

Sumfleth, Elke; Telgenbüscher, Lucyna  
**Chemielernen mit Bildern durch aktive Gestaltung der Lernumgebung -  
Beispiel Additionsreaktionen**

*Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* : ZfDN 6 (2000), S. 97-113



Quellenangabe/ Reference:

Sumfleth, Elke; Telgenbüscher, Lucyna: Chemielernen mit Bildern durch aktive Gestaltung der Lernumgebung - Beispiel Additionsreaktionen - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 6 (2000), S. 97-113 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315465 - DOI: 10.25656/01:31546

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315465>

<https://doi.org/10.25656/01:31546>

in Kooperation mit / in cooperation with:



**IPN**

Leibniz-Institut für die Pädagogik der  
Naturwissenschaften und Mathematik

<https://www.leibniz-ipn.de>

#### Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

#### Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

#### Kontakt / Contact:

peDOCS  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Digitalisiert

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

ELKE SUMFLETH UND LUCYNA TELGENBÜSCHER

## Chemielernen mit Bildern durch aktive Gestaltung der Lernumgebung – Beispiel Additionsreaktionen

### Zusammenfassung:

Die Lernergebnisse beim Chemielernen mit Bildern werden einerseits durch Lernerkmale, andererseits durch Bildmerkmale bestimmt. Die Qualität der Transferleistungen von Laien, nicht die von Experten, hängt erheblich von den Bildmerkmalen ab. In Text integrierte „steps & parts“-Bilder bieten den Lernenden bessere Möglichkeiten, Prozesse und Zusammenhänge zu erfassen, als Einzelbilder. Demgegenüber wirken sich zusätzliche Fragen zum Bild nicht lernfördernd aus. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, daß sich die aktive Teilnahme der Lernenden an der Entwicklung des Lernmaterials positiv auf Transferleistungen der Lernenden auswirkt. Die Lernenden müssen den Inhalt der Bilder, Textpassagen und Formeln vergleichen, um sie zu einer „steps & parts“-Bild-Text-Kombination zusammenzufügen. Dabei treffen sie während des Gestaltungsprozesses selbständige Entscheidungen im Hinblick auf die Repräsentationsform, kombinieren externe Repräsentationen sinnvoll, evaluieren Entwürfe und begründen die Wahl.

### Abstract:

The results of learning chemistry by means of illustrations are determined by characteristics of the learners and the illustrations themselves. In case of the novices - but not of the experts - the quality of transferial work considerably depends on characteristics of the illustrations. Using 'step & parts' illustrations which are integrated into text - instead of single illustrations learners have better chances in comprehending processes and relationships. In contrast, additional questions concerning the meaning of the picture do not promote learning. The results show that active participation in constructing learning material improve transferial capabilities. Constructing a 'steps & parts' illustration-text-combination, the learners have to compare the contents of illustrations, text strains and formulas. They have to choose the representation form to combine external representations, to evaluate preliminary drafts and to justify their choice during the designing process.

### 1. Einleitung

Ergebnisse früherer Untersuchungen (Sumfleth & Telgenbüscher 2000 a, 2000 b) zeigen, daß die Lernergebnisse beim Chemielernen mit Bildern einerseits durch das Vorwissen der Lernenden (Lernerkmale), andererseits durch die Strukturierung des Bildes (Bildmerkmale) bestimmt werden. Es konnte gezeigt werden, daß die Qualität der Transferleistungen von Laien, nicht die von Experten, erheblich von den Bildmerkmalen abhängt. In Text integrierte „steps & parts“-Bilder bieten den Lernenden bessere Möglichkeiten, Prozesse und Zusammenhänge zu erfassen, als Einzelbilder. Demgegenüber zeigen während der Bildbetrachtung zu beantwortende Fragen zum Bildinhalt keinen lernfördernden Effekt. Eine mögliche Ursache kann darin liegen, daß diese instruktionale Maßnahme die grundsätzliche Rollen-

verteilung nicht ändert, bei der die intensivste kognitive Verarbeitung auf der Seite des Instruktionsgestalters liegt. Diese Arbeit erfordert hohe kognitive Aktivität (Dunlap & Grabinger 1996), die analytische Prozesse, Wissensanwendung und Evaluation umfaßt. Von den Lernenden wird dagegen eine Aktivität in dem von Lehrenden bzw. von Lernmaterialautoren vorgegebenen Rahmen, also kognitive Aktivität auf einem niedrigeren Niveau, verlangt. In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, in wieweit die aktive Teilnahme der Lernenden an der Entwicklung des Lernmaterials die Intensität der Bildverarbeitung erhöht.

### 2. Informationsverarbeitung und Konstruktivismus

Der „kognitive Konstruktivismus“ (Derry 1996) greift sowohl Gedanken der modernen

Informationsverarbeitungstheorie als auch konstruktivistische Auffassungen von Lernen auf. Dem kognitiven Konstruktivismus liegt die gegenwärtig in der Lernprozeßforschung akzeptierte Metapher der Wissenskonstruktion zugrunde, bei der das Lernen als ein Prozeß der aktiven mentalen Konstruktion seitens der Lernenden betrachtet wird und bei der Lehren als Unterstützung der Wissenskonstruktion durch die Lernenden verstanden wird (Mayer 1997). Der kognitive Konstruktivismus orientiert sich einerseits an den Lernprozessen des Individuums, betrachtet sie aber im sozialen Kontext (Phillips 1995). Zwischen der Annahme der Empiristen, daß der Verstand durch die Natur auf eine passive Weise gestaltet wird und der Position des radikalen Konstruktivismus (von Glasersfeld 1990), daß das gesamte Wissen das Ergebnis der zielgerichteten Konstruktion des Lernenden ist, befinden sich verschiedene hybride Informationsverarbeitungshypothesen. Sie erklären das Denken als Interaktion zwischen den datengesteuerten Einflüssen der Umgebung einerseits und der absichtlichen, reflexiven mentalen Konstruktion andererseits (Mayer 1997).

Nach Derry (1996) weist die Informationsverarbeitungstheorie konstruktivistische Orientierung auf, da die Lernenden durch ein Wechselspiel von Top-Down- und Bottom-Up-Prozessen auf der Basis präsentierter Informationen eigene mentale Repräsentationen konstruieren, die mit der mentalen Repräsentation der Informierenden möglichst übereinstimmt. Dabei werden mehrere Kommunikationstechniken angewandt, wie z.B. Strukturierung von Texten, Hinweise, die die Relevanz bestimmter Inhaltselemente hervorheben, oder eine bestimmte Sequenz der präsentierten Ideen, die das Verstehen der Sichtweise der Autorin bzw. des Autors erleichtern sollen (Tergan 1997). Kritiker betonen, daß eine einseitige Darstellung des Inhalts unzureichend sei, um die Konstruktion einer den Wissenstransfer ermöglichenden mentalen Repräsentation des Inhalts durch die Lernenden zu fördern (Spiro, Feltovich, Coulson & Anderson 1988).

In das Paradigma der Informationsverarbeitung gehört zweifellos die Theorie der dualen Kodierung (Paivio 1971, 1986), die vielfach der Entwicklung von (multi)medialen Lernumgebungen zugrunde liegt. Paivio unterscheidet zwei voneinander unabhängige Repräsentationssysteme, die 'Logogene', die der Verarbeitung verbaler Informationseinheiten dienen, und die 'Imagene', die für die Verarbeitung sprachfreier Informationseinheiten zuständig sind. Am effektivsten ist die referentielle Verarbeitung, bei der beide Repräsentationssysteme miteinander kooperieren. Dies erklärt das bessere Behalten von Informationen aus einem Bild im Vergleich zu Informationen aus einem Text. Da der Bildvorteil aber deutlich über das Behalten hinausgeht, liegt es nahe, daß Bilder die Generierung von mentalen Modellen unterstützen (Schnotz 1993). Die Annahme, daß multiple Repräsentationen des Inhalts zur Entwicklung multipler mentaler Repräsentationen beitragen und somit die Effektivität des Lernens erhöhen (Tergan 1997), war ein geeigneter Ausgangspunkt für die ersten Studien zu multimedialen Lernumgebungen. Der theoretische Ansatz von Engelkamp & Zimmer (1994) schreibt diesen Gedanken fort und bricht mit der traditionellen Annahme eines einzigen Gedächtnissystems. Die zentrale Idee ist eine multimediale Kodierung im Gedächtnissystem, in der neben der visuellen und verbalen auch die motorische Repräsentation von Bedeutung ist. Daraus folgt, daß das Behalten von Informationen erhöht werden kann, wenn multimodale externe Repräsentationen in verschiedenen kognitiven Systemen verarbeitet und mental repräsentiert werden. Wenn Informationen simultan durch verschiedene Codes repräsentiert und durch verschiedene Wahrnehmungsmodi verarbeitet werden, werden sie auch simultan in verschiedenen Hirnarealen verarbeitet („hemisphärische Spezialisierung“, Weidenmann 1995). Dies sollte die Effektivität des Lernens steigern.

