

Sumfleth, Elke; Telgenbüscher, Lucyna  
**Zum Einfluß von Bildmerkmalen und Fragen zum Bild beim Chemielernen mit Hilfe von Bildern - Beispiel Massenspektrometrie**

*Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* : ZfDN 6 (2000), S. 59-78



Quellenangabe/ Reference:

Sumfleth, Elke; Telgenbüscher, Lucyna: Zum Einfluß von Bildmerkmalen und Fragen zum Bild beim Chemielernen mit Hilfe von Bildern - Beispiel Massenspektrometrie - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 6 (2000), S. 59-78 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315547 - DOI: 10.25656/01:31554

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315547>

<https://doi.org/10.25656/01:31554>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<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



ELKE SUMFLETH UND LUCYNA TELGENBÜSCHER

## Zum Einfluß von Bildmerkmalen und Fragen zum Bild beim Chemielernen mit Hilfe von Bildern - Beispiel Massenspektrometrie

### Zusammenfassung:

Die Untersuchung des Einflusses sprachlich kommentierter Bilder auf die Lernleistung ist gerade vor dem Hintergrund der Entwicklung multimedialer Lernumgebungen eine aktuelle Aufgabe. An die Stelle der Untersuchung relativer Lernwirksamkeiten unterschiedlicher Präsentationssysteme tritt die Untersuchung der Konsequenzen für die Lernenden, deren Lernen durch die Strukturierung des Inhalts im jeweiligen medialen Angebot beeinflusst wird. Die Eigenschaften der Lernenden, die vorgegebene Aufgabe und die Instruktionmethoden beeinflussen die Lernergebnisse am meisten. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, daß die Qualität der Transferleistungen von Laien, nicht die von Experten, erheblich von den Bildmerkmalen abhängt. In Text integrierte „steps & parts“-Bilder bieten Lernenden mit geringem Vorwissen bessere Möglichkeiten, Prozesse und Zusammenhänge zu erfassen, als Einzelbilder. Fragen zu Bildinhalten zeigen keinen lernfördernden Effekt, im ungünstigen Fall verstärken sie sogar die Generierung von Fehlvorstellungen.

### Abstract:

The development of multimedia learning environments forms the background of investigations concerning the influences of pictures commented by text on learning achievement. Investigations of the consequences for the learners replace investigations of the relative effectiveness of different presentation systems the learner's cognitive processes are more influenced by the way the content is structured than by the technique. The learners' prior knowledge, the task given and methods of instruction are most important. The results of the current investigation show that the quality of transfer achievement of novices, in contrast to experts, depend considerably on picture characteristics. „Steps & parts“-pictures integrated in text give the learners the better opportunity to understand dynamic processes and relationships between them than isolated pictures do. Questions about the contents of the picture show no effect on learning, at worst they even support generating of misconceptions.

### 1. Einleitung

Während die Entwicklung von Unterrichtsmedien zunehmend auf Multimedia-Produkte ausgerichtet wird, ist der Einsatz von Text-Bild-Kombinationen als Lernmaterial immer noch Standard. Die Frage der optimalen Gestaltung von sprachlich kommentierten Bildern stellt sich jedoch in beiden Fällen gleichermaßen. Vor diesem Hintergrund ist die Untersuchung des Einflusses derartiger Lernumgebungen auf die Lernleistung eine aktuelle Aufgabe (Telgenbüscher 1999). Untersuchungen zu Zusammenhängen zwischen den Begriffseigenschaften Bildhaftigkeit, Konkretheit und Verständlichkeit zeigen deutliche Korrelationen zwischen ihnen (Körner 1994, Sumfleth & Körner 1993). Anschaulichkeit spielt eine entscheidende Rolle beim Aufbau von begrifflichem Wissen.

Deshalb wird die Fokussierung des Chemieunterrichts auf rein verbale Vermittlungsformen und mathematische Logik kritisiert (Habraken 1996, 1997).

Gegenwärtig besteht unter Lernpsychologen Konsens darüber, daß die Untersuchung der relativen Wirksamkeit verschiedener Präsentationssysteme nicht weiterführt (Clark 1994, Ross 1994, Salomon 1994, Mayer 1997) und daß statt dessen die Konsequenzen für kognitive Prozesse in den Mittelpunkt der Forschungen treten müssen (Jonassen, Campbell & Davidson 1994). Die Grundlage für den Konsens bilden neben den geringen Systemeffekten methodologische Einwände, weil es nicht möglich ist, Effekte der Medien von den Effekten der Instruktionmethode zu trennen. Der Paradigmenwechsel von der Metapher der Wissensvermittlung zur Metapher der Wissenskonstruktion unterstützt diese Aussage.

