0
VpnGE-11	* Prätest	1	0	0	10	7	0
	Posttest	0	0	0	2	18	2
VpnGE-12	* Prätest	3	8	1	3	3	0
	Posttest	0	0	0	3	9	3
VpnGE-13	* Prätest	1	3	0	6	0	0
	Posttest	1	0	0	3	7	0
VpnGE-14	Prätest	0	0	0	1	19	2
	Posttest	0	0	0	2	14	2
VpnGE-15	Prätest	8	2	0	9	1	0
	Posttest	9	5	0	2	2	0
VpnGE-16	* Prätest	0	0	0	3	4	1
	Posttest	0	0	0	2	13	7
VpnGE-17	Prätest	0	6	0	3	19	2
	Posttest	0	10	0	4	21	1
VpnGE-18	Prätest	31	0	0	2	1	0
	Posttest	0	0	0	2	8	1
VpnGE-19	* Prätest	0	0	0	10	17	2
	Posttest	0	1	0	2	30	4
VpnGE-20	Prätest	7	0	0	7	6	0
	Posttest	0	0	0	1	17	1
VpnGE-21	* Prätest	7	8	1	0	5	0
	Posttest	10	1	0	1	13	3
VpnGE-22	Prätest	17	0	0	3	0	0
	Posttest	1	0	0	2	8	0
VpnGE-23	Prätest	7	0	0	6	1	0
	Posttest	0	0	0	3	6	0
VpnGE-24	* Prätest	1	4	0	2	8	0
	Posttest	0	1	0	2	18	3

*: Versuchsperson (Vpn), die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeiten

Tab. 13.8: Kategorienspezifische Einteilung der Propositionen aus den Maps; aufgeführt sind alle Schülerinnen und Schüler (Vpn) der Hauptstudie (Gymnasium Gelsenkirchen).

	Relationen	Begriffe	Linkage	Zentrale Knoten* ²
Vpn 1: Prätest-Map	25	23	1,086	1 [5]
Vpn 1: Posttest-Map	25	21	1,190	3 [4 ; 4 ; 4]
Vpn 2: Prätest-Map	20	16	1,25	2 [5 ; 5]
Vpn 2: Posttest-Map	12	10	1,2	1 [5]
Vpn 3: Prätest-Map	16	13	1,230	0
Vpn 3: Posttest-Map	12	10	1,2	1 [4]
Vpn 4: Prätest-Map	10	10	1	0
Vpn 4* ¹ : Posttest-Map	22	17	1,294	3 [4 ; 4 ; 4]
Vpn 5: Prätest-Map	24	23	1,043	1 [4]
Vpn 5: Posttest-Map	20	19	1,052	1 [5]
Vpn 6: Prätest-Map	15	16	0,937	0
Vpn 6* ¹ : Posttest-Map	13	13	1	0
Vpn 7: Prätest-Map	19	19	1	1 [4]
Vpn 7* ¹ : Posttest-Map	20	20	1	1 [6]
Vpn 8: Prätest-Map	10	12	0,833	0
Vpn 8* ¹ : Posttest-Map	17	18	0,944	0
Vpn 9: Prätest-Map	10	10	1	1 [4]
Vpn 9: Posttest-Map	22	19	1,157	1 [5]
Vpn 10: Prätest-Map	17	17	1	0
Vpn 10: Posttest-Map	8	9	0,888	1 [4]
Vpn 11: Prätest-Map	19	19	1	1 [4]
Vpn 11* ¹ : Posttest-Map	22	19	1,157	2 [4 ; 6]
Vpn 12: Prätest-Map	19	20	0,95	0
Vpn 12* ¹ : Posttest-Map	15	15	1	2 [4 , 5]
Vpn 13: Prätest-Map	11	13	0,846	0
Vpn 13* ¹ : Posttest-Map	11	13	0,846	0
Vpn 14: Prätest-Map	21	16	1,312	3 [4 , 5 , 6]
Vpn 14: Posttest-Map	18	17	1,058	3 [4 ; 5 ; 5]
Vpn 15: Prätest-Map	20	19	1,052	0
Vpn 15: Posttest-Map	18	20	0,9	0
Vpn 16: Prätest-Map	8	8	1	0
Vpn 16* ¹ : Posttest-Map	14	22	0,636	2 [5 , 6]
Vpn 17: Prätest-Map	33	32	1,031	2 [4 , 6]
Vpn 17: Posttest-Map	35	33	1,060	1 [5]
Vpn 18: Prätest-Map	35	33	1,060	0
Vpn 18: Posttest-Map	11	12	0,916	1 [4]
Vpn 19: Prätest-Map	23	21	1,095	1 [5]
Vpn 19* ¹ : Posttest-Map	37	31	1,193	4 [4 , 5 , 6 , 12]
Vpn 20: Prätest-Map	20	19	1,052	0
Vpn 20: Posttest-Map	19	16	1,187	2 [6 ; 8]
Vpn 21: Prätest-Map	22	28	0,785	0
Vpn 21* ¹ : Posttest-Map	28	30	0,933	1 [6]
Vpn 22: Prätest-Map	21	18	1,166	0
Vpn 22: Posttest-Map	11	12	0,916	0
Vpn 23: Prätest-Map	16	14	1,142	0
Vpn 23: Posttest-Map	9	10	0,9	0
Vpn 24: Prätest-Map	16	15	1,066	2 [4]
Vpn 24* ¹ : Posttest-Map	24	20	1,2	2 [4 ; 8]