Die konstruktivistische Perspektive (z.B. von Glasersfeld 1990) bestimmt gegenwärtig die Theoriediskussion in der naturwissenschafts-didaktischen Forschung. Konstruktivisten

plädieren für die Schaffung von Lernumgebungen, die zu durchdachtem Experimentieren, zur Diskussion und zur Aufhebung von kognitiven Konflikten anregen. Zentral für den Wissenserwerb ist das soziale Aushandeln von Bedeutungen zwischen Lehrenden und Lernenden (Mandl & Gerstenmaier 1995). Großer Wert wird auf die Konstruktion des im Rahmen der Gesellschaft sinnvollen Wissens gelegt. In konstruktivistischen Lernumgebungen werden die unterschiedlichen konzeptuellen Perspektiven und die Anwendung in unterschiedlichen Kontexten aufgezeigt. Lernende konstruieren ihr Wissen aktiv und selbstverantwortlich durch Fragen, durch Generierung von Interpretationen oder durch Vergleichen alternativer Sichtweisen. Bezogen auf mediale Lernangebote bedeutet dies: Wenn die Lernenden das Material selbst entwerfen, erreichen sie einen höheren Lernerfolg, als wenn sie die Medien als bloße Präsentationsmedien benutzen (Duffy & Jonassen 1992). Die Lernenden werden sich in konstruktivistischen Lernumgebungen des Wissenskonstruktionsprozesses bewußt und können diesen eher steuern (Cunningham, Duffy & Knuth 1993). Auch diese Positionen werden kritisch diskutiert, da die Effektivität multimedialer Lernumgebungen eher bescheiden ist (Tergan 1997). Multimediale Lernumgebungen besitzen das Potential zur Unterstützung der Konstruktion von multiplen mentalen Repräsentationen, Lernende nutzen dies aber keineswegs spontan zur Erforschung von alternativen Perspektiven. Vielmehr folgen sie eher vordefinierten Pfaden durch einen Hypertext, anstatt alternative Herangehensweisen (Routen) auszuprobieren.

Einerseits werden bei der Gestaltung von Instruktionsmaterial im Paradigma der Informationsverarbeitung mentale Prozesse und die Eigenaktivität der Lernenden berücksichtigt, andererseits schließt eine gemäßigt konstruktivistische Auffassung eine Anleitung und Unterstützung durch Lehrende nicht aus (Weinert & Helmke 1995). Somit sind Instruktion und Konstruktion nach Mandl & Reinmann-Rothmeier (1995) nur ein vermeintlicher Gegensatz.

### 3. Lernen mit Texten und Bildern

#### 3.1. Voraussetzungen des Lernens mit Text-Bild-Kombinationen

Neben dem Vorwissen der Lernenden wird das Lernen mit Text-Bild-Kombinationen bei gegebenem Instruktionsmaterial vor allem durch die Einstellung der Lernenden zu den Medien, durch ihre „visual literacy“ und durch die Verarbeitungstiefe bestimmt. Während Text oft als schwierig gilt, werden Bilder als leichtes Medium angesehen. Das Zusammenfügen von beiden Informationsarten zu einer Gesamtinformation bereitet aber häufig ganz besondere Schwierigkeiten (Lewalter 1997). Visual literacy, die Fähigkeit zur Entschlüsselung von Bildern muß erlernt werden (Weidenmann 1993).

Die meisten informativen Bilder haben darstellende und steuernde Eigenschaften. Die darstellende Codierung dient zur Konstruktion der Oberflächenstruktur, die vom Rezipienten in Analogie zur Wahrnehmung der realen Welt verarbeitet wird (ökologischer Verstehensmodus). Darstellungscodes simulieren Konturen, Schatten, Perspektiven. Demgegenüber steuern Pfeile, Farben, Ausschnittsvergrößerungen die Bildverarbeitung explizit, während zu den impliziten Steuerungscodes absichtliche Variationen der Darstellungscodes gehören. Die Relevanz eines Bildelementes kann z.B. durch eine besonders große oder besonders detaillierte Darstellung hervorgehoben werden. Lernende können durch zwei oder mehrere nebeneinander oder übereinander montierte Abbildungen zum Vergleichen angeregt werden Voraussetzung für die Wirksamkeit der Steuerungscodes ist allerdings, daß sie als solche erkannt und zutreffend verarbeitet werden. Die Lernenden können dabei nicht auf Routinen der Wahrnehmung zurückgreifen. Dadurch wird die Bildverarbeitung zu einer Problemlöseaktivität. Lernende müssen die Absichten und Entscheidungen des Bildproduzenten rekonstruieren (Weidenmann 1988, 1994). Dieses indikatorische Bildverstehen baut auf dem ökologi-

schen Verstehen auf. Die empirische Befundlage zum indikatorischen Bildverstehen ist sehr spärlich, da sich die Bildbetrachtung in Alltags-Situationen und während der psychologischen Datenerhebung erheblich unterscheidet. Demnach ist die Intensität des Bildverstehens eine zentrale Variable. Sie kann durch direkte Hinweise, worauf bei der Bildbetrachtung geachtet werden soll, oder durch die Aufforderung, die Zusammenhänge zwischen bestimmten Bildelementen zu nennen und die Bedeutung räumlicher Beziehungen im Bild zu erklären, erhöht werden. Eine andere Art der Anleitung besteht in der Vorgabe von Fragen oder Aufgaben, die die Lernenden zur systematischen Bildung von semantischen Beziehungen zwischen den Elementen des jeweiligen mentalen Modells veranlassen. Im Kontext des Chemielernens konnte bei den zusätzlichen Fragen kein lernfördernder Effekt nachgewiesen werden (Sumfleth & Telgenbüscher 2000 b). Für Lernende ist die Beantwortung von Fragen eine weitere Aufgabe, die es mit Hilfe des Bildes zu bewältigen gilt, ohne daß tiefergehende Überlegungen notwendig werden. Bedenkt man, daß die intensivste kognitive Verarbeitung auf der Seite des Instruktionsgestalters liegt (Dunlap & Grabinger 1996), so könnte die aktive Teilnahme der Lernenden an der Entwicklung des Lernmaterials die Intensität der Bildverarbeitung erhöhen.

### 3.2. Verarbeitung von Text-Bild-Kombinationen

Ballstaedt (1997) unterscheidet kongruente (redundante), komplementäre und elaborative Beziehungen zwischen Text und Bild. In typischen Text-Bild-Kombinationen in Lehrbüchern kommen manchmal in derselben Darstellung alle drei Typen vor. Eine kongruente bzw. redundante Text-Bild-Beziehung zeichnet sich dadurch aus, daß die gleichen Informationen sowohl visuell im Bild als auch verbal im Text angeboten werden. Streng genommen kann es allerdings keine Kongruenz zwischen Bild und Text geben. Der Grund dafür ist, daß ein Bild stets mehr

Informationen über sichtbare Merkmale und räumliche Beziehungen vermittelt als Sprache (Kjrup 1989). Außerdem ist der Sinn instruktionaler kongruenter Beziehungen umstritten, da Lernende bei einem verdoppelten Angebot oft nur eine Darstellungsform berücksichtigen (Braden 1994). Komplementarität liegt vor, wenn zum Gesamtverständnis die Integration beider Darstellungsformen zwingend erforderlich ist. Ballstaedt (1997) räumt ein, daß die Forderung nach komplementären Text-Bild-Kombinationen zwar theoretisch gut begründet ist, die Realisierung aber Schwierigkeiten bereitet. Bei elaborativen Text-Bild-Relationen gehen die Informationen im Bild über das im Text Gesagte oder die im Text über das im Bild Gezeigte hinaus. Der Einsatz derartiger Kombinationen ist nur unter der Voraussetzung sinnvoll, daß die Lernenden über das notwendige Vorwissen verfügen. Sie spielen deshalb bei Lernmaterial nur eine untergeordnete Rolle. Insgesamt ist die sprachliche Steuerung des Bildverstehens noch ein wenig gelöstes Problem (Ballstaedt 1997).

Generell werden Bilder als visuelle Hilfen betrachtet, die den Lernenden die Konstruktion von Wissen in Form von mentalen Modellen erleichtern. Dies wird dadurch unterstrichen, daß erfolgreich Lernende Bilder intensiver nutzen als weniger erfolgreiche (Schnotz, Picard & Hron 1991). Bilder können sowohl die Komponenten eines mentalen Modells als auch die Relationen zwischen ihnen effektiver präsentieren als sprachliche Erklärungen. Nach Mayer (1992, 1993, 1994, Mayer & Gallini 1990) lenken sie die Aufmerksamkeit der Lernenden auf relevante Informationen (Selektionsfunktion) und helfen den Lernenden, dynamische Zusammenhänge zu verstehen (Organisationsfunktion) und neu erworbene Informationen in das Vorwissen zu integrieren (Integrationsfunktion). Sie unterstützen sinnvolles Lernen, nicht aber wortwörtliches Behalten von Text oder von Detailinformationen aus dem Bild. Die lernwirksamsten erklärenden Bilder scheinen „steps-and-parts“-Bilder zu sein. Diese bestehen aus mehreren Einzelbildern, von denen jedes

einen anderen Schritt eines Prozesses darstellt (Mayer & Gallini 1990, Sumfleth & Telgenbüscher 2000 b). Dies wirkt sich vor allem bei Lernenden mit geringem Vorwissen positiv aus.