Wenn das technische Medium lediglich Transportmittel ist, ist es für den Lernprozeß wenig relevant. Die kognitiven Prozesse werden vielmehr durch die Strukturierung des Inhalts im jeweiligen medialen Angebot beeinflusst (Clark 1983, 1994). Die Eigenschaften der Lernenden (fachliche Kompetenz, Vorwissen, Motivation, usw.), die vorgegebene Aufgabe und die Instruktionmethoden zur Unterstützung der kognitiven Verarbeitung beeinflussen die Lernergebnisse am meisten (Tergan 1997).

## 2. Bilder und mentale Modelle

Ein mentales Modell repräsentiert ein reales System aufgrund einer Struktur- und Funktionsanalogie. Schon das auf Kant zurückgehende Anschauungsmodell beinhaltet, daß die vom Menschen gebildeten Vorstellungen nur analog zu realen Objekten sind; sie sind keine exakten Abbilder der Wirklichkeit, keine „mental pictures“, sondern „mental layouts“ (Neisser & Kerr 1973). Durch ihre analoge Beschaffenheit können mentale Modelle imaginativ manipuliert werden (Weidenmann 1994b). Nach Kosslyn, Brun, Cave & Wallach (1985) verfügen Menschen über eine unterschiedlich ausgeprägte „imagery ability“. Die empirischen Befunde sprechen dafür, daß diese Fähigkeit trainiert werden kann. Die Bildhaftigkeit mentaler Modelle und ihre Verwurzelung in der visuellen Wahrnehmung legen eine Affinität zu Bildern nahe. Sowohl bei internen (mentale Modelle) als auch bei externen Bildern weisen die Codierungen strukturelle Ähnlichkeiten auf. Es wird daher angenommen, daß die Verarbeitungsprozesse in beiden Fällen vergleichbar sind. Bilder können als externalisierte mentale Modelle aufgefaßt werden und sollten den Rezipienten eine direkte Konstruktion eines entsprechenden mentalen Modells ermöglichen (Weidenmann 1994b).

Nach Johnstone (1993) und Gabel (1993, 1995, Gabel & Bunce 1996) sollen chemische Inhalte auf der sensorischen (makroskopisch) und der atomar-molekularen (submikroskopisch) Ebene visualisiert werden. Bei den Bil-

dern in Chemiebüchern für die Sekundarstufe II und in Hochschullehrbüchern dominieren Darstellungen der atomar-molekularen Ebene. Nach Weidenmann (1993) benötigt man zum Identifizieren von einfachen Umrißzeichnungen und klaren Photographien von bekannten Objekten keine besonderen Fähigkeiten, keine visual literacy. Fähigkeiten zur Entschlüsselung anderer Bilder müssen aber sehr wohl erworben werden, wie z.B. solche zum Rückübersetzen einer zweidimensionalen Darstellung in den dreidimensionalen Raum. Dabei muß die Fähigkeit, Hinweisreize für Tiefe und Entfernung im Bild auszuwerten, erlernt werden. Damit können Lernende im Chemieunterricht nur einen Teil der Bilder, die die makroskopische Ebene visualisieren, interpretieren.

Die meisten informativen Bilder haben darstellende und steuernde Eigenschaften. Darstellungscodes dienen zur Konstruktion der Oberflächenstruktur, die vom Rezipienten in Analogie zur Wahrnehmung der realen Welt verarbeitet wird. Sie simulieren Konturen, Schatten, Perspektiven. Zu den explizit steuernden Codes gehören Pfeile, Farben und Ausschnittsvergrößerungen (Weidenmann 1994a), zu den implizit steuernden z.B. eine besonders große oder detaillierte Darstellung eines Elements eines Systems. Lernende können zum Vergleichen angeregt werden, indem sie zwei oder mehrere Abbildungen, die sich in wenigen Merkmalen unterscheiden, erhalten. Voraussetzung für die Wirksamkeit der Steuerungscodes ist, daß die Lernenden sie als solche erkennen und zutreffend verarbeiten. Da dies ungewiß ist, wird die Bildverarbeitung durch begleitende Texte sprachlich gesteuert (Weidenmann 1994b).