*¹: Versuchsperson (Vpn), die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet.

*² = die erste Zahl gibt die Anzahl der zentralen Knoten an; in den eckigen Klammern ist aufgeführt, an wie vielen Propositionen der jeweilige Knoten beteiligt ist.

Tab. 13.9: Strukturiertheit der Maps (Hauptstudie).

	Linkage	Zentrale Knoten* ²
Vpn 1: Prätest-Map	1,086	1 [5]
Vpn 2: Prätest-Map	1,25	2 [5 ; 5]
Vpn 3: Prätest-Map	1,23	0
Vpn 5: Prätest-Map	1,043	1 [4]
Vpn 10: Prätest-Map	1	0
Vpn 14: Prätest-Map	1,312	3 [4 , 5 , 6]
Vpn 15: Prätest-Map	1,052	0
Vpn 17: Prätest-Map	1,031	2 [4 , 6]
Vpn 18: Prätest-Map	1,06	0
Vpn 20: Prätest-Map	1,052	0
Vpn 22: Prätest-Map	1,166	0
Vpn 23: Prätest-Map	1,142	0
	Ø 1,119	Σ: 9
Vpn 1: Posttest-Map	1,19	3 [4 ; 4 ; 4]
Vpn 2: Posttest-Map	1,2	1 [5]
Vpn 3: Posttest-Map	1,2	1 [4]
Vpn 5: Posttest-Map	1,052	1 [5]
Vpn 10: Posttest-Map	0,888	1 [4]
Vpn 14: Posttest-Map	1,058	3 [4 ; 5 ; 5]
Vpn 15: Posttest-Map	0,9	0
Vpn 17: Posttest-Map	1,06	1 [5]
Vpn 18: Posttest-Map	0,916	1 [4]
Vpn 20: Posttest-Map	1,187	2 [6 ; 8]
Vpn 22: Posttest-Map	0,916	0
Vpn 23: Posttest-Map	0,9	0
	Ø 1,039	Σ: 14
Vpn 4: Prätest-Map	1	0
Vpn 6: Prätest-Map	0,937	0
Vpn 7: Prätest-Map	1	1 [4]
Vpn 8: Prätest-Map	0,833	0
Vpn 9: Prätest-Map	1	1 [4]
Vpn 11: Prätest-Map	1	1 [4]
Vpn 12: Prätest-Map	0,95	0
Vpn 13: Prätest-Map	0,846	0
Vpn 16: Prätest-Map	1	0
Vpn 19: Prätest-Map	1,095	1 [5]
Vpn 21: Prätest-Map	0,785	0
Vpn 24: Prätest-Map	1,066	2 [4]
	Ø 0,959	Σ: 6
Vpn 4* ¹ : Posttest-Map	1,294	3 [4 ; 4 ; 4]
Vpn 6* ¹ : Posttest-Map	1	0
Vpn 7* ¹ : Posttest-Map	1	1 [6]
Vpn 8* ¹ : Posttest-Map	0,944	0
Vpn 9* ¹ : Posttest-Map	1,157	1 [5]
Vpn 11* ¹ : Posttest-Map	1,157	2 [4 ; 6]
Vpn 12* ¹ : Posttest-Map	1	2 [4 , 5]
Vpn 13* ¹ : Posttest-Map	0,846	0
Vpn 16* ¹ : Posttest-Map	0,636	2 [5 , 6]
Vpn 19* ¹ : Posttest-Map	1,193	4 [4 , 5 , 6 , 12]
Vpn 21* ¹ : Posttest-Map	0,933	1 [6]
Vpn 24* ¹ : Posttest-Map	1,2	2 [4 ; 8]
	Ø 1,03	Σ: 18
* ¹ : Versuchsperson (Vpn), die mit der nicht-linearen Lernumgebung arbeitet.		
* ² : die erste Zahl gibt die Anzahl der zentralen Knoten an; in den eckigen Klammern ist aufgeführt, an wie vielen Propositionen der jeweilige Knoten beteiligt ist.		