Nach Schnotz & Mikkilä (1991) werden Text und Bild als komplementäre Informationsquellen aufgefaßt, da sie ein Objekt sowohl auf eine symbolische als auch auf eine analoge Art repräsentieren und tragen deshalb auf verschiedene Art und Weise zur Konstruktion eines mentalen Modells bei. Schnotz (1996) erklärt Lernen mit Bildern und Texten als eine Interaktion zwischen propositionalen Repräsentationen und mentalen Modellen. Propositionale Repräsentationen werden mit einem relativ geringen kognitiven Aufwand anhand sprachlicher Informationen gebildet (Anderson 1996) und sind aufgrund ihrer Nähe zur Sprache gut geeignet, den semanti-

schen Gehalt einer sprachlichen Information zu speichern. Dagegen erfordert die Konstruktion eines mentalen Modells anhand sprachlicher Informationen einen höheren kognitiven Aufwand (Schnotz 1998). Das vorgestellte Verarbeitungsmodell der visuellen und der sprachlichen Informationen ist ein Modell, mit dem nicht nur die Verbesserung der Behaltensleistung, sondern auch das tiefere Verstehen der präsentierten Konzepte erklärt werden kann.

#### 4. Untersuchungsdesign und Testverfahren

##### 4.1. Hypothesen und Design

Die theoretischen Ansätze zum Lernen mit Texten und Bildern und die bereits vorgeleg-

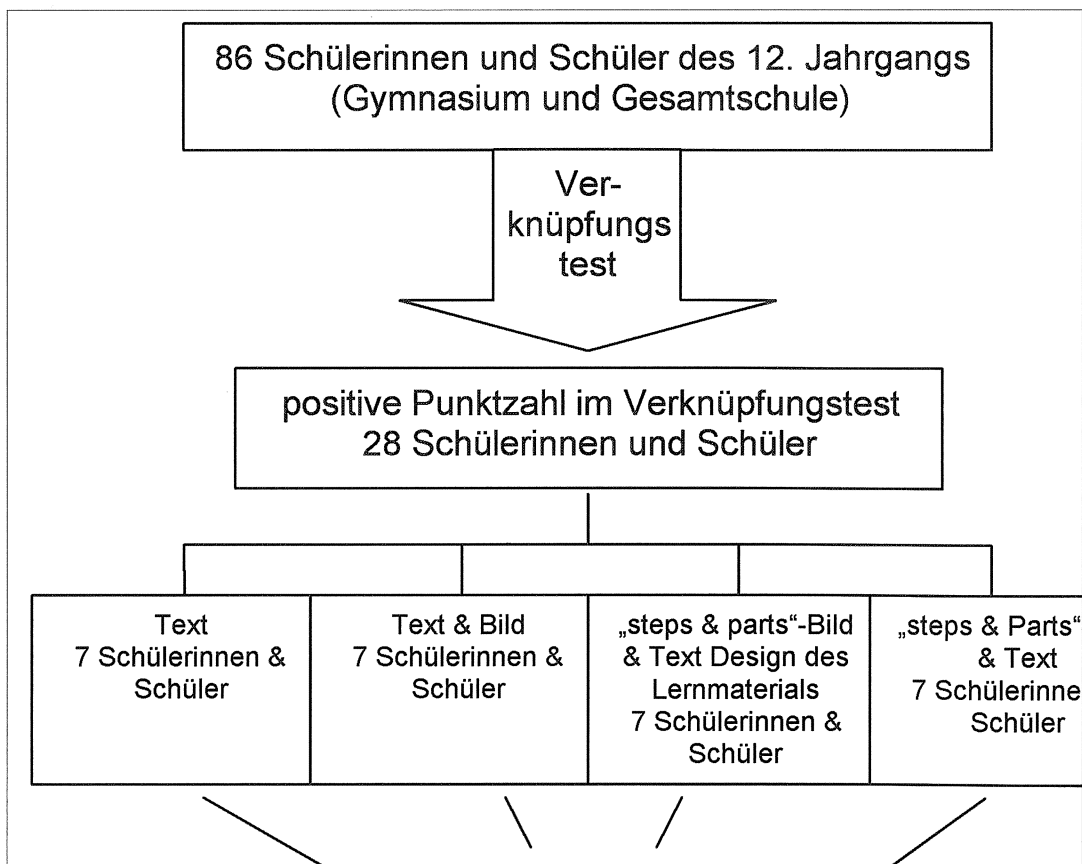


Abb. 1: Untersuchungsdesign

ten Studien (z.B. Sumfleth & Telgenbüscher 2000 b) führen für diese Untersuchung zu folgenden Hypothesen:

1. Das „steps & parts“ Bild erleichtert den Laien die Generierung eines adäquaten mentalen Modells. Dies führt zu einer verbesserten Lernleistung im Vergleich zu Laien, die mit einer üblichen Text-Bild-Kombination lernen.
2. Eine Lernumgebung, in der die Lernenden aus einem umfangreichen Angebot an externen Repräsentationen eine „steps & parts“-Bild-Text-Kombination entwickeln, begünstigt eine tiefere Verarbeitung des Lernmaterials, die zu einer verbesserten Lernleistung führt.

Die Untersuchung wird mit Schülerinnen und Schülern der 12. Jahrgangsstufe durchgeführt, weil das Material der Lernumgebung von den Schulbuchautoren für diese Altersgruppe bestimmt ist. Da die Bearbeitung des ausgewählten Lernmaterials Vorwissen über Kohlenwasserstoffe erfordert, wird dieses mit Hilfe eines Verknüpfungstests erhoben. Aus einer Gruppe von 86 Schülerinnen und Schülern von zwei Gesamtschulen und vier Gymnasien werden entsprechend dem Ergebnis des Verknüpfungstests 28 Versuchspersonen ausgewählt, die hinsichtlich ihres Vorwissens vergleichbar sind. Diese werden zufällig auf vier Gruppen mit den unterschiedlichen Lernumgebungen verteilt (Abb. 1).

Zur Erhebung von Daten zum Vorwissen wird ein Verknüpfungstest (Sumfleth 1988, Sumfleth & Telgenbüscher 2000 b) und zur Erhebung von Daten zum Lernerfolg ein leitfadenorientiertes Interview durchgeführt, um detaillierte Aussagen zu den Ursachen der Lernwirksamkeit der Instruktionsmaterialien zu erhalten. Im Gegensatz zu Papier-Bleistift-Tests können hierbei unklare Antworten geklärt werden.

#### 4.2. Beschreibung der Lernumgebungen

Die vier Probandengruppen unterscheiden sich durch ihre Lernumgebungen. In der Text-Lernumgebung (L I) wird ein Schulbuchtext (Jakob, Hoffmann & Glöckner

1987) zur elektrophilen Addition von Brom an Alkene eingesetzt. In der „Text & Bild“-Lernumgebung (L II) wird dieser Text mit dem dazugehörigen Schulbuchbild eingesetzt. Das Bild visualisiert in drei unterschiedlichen Teilen die phänomenologische (Experiment), die molekulare (Reaktionsablauf) und die symbolische (Kalottenmodelle) Ebene. Das Text-Bild-Verhältnis ist teilweise redundant, teilweise komplementär. Der Entwicklung der dritten Lernumgebung (L III) liegt die Idee einer konstruktivistischen Lernumgebung zugrunde (vgl. z.B. Tergan 1997, Jonassen, Myers & McKillop 1996). Die Lernenden werden dabei zu Designern von Lernmaterial, indem sie die für ihre individuellen Bedürfnisse benötigten Informationen und Beispiele aussuchen und eine Argumentation vorbereiten, um ihren Entwurf zu rechtfertigen. Die Lernenden verlassen dabei die Rolle der passiven Medienkonsumenten. Durch das aktive Nutzen unterschiedlicher Materialien werden die Inhalte tiefer verarbeitet. Diese Lernumgebung umfaßt ein Angebot von 7 Bildern aus verschiedenen Schulbüchern, die unterschiedliche Versuche zum Thema Addition darstellen, und verschiedene Bildfolgen, die den Reaktionsmechanismus visualisieren. In der einen Bildfolge geschieht dies anhand von Kalottenmodellen, in der anderen anhand von „Elektronenwolken“-Modellen (Sumfleth, Hüllen und Telgenbüscher 2000) und in der dritten anhand von Strukturformeln auf der symbolischen Ebene. Der Text wird in elf Einheiten unterteilt, die auf getrennten Papierstreifen gedruckt wurden. Die Lernenden entwickeln aus dem vorhandenen Angebot eine Text-„steps & parts“-Bild-Kombination.

In der Text-„steps & parts“-Bild-Lernumgebung (L IV) wird die von den Lernenden in der Lernumgebung III ausschließlich gewählte Bildfolge auf der Basis der Elektronenwolkenmodelle in Begleitung des Textes der Lernumgebung I eingesetzt. Dieser Text wird in Textabschnitte unterteilt und den entsprechenden Teilbildern zugeordnet. Der Versuchsaufbau (makroskopische Ebene) wird großzügig beschriftet und mittels eines Teil-

bildes in Gegenwart der entsprechenden sprachlichen Beschreibung dargestellt. Die wichtigsten Informationen im Text werden durch Fettdruck hervorgehoben, eingekreist und mit entsprechenden Bildinformationen verbunden. Das Text/Bild-Verhältnis ist redundant. Um das Vorwissen der Lernenden zu aktivieren, wird dem Reaktionsmechanismus ein beschriftetes Teilbild, das die Bindungen im Ethenmolekül visualisiert, vorangestellt.