Die Lernenden verarbeiten die Darstellungs- und Steuerungscodes unterschiedlich. Die Verarbeitung der Darstellungscodes läuft meistens automatisch ab und führt zum ökologischen Bildverstehen. Ökologisches Bildverstehen beschreibt das Erkennen der dargestellten Figuren. Der menschliche Wahrnehmungsapparat ist auf ein rasches Erfassen der „globalen Bedeutung“ von Bildern hin organisiert (z.B. Loftus 1976, Navon 1981). Demgegenüber

ist für das indikatorische Bildverstehen, das auf dem ökologischen Verstehen aufbaut, u.a. das Wissen über Aspekte der Bildproduktion, die Absichten des Bildproduzenten und den kommunikativen Kontext relevant, weil das visuelle Argument rekonstruiert wird. Dies trifft z.B. auf die Verarbeitung der Steuerungscodes zu, bei der die Rezipienten nicht auf Routinen der Wahrnehmung zurückgreifen können. Dadurch wird die Bildverarbeitung zu einer Problemlöseaktivität. Lernende müssen die Absichten und Entscheidungen des Bildproduzenten rekonstruieren (Weidenmann 1988, 1994b). Dies ist wegen des Wissensgefälles zwischen Autor und Betrachter vor allem bei Instruktionsbildern schwierig. Nach diesem Modell ist die Intensität des Bildverstehens eine zentrale Variable. Sie ist eine Funktion des wahrgenommenen Normalisierungsbedarfs und der Virulenz der aktivierten Konzepte. Die Virulenz der aktivierten Konzepte ist hoch, wenn das Bild bei den Lernenden viele Ideen, Vorstellungen und Assoziationen induziert. Der Normalisierungsbedarf ist hoch, wenn die Lernenden das Bild als schwierig und unverständlich einstufen. Die Verarbeitungsintensität wird somit steigen, wenn Lernende eine Illustration als herausfordernd (Normalisierungsbedarf) und anregend (Virulenz) erleben. Kann die Intensität der Bildverarbeitung in Lernsituationen gesteigert werden, so erhöht sich die Lernwirksamkeit der Bilder (s.a. Gnoyke 1997). Dies kann etwa durch eine direkte Bitte an die Lernenden erfolgen, sich auf Text und Bild zu konzentrieren (Peeck 1994). Derartige Instruktionen sind aber nicht spezifisch, d.h. sie geben nicht vor, wonach im Bild gesucht werden soll. Eine signifikante Erhöhung der Bildeffektivität wird erreicht, wenn die generelle Instruktion spezifischer gemacht wird. Dies geschieht durch direkte Hinweise, worauf bei der Bildbetrachtung geachtet werden soll. Eine andere Art der Anleitung besteht in der Vorgabe von Fragen oder Aufgaben, die die Lernenden zur systematischen Konstruktion von semantischen Beziehungen zwischen den Elementen des jeweiligen mentalen Modells veranlassen. Deutlich wird, daß es zu

einer intensiven Wechselwirkung zwischen dem Vorwissen der Lernenden und der inhaltlichen Aussage des Bildes kommen muß.

### 3. Untersuchungsdesign und Testverfahren

In der vorliegenden Studie wird der Einfluß des Vorwissens auf das Lernen mit Bildern untersucht. Dazu werden Probandinnen und Probanden im Hinblick auf ihr Vorwissen charakterisiert und untersucht, ob für Laien (Personen mit geringem Vorwissen) und Experten (Personen mit hohem Vorwissen) bildliche Darstellungen beim Verstehen chemischer Inhalte generell von Vorteil sind und ob die Qualität der Bilder im Instruktionsmaterial einen Einfluß auf ihre Problemlöseleistungen hat. In der Untersuchung wird ein erklärendes Schulbuchbild eingesetzt, das einen komplexen chemischen Inhalt darstellt und ohne tiefere Auseinandersetzung mit dem Bildinhalt nicht verstanden werden kann. Die Bildverarbeitung soll durch die Beantwortung von Verständnisfragen während der Bildbetrachtung intensiviert werden. Die Ergebnisse werden genutzt, um die Verständlichkeit des Bildes durch Umgestaltung zu verbessern. Die Lernwirksamkeit des Schulbuchbildes wird mit der des optimierten Lernmaterials verglichen.