Tab. 13.10: Strukturiertheit der Maps (Hauptstudie);
Vergleich Prä- / Posttestmaps.

	VpnGE-5 * ¹	Zeit	VpnGE- 6 * ²	Zeit	VpnGE- 11 * ²	Zeit
Startseite	1		1		1	
INDEX* ²			2, 4, 26, 28, 30, 49, 58, 65, 72, 76	1:09	2, 46, 54, 63, 65, 72, 76, 80	1:47
Grenzfläche / Grenzflächenspannung	2, 61 [Ende]	4:17	67, 69, 71	0:47	39, 41, 43, 45	0:40
Phasengrenzflächen			68	0:15	44	0:25
Oberflächenspannung (1)	3, 5, 60	2:16	13, 17, 25, 55, 70	2:17	30, 38	0:57
Oberflächenspannung des Wassers	4	0:39	14, 15	0:28		
Oberflächenspannung (2)	6, 59	2:35			31, 33, 35, 37	0:43
Tropfenbildung					34	0:07
Phänomene der Oberflächenspannung					36	0:13
Eigenschaften von Seifenlösungen	7, 9, 58	1:33	3	0:24	3	0:36
Erniedrigung der Oberflächenspannung des Wassers	8, 10, 57	3:30	5, 9, 11, 29	0:26	4, 6, 8, 10, 27, 29, 75	2:57
Ausbildung einer monomolekularen Seifenschicht					9	0:10
Anordnung von Seifenanionen an der Wasseroberfläche			12	1:00	7	0:23
Erniedrigung der Oberflächenspannung					4, 57	0:38
Micellbildung (1)	11, 56	2:08	27, 31, 33, 35, 37, 39, 41	0:47	55, 57, 59	0:45
Micellbildung			32	0:19	56	0:16
Micellbildung (2)	12, 14, 55	0:57	42, 44, 46, 48	0:16	60, 62	0:36
Anordnung von Seifenmolekülen an der Wasseroberfläche und im Wasser	13	0:19	45	0:14	61	0:11
Schaumbildung	15, 17, 54	1:37	73, 75	0:07	47, 49, 51, 52	0:40
Bildung von Seifenschaum	16	0:35			48	0:44
Erniedrigung der Grenzflächenspannung (1)	18, 20, 22, 53	1:13	51, 53, 57, 66	0:43	81, 83	0:37
Erniedrigung der Grenzflächenspannung Wasser-Öl	21	0:42			82	0:24
Erniedrigung der Grenzflächenspannung (2)	19, 23, 25, 52	1:15	54, 56	0:12	84 (ENDE)	0:20
Benetzung wasserabweisender Textilien	24	0:25				
Die waschaktive Wirkung von Seife	26, 28, 51	0:55	77, 79	1:16	76, 78	0:37
Phasen der Schmutzablösung	27	1:02	78, 80	1:50	77, 79	0:52
1. Phase: Benetzung	29, 31, 50	2:27	50, 59, 61, 81	4:26	64, 66, 68, 73	3:00
Versuch zur Benetzung	30	0:27	60	0:11	67	1:20
2. Phase: Verminderung der Schmutzhaftung	32, 49	1:58	62	2:00	69, 74	3:45
3. Phase: Ablösen des Schmutzes von der Faser	33, 48	0:39	63	0:15	70	2:13
4. Phase: Halten des Schmutzes in der Lösung	34, 47	1:20	64	1:19	71	4:27
GLOSSAR* ¹	35, 37, 39, 40, 42, 44, 46	0:53				
Begriffsdefinitionsseiten						
Adhäsionskräfte	35	0:07				
Dipolmolekül	38	0:10	15, 19	1:02		
Dispersion	39	1:00	74	6:59	50	0:38
Dynamisches Gleichgewicht	41	0:44	43, 47	0:53		
Elektronegativität			21, 23	1:13		
Ester					18	0:46
Fette					20	0:53
Fettsäuren					13, 15, 17, 19, 21	1:15
Fettsäuren Beispiele					14, 16	0:22
Hydrophil / Lipophob					23	0:06
Hydrophob / Lipophil			7, 34, 36	0:24	25	1:11
Phasen					42	2:02
Polarität					32	0:24
Seife / Seifenanion	45	0:06	6, 8, 38, 52	1:19	12, 22, 24, 26, 52	0:21
Tenside	43	0:11			40	4:42
Van-der-Waals-Kräfte			40	1:08		
Wasserstoffbrückenbindung			10, 18, 20, 22, 24	3:07	28	0:50