### 4.3. Testverfahren

#### 4.3.1. Der Verknüpfungstest

Den Versuchspersonen wird eine Liste von Begriffen (Alken, Additionsreaktion, (-Bindung, (-Bindung, Brom, Doppelbindung, Entfärbung, Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung, Kohlenwasserstoff, Orbital, Überlappung) vorgelegt, die in Sätzen zu sinnvollen Aussagen verknüpft werden sollen. Alle vorkommenden Verknüpfungen werden mit jeweils einem Punkt bewertet, falsch hergestellte mit negativen Punktwerten. Für die Interviews werden Lernende mit Grundlagenwissen in Organischer Chemie ausgewählt, die mehr richtige als falsche Verknüpfungen formulieren, also eine positive Gesamtpunktzahl erreichen.

#### 4.3.2. Das Leitfaden-Interview

Mithilfe eines Leitfaden-Interviews (Sumfleth & Telgenbüscher 2000 c) werden Daten über

die Qualität der von den Lernenden generierten mentalen Modelle erhoben. Ziel ist, den Einfluß des Lernmaterials auf den Problemlöseprozeß herauszuarbeiten. Hierzu wird sowohl die Behaltens- als auch die Transferleistung getestet. Es wird ein Leitfaden (Tab. 1) konzipiert, der den Problemlösetransfer auf der phänomenologischen, auf der atomarmolekularen und auf der symbolischen Darstellungsebene chemischer Sachverhalte überprüft. Die Behaltensleistung der Versuchspersonen wird erhoben, indem die Lernenden retrospektiv über die behaltenen Inhalte berichten. Zu Beginn des Interviews erklären die Interviewten unklare Sätze aus dem Verknüpfungstest. Die Interviews werden auf Audio- und Videocassetten aufgenommen und anschließend transkribiert. Der Interviewablauf wird so einschließlich der Gesten vollständig dokumentiert.

Im Rahmen der Aufgabe, die im Sinne von Vorhersage-Beobachtung-Erklärung gestellt ist, wird als Beispiel die Reaktion von Bromwasser mit Hexen, ein der im Lernmaterial besprochenen Bromierung von Ethen ähnliches Phänomen, vorgestellt. Die Versuchsperson wird aufgefordert, den Ausgang des Experiments vorherzusagen, die Beobachtung zu beschreiben und zu erklären. Danach wird eine detaillierte Wiedergabe des Reaktionsablaufs auf der molekularen Ebene verlangt. Im nächsten Interviewabschnitt werden zwei über die Lernmaterialbasis hinausgehende Probleme diskutiert. Die Versuchspersonen sollen einerseits erklären, welches Produkt (Bromal-

Aufgabe	Ziel: Überprüfung von
Aufklärung einiger Sätze aus dem Verknüpfungstest	Vorwissen
Aufgabe im Sinne von Vorhersage-Beobachtung-Erklärung	Konzeptverstehen auf der phänomenologischen Ebene
Wiedergabe und Erklärung der zu lernenden Inhalte auf der Molekülebene	Konzeptverstehen auf der Molekülebene (u.a. stereochemisches Verhalten) Umgang mit Symbolen
Lösen von 2 weiteren Problemen aus dem Bereich der zu lernenden Inhalte	Wissenstransfer

Tab. 1: Struktur und Ziele des Interviews

kohol) neben Dibromalkan in dem vorgeführten Versuch entsteht, und andererseits mögliche Nebenprodukte einer elektrophilen Addition von Brom in Natriumchlorid-Lösung erörtern.

Zur Auswertung werden die Antworten zur Vorhersage-Beobachtung-Erklärung-Aufgabe nach Ideeneinheiten analysiert, weil die Lernenden zur Beschreibung sehr unterschiedliche Begriffe benutzen. Mit Blick auf die Erklärung wird explizit darauf geachtet, ob das Beobachtete auf der Teilchenebene interpretiert wird. Für den nachfolgenden Teil des Interviews wird die Auflösung nach Begriffspaarverknüpfungen vorgenommen, weil dieser sprachlich sehr viel einheitlicher ist. Die Analyse erfolgt mit Hilfe eines Auswertungsgrundnetzes, bestehend aus drei Bereichen, dem Sprach-, dem Symbol- und dem Bildbereich. Die Sprachebene enthält nur Begriffe der molekularen Ebene, da die Behaltensleistung nur auf dieser Ebene untersucht wird. Zum Vergleich der Qualität der Aussagen wird die Anzahl der zur Beschreibung benutzten Begriffspaarverknüpfungen (extent of knowledge) bestimmt (White & Gunstone 1992). Aussagen zur Richtigkeit werden anhand der Häufigkeiten von Falschaussagen gemacht.

Zur qualitativen Auswertung der Problemlösungen werden die vermuteten Problemräume, die Strategien bei der Lösungssuche und die Ausführung der Problemlösungen individuell betrachtet. Zum Vergleich der Vorgehensweisen wird das von Atwater et al. (1995) entwickelte Instrumentarium (PCCF - problem-solving category coding form) in modifizierter Form eingesetzt. Dabei wird unterschieden nach: Organisation des Problemraums, Erinnerung der Konzepte, Überlegung auf der atomar-molekularen Ebene, Nutzung eines Algorithmus (z.B. Regeln zum Aufstellen der Lewis-Formeln), Strategie (z.B. Erinnerung der Lösung eines analogen Problems, Mittel-Ziel-Analyse, Dekomposition und Simplifizierung, trial & error, usw.), Erreichen der korrekten Lösung und Evaluation der Lösung (z.B. erneute Verfolgung der Problemlöseschritte, Nachfrage bei der Interviewerin).

## 5. Ergebnisse

Alle Versuchspersonen der Lernumgebung III entscheiden sich mit Blick auf den Reaktionsmechanismus für die Visualisierung der atomar-molekularen Ebene mit Hilfe der Elektronenwolken-Modelle und bilden ausschließlich richtige Text-Bild-Kombinationen. Von den sieben verschiedenen Abbildungen von Versuchen zur Bromierung von Alkenen wählen vier Versuchspersonen eine Bildkombination bestehend aus einem Photo und einer großzügig beschrifteten Zeichnung eines Versuchsaufbaus. Zwei weitere entscheiden sich für die Zeichnung, die die Versuchspersonen der Lernumgebung II erhalten und einer wählt die Zeichnung, in der die Einleitung von Ethen in eine Waschflasche mit Bromwasser dargestellt ist.

### 5.1. Aufgabe im Sinne von Vorhersage-Beobachtung-Erklärung

Zwei Probanden der Textgruppe (I) sind bei der Aufgabe im Sinne von Vorhersage-Beobachtung-Erklärung nicht in der Lage, den Versuchsausgang vorauszusagen. Sie raten das Ergebnis: „*Da setzt sich bestimmt was ab*“ oder „*Es wird dann wahrscheinlich hellbraun werden*“. Sie stellen also keinen Bezug zum Phänomen her. Auch in den Lernumgebungen II (Text und Bild) und IV (Text und „steps & parts“-Bild) wird von einem bzw. zwei Probanden das Bild des Versuchs nicht beachtet oder nicht verstanden, so daß der Ausgang eines analogen Versuchs nur geraten werden kann: „*Es wird reagieren. ... Daß sich die beiden Stoffe dunkel färben.*“ oder „*Ja, die Farbe ändert sich auf jeden Fall. ... Blau, glaube ich.*“ Die Versuchspersonen der Lernumgebung III (Design eines „steps & parts“-Bildes), die eine geeignete Abbildung auswählen können, machen hingegen korrekte Vorhersagen. Nur vier der Versuchspersonen der Lernumgebung I (Text), aber alle übrigen, geben explizit an, daß die Entfärbung auf die Addition von Brom zurückzuführen ist. Ihnen gelingt also eine Erklärung der Beobachtung und damit eine Verknüpfung der zwei Deutungsebenen, der Phänomenebene und der molekularen Ebene.

## 5.2. Wiedergabe und Erklärung des Reaktionsverlaufes auf der Molekülebene

Die Anzahl der von den Probandinnen und Probanden der Lernumgebung III im verbalen Bereich erzeugten Verknüpfungen ist am höchsten (Tab. 2). Die Versuchspersonen der Lernumgebungen III und IV bilden die meisten Verknüpfungen, die über die explizite Textbasis hinausgehen (s.a. Sumfleth & Telgenbüscher 2000 b). In der Regel deutet dies auf eine Verknüpfung der in Text und Bild enthaltenen Informationen mit dem Vorwissen hin. Daher werden diese Verknüpfungen als ein Indikator für die Qualität der mentalen Modelle der Versuchspersonen betrachtet. Da die Versuchspersonen der Lernumgebungen III und IV deutlich mehr solcher Verknüpfungen bilden als die übrigen, kann angenommen werden, daß diese Lernumgebungen die Generierung mentaler Modelle, die im Einklang mit dem Vorwissen stehen, begünstigen. Vergleicht man hingegen die im Symbol- und Bildbereich erreichte Punktzahl, so sieht man eine Überlegenheit der Probandinnen und Probanden der Lernumgebungen I und IV gegenüber den übrigen. Allerdings sagt eine exakte Wiedergabe des Mechanis-

mus auf der symbolischen Ebene nichts über das Verstehen der Vorgänge auf der atomarmolekularen Ebene aus (s. 5.3).

Der Vergleich der Häufigkeitsverteilungen einzelner Verknüpfungen (s.a. Telgenbüscher 1999), die explizit im Text enthalten sind, zeigt, daß jeweils vier Personen der Lernumgebung III und IV die Wechselwirkung zwischen dem Elektronenpaar der Doppelbindung und der Bindung im Brom-Molekül - eine Erklärung auf der Teilchenebene - beschreiben. Damit unterscheiden sich die Probandinnen und Probanden, die „steps & parts“-Bilder mit der Darstellung der Elektronenwolkenmodelle erhalten, von den übrigen Versuchspersonen, die mehrheitlich diesen Schritt des Reaktionsmechanismus nicht erklären. Ferner fällt auf, daß sechs Personen der Lernumgebung III und fünf der Lernumgebung IV die Ursache des Rückseitenangriffs erläutern, während dies in den Gruppen I und II nur zwei bzw. drei Lernenele können, obwohl nahezu alle erinnern, daß der zweite Reaktionsschritt ein Rückseitenangriff ist. Die Erklärungen unterscheiden sich auch qualitativ. Eine Probandin der Lernumgebung II findet z.B. durch „trial & error“ die Ursache des Rückseitenangriffs heraus:

	Lernumgebung I	Lernumgebung II	Lernumgebung III	Lernumgebung IV
explizit im Text enthaltene Verknüpfungen ( $\Sigma$ der erreichten Punkte)	32	34	31,5	32
Mittelwert & Standardabw.	4,57 $\pm$ 1,72	4,86 $\pm$ 2,85	4,50 $\pm$ 1,44	4,57 $\pm$ 2,44
nicht explizit im Text enthaltene Verknüpfungen ( $\Sigma$ der erreichten Punkte)	22	22	31	28
Mittelwert & Standardabw.	3,14 $\pm$ 2,04	3,14 $\pm$ 3,08	4,43 $\pm$ 1,27	4,00 $\pm$ 2,23
Verknüpfungen im Symbol- und Bildbereich ( $\Sigma$ der erreichten Punkte)	21,75	19,75	18,50	22
Mittelwert & Standardabw.	3,11 $\pm$ 1,30	2,82 $\pm$ 1,59	2,64 $\pm$ 1,93	3,14 $\pm$ 1,00

Tab. 2: Die in den verschiedenen Lernumgebungen erreichten Punktzahlen

Katrin: „Es wird wahrscheinlich mit der polaren Bindung zusammenhängen, daß sie sich sonst, wenn sie beide auf der gleichen Seite wären, abstoßen würden.“

I: „Würden sie sich abstoßen? Das ist positiv und das Bromid-Ion negativ.“

Katrin: „Nein, demnach nicht (lacht). Dann ist es vielleicht zu wenig Platz, die brauchen gewissen Platz.“

Die Analyse der Begründungen des Rückseitenangriffs legt die Vermutung nahe, daß die im Fall der Lernumgebung IV vorgegebene und in der Lernumgebung III von allen gewählte Visualisierung der atomar-molekularen Ebene mit Hilfe von Elektronenwolken-Modellen zu einem besseren Verständnis des Reaktionsmechanismus führt.

Lernende formulieren auch Verknüpfungen zwischen Begriffen, die zwei verschiedenen Ebenen (z.B. Phänomenebene und atomar-molekulare Ebene) zuzuordnen sind. Diese Verknüpfungen kommen im Text nicht vor und werden auch von den Probanden der Lernumgebung I (nur Text) nicht hergestellt. Sie werden demnach durch die bildhafte Darstellung induziert.

Bei den Verknüpfungen zwischen Formeln und dazugehörigen Bezeichnungen (Abb. 2) geben die Probanden der „steps & parts“-Lernumgebungen (III und IV) diejenigen Verknüpfungen, die Wechselwirkungen zwischen den Elektronenpaaren beschreiben, deutlich häufiger wieder als die übrigen. Jeweils zwei Schülerinnen und Schüler dieser beiden Lernumge-

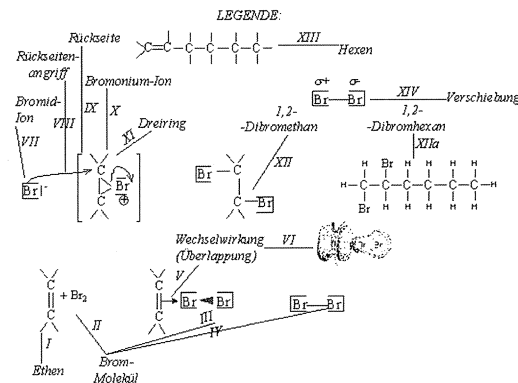


Abb. 2: Verknüpfungen zwischen Begriffen, Formeln und Bildern

bungen benutzen hierzu selbst gemalte Bilder der Elektronenwolken. Der Rückseitenangriff wird durch die Zeichnung des zugehörigen Bewegungspfeils besonders von Lernenden der Lernumgebung III hervorgehoben.

Auch die falschen Formulierungen geben Hinweise auf die Qualität der generierten mentalen Modelle. Zur Ermittlung der Punktwerte (Tab. 3) werden falsche Aussagen mit einem ganzen Punkt und falsche Formeln mit einem halben Punkt bewertet und durch ein Minuszeichen gekennzeichnet. Die niedrigste Anzahl negativer Punkte wird von den Probanden der Lernumgebung III, die höchste von denen der Textgruppe (I) erreicht, denen damit besonders viele Fehlinterpretationen unterlaufen (Abb. 3).

Lernumgebung	I	II	III	IV

Tab. 3: Negative Punktwerte pro Lernumgebung

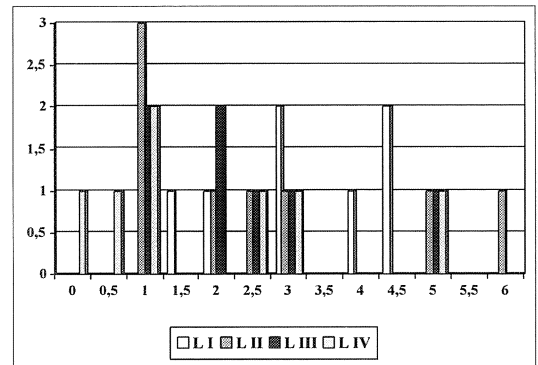


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der negativen Punktwerte in den Lernumgebungen

Die Falschaussagen lassen sich folgendermaßen kategorisieren:

1. Aussagen, die auf Fehlvorstellungen hinweisen,
2. Aussagen, die das Memorieren von Formeln ohne Konzeptverstehen indizieren,
3. fehlerhaftes Memorieren von Formeln
4. unklar formulierte Aussagen.

Eine große Gruppe von sachlich falschen Aussagen ist auf Fehlvorstellungen zurückzuführen. Dies betrifft in den Lernumgebungen III und IV die Hälfte aller Falschaussagen, in

den beiden anderen etwas weniger, aber der Einfluß der Lernumgebung ist nicht direkt erkennbar. Die meisten dieser Aussagen zeichnen sich durch eine Vermischung von Ionisierungs-, Dissoziations- und Polarisierungskonzept aus: „*Das Brom wird polarisiert, in Bromkation und Brom-Anion (zeichnet  $Br^+$  und  $Br^-$ )*“. Ferner gehören Fehlvorstellungen zum Atom- und Molekülkonzept dazu: „*Das Alken hat ein Elektron mehr in der Außenbahn und deswegen hat es die Ladung minus*“, oder „*Also, dann haben wir hier unser Brommolekül. Das spaltet sich. Und dann haben wir zwei Radikale* (zeichnet Ionen  $Br^+$  und  $Br^-$ )“.

Im Bereich der Fehler durch das Memorieren von Formeln ohne Konzeptverstehen unterscheiden sich die Einflüsse der traditionellen Lernumgebungen, in denen die Informationen gelesen werden, und der Lernumgebung III, in der Lernende ihr eigenes Lernmaterial auswählen und gestalten. Hier werden nur zwei solcher Aussagen gefunden gegenüber 45% (L I), einem Drittel in L II und 25% in L IV. Viele dieser Aussagen beziehen sich auf den Rückseitenangriff eines Bromid-Ions. Ein Schüler behält zwar, daß der Angriff von der Rückseite stattfindet, findet jedoch keine Begründung dafür (Sumfleth & Telgenbüscher 2000 a). Die Polarisierung des Brommoleküls wird von den meisten Lernenden erinnert, kann aber insbesondere von den Versuchspersonen der Lernumgebung I nicht erklärt werden. Dasselbe gilt für die Formeln von Zwischenstufen. Die Anzahl der unkorrekt wiedergegebenen Formeln (Kategorie 3) ist in allen drei Probandengruppen nahezu gleich.