Tab. 13.11: Navigationsverlauf (lineare*¹ und nicht-lineare*² Lernumgebung); Bei der Zeitnahme wurden nur Seiten berücksichtigt, auf denen mindestens 5 Sekunden verweilt wurde (grau schattierte Seiten sind Hauptseiten).

Lebenslauf

Name: Kummer
Vorname: Thomas
Geburtsdatum: 16.02.1969
Geburtsort: Wanne-Eickel (Herne 2)
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig
Adresse: Waltraudstr. 18
45888 Gelsenkirchen

Schulbesuch: 01.08.1975 - 26.06.1979
Grundschule an der Bickernstraße (Gelsenkirchen)
01.08.1979 - 13.06.1985
Gesamtschule Berger-Feld (Gelsenkirchen)
06.08.1985 - Juli 1988
Gymnasiale Oberstufe der Gesamtschule
Berger-Feld mit dem Abschluss:
„Allgemeine Hochschulreife“

Wehrersatzdienst: 08.07.1987 - 02.08.1997
Katastrophenschutz Gelsenkirchen;
18 Monate Zugführer des 1. ABC-Zuges

Ausbildung: September 1988 - August 1991
Abgeschlossene Berufsausbildung als
Chemielaborant bei der Th. Goldschmidt AG in Essen

Studium: Oktober 1991 - Juni 1997
Studium Lehramt Sek. I/II Biologie/Chemie an der
Universität GH Essen mit dem Abschluss:
„Erste Staatsprüfung für die Lehrämter für die
Sekundarstufe I und II“

Anstellung: Sept. 1997 - Dezember 2000
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Didaktik
der Chemie an der Universität GH Essen

Weiterbildung: 1999
Fernstudiengang "Neue Bildungsmedien" der
Tele-Akademie Furtwangen
2000
Fernstudiengang "Experte für neue
Lerntechnologien" der Tele-Akademie Furtwangen