Zusammenfassend läßt sich anhand der im Wiedergabe- und Erklärungsteil erhobenen Daten feststellen, daß zwischen Versuchspersonen, denen unterschiedliche Lernumgebungen vorgegeben werden, Unterschiede bezüglich der Qualität der von ihnen generierten mentalen Modelle bestehen. Die Anzahl der von den Lernenden der Lernumgebung III im verbalen Bereich erzeugten Verknüpfungen ist am höchsten. Auch bilden die Versuchspersonen der Lernumgebungen III und IV mehr Verknüpfungen, die über die explizite Textba-

sis hinausgehen, als die übrigen. Die Ergebnisse einer anderen Untersuchung (Sumfleth & Telgenbüscher 2000 b) zeigen, daß derartige Verknüpfungen charakteristisch für Experten sind und von Laien nur in einer „steps & parts“-Bild-Text-Lernumgebung formuliert werden. Deshalb können solche Verknüpfungen als Indikator für die Qualität der mentalen Modelle der Versuchspersonen angesehen werden. Die qualitative Betrachtung der einzelnen Aussagen zeigt, daß Versuchspersonen der beiden „steps & parts“-Lernumgebungen (III und IV) die sterischen Gegebenheiten der Reaktionsmechanismen gut verstehen, sie korrekt wiedergeben und erläutern können. Dabei ist die Behaltensleistung unabhängig von der Lernumgebung. Die Überlegenheit der Text- und der „steps & parts“-Bild-Gruppe (L I und L IV) bei den im Symbol- und Bildbereich erreichten Punktzahlen deutet lediglich auf das Behalten von Formeln hin. Parallel dazu werden die meisten Fehler in der Textgruppe, die wenigsten in der Lernumgebung III gemacht. Die aktive Tätigkeit der Versuchspersonen der Lernumgebung III führt offenbar zur intensiveren Verarbeitung des Lernmaterials. Daher kommt es in dieser Gruppe relativ selten vor, daß die Formeln unverstanden auswendig gelernt werden. Unter den falschen Aussagen der Versuchspersonen der Lernumgebung III dominieren diejenigen, die sich auf das Vorwissen zurückführen lassen. Diese müssen bei einer intensiven Interaktion der Lernenden mit Material auftreten.

### 5.3. Problemlösetransfer

#### 5.3.1. Lernumgebung I

Die Lernumgebung I bietet den Lernenden nur wenige Möglichkeiten, die sie zur Auseinandersetzung mit den Inhalten nutzen können. Dazu kommt ein beschränktes Angebot an visuellen Darstellungen. Die Ergebnisse zeigen, daß die Lernenden nicht versuchen, die Inhalte auf unterschiedliche Art zu visualisieren. Dies wäre aber notwendig, um die

dem Mechanismus zugrundeliegenden Konzepte angemessen zu verarbeiten. Die Auseinandersetzung mit dem Lernangebot wird auf die Oberflächenmerkmale der Inhalte beschränkt. Daher sind die Lernenden auch nicht in der Lage, die Problemstellungen auf der atomar-molekularen Ebene zu lösen.

Beim Bearbeiten des ersten Problems erreicht dementsprechend nur ein Proband eine korrekte Lösung, indem er die Symbole bis zu einer ihm plausibel erscheinenden Formel variiert: „In dem Schritt davor.....könnte sich theoretisch das Sauerstoffatom des Wassermoleküls an dieser Stelle festsetzen. Es ist ja zweimal negativ geladen. (zeichnet Formeln, vgl. Abb. 4a) Daß sich, denke ich mal, das Wassermolekül an dieser Stelle festsetzen würde (zeigt auf Br in Abb. 4a), daß sie sich gegenseitig anziehen, denn...Wasser zieht auch die Elektronen..... stärker an sich heran. Daß es im Endeffekt zwei mal geladen ist (schreibt 2- am O in Abb. 4a)“. Die vom Probanden auf der Molekülebene generierte Hypothese stützt sich auf Fehlvorstellungen zur Struktur des Wassermoleküls. Der Proband zeichnet die entsprechenden Formeln, stellt fest, daß seine Hypothese zu keiner richtigen Lösung führt, verwirft sie und probiert dann: „Daß es vollständig reagiert, dazu müßten ja...irgendwo die Bindungen gespalten werden, so, daß sich im Endeffekt..... das Molekül an ein C-Atom festsetzen kann (zeichnet das Produkt, vgl.

Abb. 4b)..... Im Endeffekt müßte dann ein Proton übrig bleiben ( $H^+$ ).“

Bei der zweiten Aufgabe sind es auch nur zwei Probanden, die zwischen dem zweiten Schritt des Bromierungsmechanismus und dem zu hier lösenden Problem die Analogie erkennen, die sich aus der Ähnlichkeit der chemischen Eigenschaften eines Chlorid- und eines Bromid-Ions ergibt: „Im nächsten Reaktionsschritt könnte sich das Chlorid-Ion noch an das Zwischenprodukt anlagern statt des Brom-Ions“ und „Ich könnte mir vorstellen, daß die Cl-minus-Ionen zum Beispiel an Stelle dieses Br-minus-Ions angreifen könnten, sich zum Beispiel hier [am Bromonium-Ion] ansetzen. (...) Dann würde also ein sowohl chloriertes als auch bromiertes Alkan entstehen“. Obwohl sie offenbar den Mechanismus verstanden haben, haben sie die erste Aufgabe nicht gelöst. Bei der zweiten Aufgabe erreichen zwar insgesamt drei Versuchspersonen eine korrekte Lösung, die dritte kommt aber nur durch zufälliges Manipulieren von Formeln zustande (Sumfleth & Telgenbüscher 2000 a).

### 5.3.2. Lernumgebung II

In dem Material der Lernumgebung II sind die atomar-molekulare, die symbolische und die phänomenologische Ebene visualisiert. Dennoch ist die Lernumgebung für sinnvolles

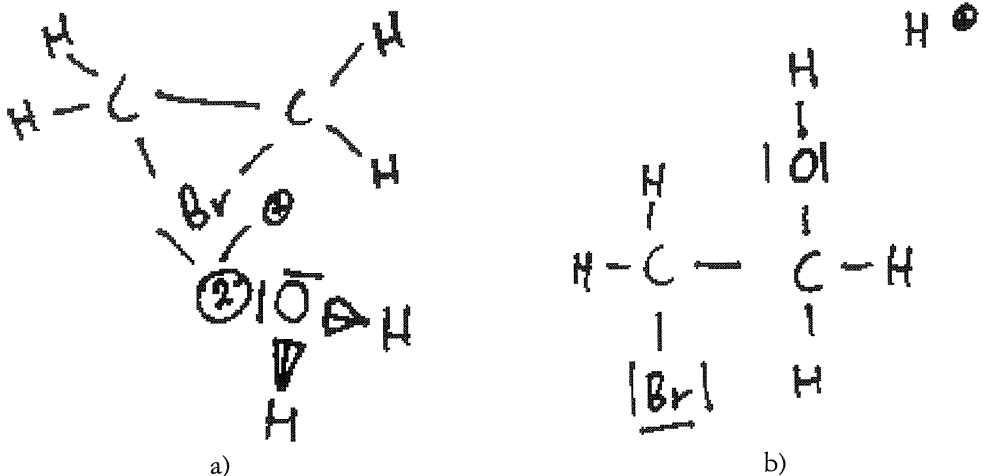


Abb. 4: Beim Lösen des 1. Problems gezeichnete Formeln

Lernen offenbar ungeeignet, da die Anordnung von Bild und Text zu einer separaten Nutzung führt. Diese separate Nutzung unterstützt aber nicht die Generierung eines adäquaten mentalen Modells. Die Lernenden sind auf spärlich beschriftete Darstellungen angewiesen, die sie vielfach mißverstehen.

Die Aufgaben werden von drei Probanden korrekt gelöst. Einer von ihnen geht in beiden Fällen folgendermaßen vor: Er aktiviert zunächst die relevanten Konzepte, stellt Überlegungen auf der atomar-molekularen Ebene an und realisiert die Lösung auf der symbolischen Ebene. Bei der Lösung des ersten Problems aktiviert er Schemata der polaren Bindung und des Aufbaus von Wassermolekülen. Er erkennt eine Analogie zwischen dem Bromierungs-Mechanismus und dem ihm gestellten Problem und formuliert zunächst verbal eine Hypothese auf der atomar-molekularen Ebene: „Hier ist 'ne positive und hier ist eine negative Teilladung. Ich könnte mir vorstellen, daß sich da Wasser ansetzt, durch diese positive Ladung, weil am Wassermolekül ist ja auch eine polare Bindung.....positiv an dem Wasserstoffatom und negativ an dem O.“ Der Proband übersetzt dann diese Aussage in die Symbolsprache und überprüft die Strukturformel, indem er eine neue Hypothese bezüglich der Bindungen im Produkt formuliert. Auch diese wird dann wieder in die Symbolsprache übersetzt: „Wenn das hier positiv (C-Atom am Bromonium-Ion) und [da] negativ (der negative Pol des Wassermoleküls) ist, ...dann verbinden sich die Elektronenwolken. Ich schätze mal, das wird hier abgetrennt [am H im Wassermolekül], weil hier eine stärkere Bindung zum O ist, so daß dann so was entsteht (zeichnet die Formel des Bromalkohols, vgl. Abb. 5). Und das H, das eben keine Elektronen hat, das setzt sich hier an (zeigt auf Bromid-Ion), würde ich sagen. Also dann entsteht dieser Stoff (zeichnet Br-H).“

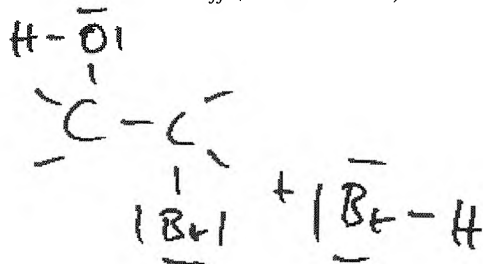


Abb. 5: Lösung des 1. Problems

Der zweite Proband nähert sich dagegen der Lösung des zweiten Problems nur durch trial & error. Dies gilt auch für den dritten, der die Aufgaben richtig löst. Er „probiert“ erfolgreich Formeln aus, weil er hier über umfangreiche Erfahrung verfügt (alle Formeln des Bromierungs-Mechanismus wurden korrekt wiedergegeben): „Also aus dem hier [Hexen] könnte noch ein Alkan entstanden sein (zeichnet Formel von Hexan). Und das da vielleicht Bromoxid oder so“. Unzufrieden mit der Lösung versucht er im Verlauf des Interviews durch Überlegungen auf der symbolischen Ebene eine plausibel erscheinende Formel herzuleiten: „Jetzt könnte sich das hier (zeigt auf Bromonium-Ion) (...) entweder mit dem Wassermolekül verbinden....und ein Brom hier und hier dann OH und....Brom mit Wasser. Das [HBr] könnte negativ sein und das [der Bromalkohol] positiv“. Die Vorgehensweise des Probanden kann als ausschließlich algorithmisch bezeichnet werden. Eine Evaluation der Lösung erfolgt nicht, gleichzeitig wird eine Bewertung seitens der Interviewerin erwartet.

### 5.3.3. Lernumgebung III

Versuchspersonen der Lernumgebung III unterscheiden sich in ihrer Vorgehensweise deutlich. Im Unterschied zu den Lernenden der Lernumgebungen I und II erkennen sie häufiger die Analogie zwischen dem Gelerten und dem neuen Problem und argumentieren auf der atomar-molekularen Ebene. Eine Probandin stellt sogar eine Verknüpfung zwischen dem Beobachteten (Entfärbung) und dem Ablauf der Reaktion auf der Teilchenebene her: „(...) daß sich hier (...) anstelle des Brom-Anions eben das Chlorid-Anion anlagern könnte. (...) Weil das genauso negativ ist wie das Bromid, beides einfach negativ geladen ist. Und die Entfärbung wäre deshalb, weil wir eben keine [Brom]Moleküle mehr hätten.“ Kein Proband versucht durch formales Manipulieren der Formeln zur Lösung zu gelangen. Auch trial & error verläuft als Spekulation auf der atomar-molekularen Ebene: „Wenn das jetzt hier (zeigt auf das Bromonium-Ion) schon das Brom angefangen hat, anzugreifen, dann hat ja das

*Wasser im Prinzip gar keine große Chance, sich da anzulagern. Oder es könnte ja auch irgendwie [anders laufen] (...) Es könnte (...) passieren, daß sich hier halt das Br plus anlagert und hier - ja, O, wäre ja unsinnig, nee - und hier halt dann das OH minus. Und dann hätten wir OH-minus-Ionen dann (zeichnet das Produkt).“*

Der wesentliche Unterschied zwischen diesen Lernenden und denen aller übrigen Lernumgebungen besteht darin, daß sie eher in der Lage sind, ihr Vorwissen zu aktivieren und die relevanten Konzepte zu erinnern. Dies gilt im Unterschied zu den Versuchspersonen der Lernumgebung IV auch für diejenigen, die über verhältnismäßig geringes Vorwissen verfügen: „Bevor das zweite Brom-Teilchen da ankommt (zeigt auf die Formel des Bromierungs-Produktes), wird wahrscheinlich das Cl-Ion da dran geben. (...) [Also da,] wo dieses negative Brom-Ion (zeigt auf Br-) hingehen würde (zeigt auf die unkorrekt gezeichnete Bromonium-Ion-Formel), (...) weil das hat ja dieselbe Ladung. Also glaube ich, daß es da hingebt.“ Die Lernenden, die das Lernmaterial selbst gestalten, gehen bei der Verarbeitung über die Oberflächenmerkmale der Bilder und des Textes hinaus und gelangen dadurch zu den tieferehenden Konzepten.

#### 5.3.4. Lernumgebung IV

Auch diese Versuchspersonen erkennen häufiger die Analogie als diejenigen der Lernumgebungen I und II und erreichen dadurch eine richtige Lösung. Ähnlich wie bei der Lernumgebung III versucht niemand durch Manipulieren der Formeln die Lösung herzuleiten. Die für die meisten übrigen Lernenden charakteristische Fixierung auf die Formeln tritt nicht auf. Dies wird möglicherweise durch die Verschiebung der Aufmerksamkeit von der symbolischen zur atomar-molekularen Darstellung im präsentierten „steps & parts“-Bild verursacht. Insbesondere die Versuchspersonen, die über breites Vorwissen verfügen, profitieren von der „steps & parts“-Darstellung. Diejenigen hingegen, die geringes Vorwissen haben, versuchen, die Lösung ohne zu Überlegen zu erraten, oder geben ihre Suche nach

dem ersten Lösungsversuch schnell auf. Dieses Ergebnis markiert den wesentlichen Unterschied zur Lernumgebung III.

Die drei bei der ersten Aufgabe erfolgreichen Problemlöser gelangen z.B. ausgehend von Überlegungen über die Bindungsverhältnisse im Wassermolekül zum Vorschlag des nucleophilen Angriff eines OH-Ions am Bromonium-Ion: „Wasser ist ja ein Dipol (...) und es [hat] mit dem Br-minus zu tun (...) Vielleicht spaltet das {OH} dann diesen Dreier-Ring. Dieses OH-Ion, eben, also tritt an diese Stelle. Und dann entsteht ein bromierter Alkohl (...)“ Alle drei erkennen diesen Angriff als eine Analogie zum Angriff des Bromid-Anions.

#### 5.3.5. Vergleich der verschiedenen Lernumgebungen

Die von den Lernenden erzielten Ergebnisse werden anhand der von Atwater et al. (1994) beschriebenen Kategorien verglichen (Abb. 6). Mit Blick auf die Problemlösestrategien (Nutzen von Fachwissen, Diskussion auf der Teilchenebene, Analogiebetrachtungen) schneiden die Lernenden der Lernumgebung III, also diejenigen, die selbständig Instruktionsmaterial entwickeln, am besten ab. Diese Lernenden greifen am seltensten auf trial & error-Methoden zurück. Vor allem beim zweiten Problem sind auch die Lernenden der Lernumgebung IV den übrigen überlegen. Gerade Lernende der Lernumgebung III geben nicht einfach nur eine Lösung an, sondern begründen ihre Lösungen mit sinnvollen Argumenten. Der Unterschied beim Erreichen der richtigen Lösungen tritt demgegenüber in den Hintergrund.

## 6. Zusammenfassung

Lernende der Lernumgebungen I und II lernen zum größten Teil die Textpassagen und Formeln auswendig. Deshalb scheitern sie an Aufgaben, die selbständige Überlegungen z.B. auf der atomar-molekularen Ebene erfordern. Die Ergebnisse sprechen für eine höhere Lernwirksamkeit der „steps & parts“-Lernumgebungen III und IV. Diese läßt sich zum

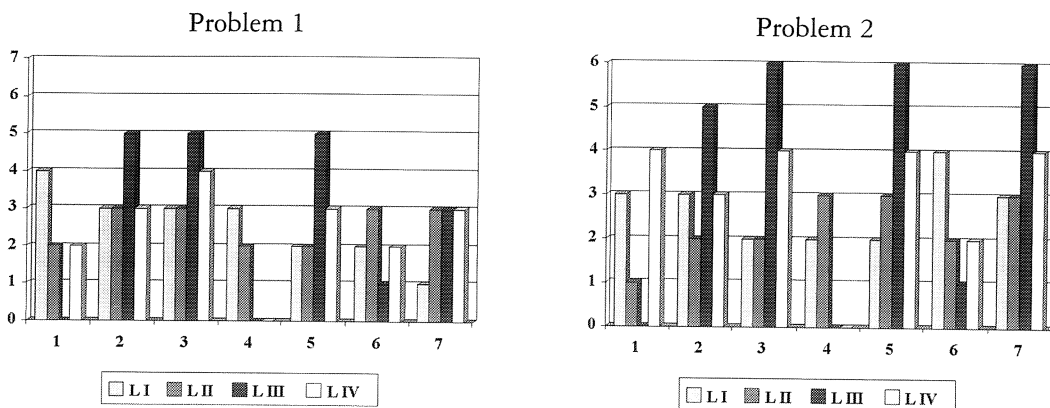


Abb. 6: Häufigkeiten der Aussagenkategorien

1-Die Lösung wird sofort angegeben, 2-Das Wassermolekül enthält polare Bindungen / Ähnlichkeit der chemischen Eigenschaften des Chlorid- und Bromid-Ions, 3-Überlegung auf der atomar-molekularen Ebene, 4-Regeln zum Aufstellen der Lewis-Formeln, 5-Erinnerung der Lösung eines analogen Problems, 6-trial & error, 7-Erreichen der korrekten Lösung

einen durch die „steps & parts“-Form erklären. Die Darstellung der „Elektronenwolken“-Modelle lenkt die Aufmerksamkeit der Lernenden stärker auf die atomar-molekulare Ebene. Hieraus resultiert eine bessere Transferleistung auf dieser Ebene. Zum anderen kann das gute Ergebnis in der Lernumgebung III durch die aktive Rolle der Lernenden, die die Gestaltung der Lernumgebung übernommen haben, erklärt werden. Die Lernenden müssen den Inhalt der Repräsentationen (Bilder, Textpassagen und Formeln) vergleichen, um sie zu einer „steps & parts“-Bild-Text-Kombination zusammenzufügen. Sie treffen während des Gestaltungsprozesses selbständige Entscheidungen im Hinblick auf die Repräsentationsform, kombinieren externe Repräsentationen sinnvoll, evaluieren Entwürfe und begründen die Wahl. Diese Aktivitäten erhöhen offenbar die Verarbeitungintensität. Dies wirkt sich gerade bei Probandinnen und Probanden mit geringerem Vorwissen aus, die sich intensiver mit dem Material auseinandersetzen müssen, um bessere Transferleistungen zu erreichen.

### Danksagung

Unser Dank gilt den an der Untersuchung beteiligten Schülerinnen und Schülern und

der deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung (Su-187/2-1).

### Literatur

- Anderson, J.R. (1996): Kognitive Psychologie, 2. Auflage. Heidelberg, Spektrum Akad. Verl.
- Atwater, M.M., Allick, B.E., Foley, L., Kight, C. & Smith, D. (1994): Bridging chemical problem solving and misconceptions in different context. In Schmidt, H.-J. (Ed.): Problem solving and misconceptions in chemistry and physics. Proceedings of the 1994 International Seminar University of Dortmund. The International Council of Association for Science Education, Hong Kong.
- Ballstaedt, S.P. (1997): Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial. Beltz, Psychologie Verlags Union, Weinheim.
- Braden, R.A. (1994): Visual verbal relationships. In Moore, D.M. & Dwyer, F.M. (Eds.): Visual literacy. A spectrum of visual learning. Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, New Jersey, 193-208.
- Cunningham, D.J., Duffy, T.M. & Knuth, R.A. (1993): The textbook of the future. In Mcknight, C., Dillon, A. & Richardson, J. (Eds.): Hypertext: A psychological perspective. Chichester, Ellis Horwood, England (Pp.19-50).
- Derry, S.J. (1996): Cognitive schema theory in the constructivist debate. Educational Psychologist, 31(3/4), 163-174.

- Duffy, T.M. & Jonassen, D.H. (1992): Constructivism and the technology of instruction. A Conversation. Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Dunlap, J.C. & Grabinger, R.S. (1996): Rich environments for active learning in the higher education classroom. In Wilson, B. G. (Ed.): Constructivist Learning Environments. Case Studies in Instructional Design. Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, New Jersey, 65-82.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H.D. (1994): The human memory. A multimodal approach. Hofgrete & Huber Publishers, Seattle/Toronto.
- Jakob, O., Hoffmann, W. & Glöckner, W. (1987): Struktur und Reaktionsverhalten organischer Verbindungen. Buchners, Bamberg.
- Jonassen, D.H., Myers, J.M. & McKillop, A.M. (1996): From constructivism to constructionism: Learning with hypermedia/multimedia rather than from it. In Wilson, B. G. (Ed.): Constructivist learning environments. Case studies in instructional design. Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, New Jersey, 93-106.
- Kj(rup, S. (1989): Die sprachliche Verankerung des Bildes. Zeitschrift für Semiotik, 11, 305-317.
- Lewalter, D. (1997): Kognitive Informationsverarbeitung beim Lernen mit computerpräsentierten statischen und dynamischen Illustrationen. Unterrichtswissenschaft, 25 (3), 207-221.
- Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. Zeitschrift für Pädagogik, 41 (6), 867-888.
- Mandl, H. & Reinmann-Rothmeier, G. (1995): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Pädagogische Psychologie und Empirische Pädagogik, Forschungsbericht Nr. 60.
- Mayer, R.E. (1992): Knowledge and thought. Mental models that support scientific reasoning. In Duschl, R. & Hamilton, R. (Eds.): Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice. SUNY Press, Albany, 226-284.
- Mayer, R.E. (1993): Illustrations that instruct. In Glaser, R. (Hrsg.): Advances in instructional psychology, 4. Erlbaum, Hillsdale NJ, 253-284.
- Mayer, R.E. (1994): Visual aids to knowledge construction. Building mental representations from pictures and words. In Schnotz, W., Kulhavy, R. (Eds.): Comprehension of graphics. Elsevier Science, 125-138.
- Mayer, R.E. (1997): Multimedia learning. Are we asking the right questions? Educational Psychologist, 32(1), 1-19.
- Mayer, R.E. & Gallini, J.K. (1990): When is an illustration worth ten thousand words? Journal of Educational Psychology, 82, 715-726.
- Paivio, A. (1971): Imagery and verbal processes. Holt, Rinehart & Winston, New York.
- Paivio, A. (1986): Mental representations. A dual-coding approach. Oxford University Press, New York.
- Philips, D.C. (1995): The good, the bad, the ugly. The many faces of constructivism. Educational Researcher, 24(7), 5-12.
- Schnotz, W. (1993): Some remarks on the commentary on the relation of dual coding and mental models in graphics comprehension. Learning and Instruction, 3, 247-249.
- Schnotz, W. (1996): Psychologische Ansätze des Wissenserwerbs und der Wissensveränderung. In Duit, R. & Von Rhöneck, C.: Lernen in den Naturwissenschaften. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel, 15-36.
- Schnotz, W. (1998): Wissenserwerb mit Multimedia. Vortrag im Rahmen des Chemiedidaktischen Kolloquiums, Essen.
- Schnotz, W. & Mikkilä, K. (1991): Symbolische und analoge Repräsentationen beim Verstehen technischer Geräte. Zeitschrift für Psychologie, Suppl. 11, 223-235.
- Schnotz, W., Picard, E. & Hron, A. (1993): How do successful and unsuccessful learners use texts and graphics? Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen, Arbeitsbereich Lernforschung, Forschungsbericht Nr. 60, 1-22.
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Coulson, R.L. & Anderson, D.K. (1988): Cognitive flexibility theory. Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Proceedings, Erlbaum, Hillsdale NJ, 375-383.
- Sumfleth, E. (1988): Lehr- und Lernprozesse im Chemieunterricht. Peter Lang, Bern, Frankfurt, New York.
- Sumfleth, E., Hüllen, R. & Telgenbüscher, L. (2000): Unveröffentlichte Ergebnisse, Essen.
- Sumfleth, E. & Telgenbüscher, L. (2000a): Förderung der Verarbeitungsintensität beim Chemielernen mit Hilfe von Bildern. In Finkbeiner, C., Schnaitmann, G. (Hrsg.): Lernen im Kontext empirischer Forschung und Fachdidaktik. Reihe Innovation und Konzeption. Auer-Verlag, Donauwörth (im Druck).

- Sumfleth, E. & Telgenbüscher, L. (2000b): Zum Einfluß von Bildmerkmalen und zusätzlichen Fragen beim Chemielernen mit Hilfe von Bildern. Beispiel Massenspektrometrie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (zur Veröffentlichung eingereicht).
- Sumfleth, E. & Telgenbüscher, L. (2000c): Lernen mit Texten und Bildern am Beispiel von Additionsreaktionen. Untersuchungsdesign und Forschungsmethoden. KVFF (Hrsg.): Tagungsband Salzac. IPN, Kiel (zur Veröffentlichung angenommen).
- Telgenbüscher, L. (1999): Zur Visualisierung von chemischen Konzepten. Lit, Münster.
- Tergan, S.O. (1997): Multiple views, contexts, and symbol systems in learning with hypertext/hypermedia. A critical review of research. *Educational Technology*, 5-18.
- Von Glasersfeld, E. (1990): An exposition of constructivism. Why some like it radical. In Davis, R.B., Maher, C.A. & Noddings, N.: *Constructivist views on teaching and learning of mathematics*. Journal for Research in Mathematics Education, Monograph 4, 19-30.
- Weidenmann, B. (1988): *Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern*. Huber, Bern.
- Weidenmann, B. (1993): *Psychologie des Lernens mit Medien*. In Weidenmann, B. & Krapp, A.: *Pädagogische Psychologie*, 2. Auflage. Beltz, Psychologie Verl.-Union, Weinheim, 493-551.
- Weidenmann, B. (1994): Informierende Bilder. In Weidenmann, B. (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien*, 1. Auflage. Huber, Bern, 9-58.
- Weidenmann, B. (1995): Multicodierung und Multimodalität im Lernprozeß. In Issing, L.J. & Klimsa, P. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. Psychologie Verl.-Union, Weinheim, 65-84.
- Weinert, F.E. & Helmke, A. (1995): Learning from wise mother nature or big brother instructor. The wrong choice as seen from an educational perspective. *Educational Psychologist*, 30, 135-142.
- White, R. & Gunstone, R. (1992): *Probing understanding*. The Falmer Press, London, New York, Philadelphia.