Bei der Wahl der Versuchspersonen für die Bildbetrachtung wird darauf geachtet, daß die im Bild veranschaulichten Inhalte den Probandinnen bzw. Probanden angemessen sind. So stammt zwar das Bild aus einem Schulbuch für die Sekundarstufe I (s.3.1), die Schülerinnen und Schüler können aber die physikalischen Inhalte, die der Funktionsweise des Massenspektrometers zugrunde liegen, frühestens nach Abschluß des Physikkurses der Mittelstufe annähernd verstehen (z.B. Dorn & Bader 1991). Der chemisch-analytische Anwendungsbereich des Massenspektrometers und die Bedeutung eines Massenspektrums dürfte jedoch erst für die Fortgeschrittenen im Bereich Chemie verständlich werden. Daher werden für diese Untersuchung Studierende der naturwissenschaftlichen Fächer Che-

mie, Chemietechnik und Biologie gewählt, die entweder die Massenspektrometrie bereits kennen oder diese Inhalte im Laufe ihrer organisch-chemischen bzw. analytisch-chemischen Lehrveranstaltungen kennenlernen werden. Dadurch wird der Forderung nach fachlicher (allgemein-naturwissenschaftlicher) Kompetenz der Versuchspersonen entsprochen.

### 3.1 Beschreibung der Lernumgebungen

Das ausgewählte Bild (Abb. 1) aus einem Schulbuch für die Sekundarstufe I (Fischer & Glöckner 1988) zeigt den Aufbau eines Massenspektrometers und soll dessen Funktionsweise erklären. Es visualisiert die makroskopische und die submikroskopische Ebene und ist reich an anweisenden Codes (z.B. Pfeile), deren Bedeutung im begleitenden Schulbuchtext nicht erläutert wird.

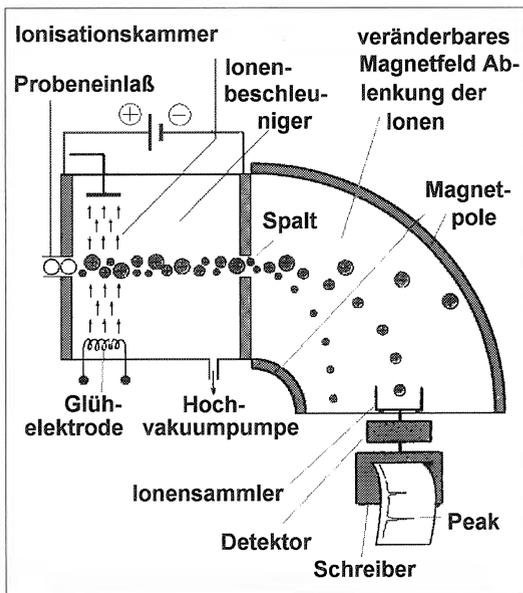


Abb. 1: Abbildung des Massenspektrometers (nach Fischer & Glöckner 1988)

Die Lernumgebung wird durch zwei instruktionale Maßnahmen, nämlich durch ein „steps & parts“-Bild und durch Fragen zu den Bildinhalten, variiert. Das „steps & parts“-Bild für die Pilotstudie wird anhand der Kriterien, die ein lernwirksames Bild charakterisieren (u.a. Mayer 1993), entwickelt. Es veranschau-

licht die Dynamik der Prozesse und die kausalen Zusammenhänge zwischen den Teilen des Systems. Der dargestellte mehrstufige komplexe Vorgang wird in Einzelschritte zerlegt, in denen jeweils das Wesentliche betont wird, indem nur die an einem Schritt teilnehmenden Apparaturteile farblich dargestellt werden. Die übrigen Geräteteile werden in einem hellen Grauton skizziert. In jedem Schritt wird die kausale Beziehung zwischen den einzelnen Prozessen hervorgehoben. Die komplementäre Nutzung von Text und Bild wird gesteuert, indem die Beschreibungen der Einzelschritte mit Hinweisen auf die entsprechenden Teilbilder versehen werden.

Beide Bilder werden in Begleitung desselben Texts aus dem Schulbuch angeboten. Er beschreibt den Ablauf der Prozesse in einem Massenspektrometer und geht oberflächlich auf die Auswertung eines Massenspektrums ein. Ein Vergleich der inhaltlichen Informationen zwischen Text und Bild zeigt, daß nur etwa zwei Fünftel der Informationen bzw. Begriffsverknüpfungen sowohl im Text als auch im Bild vorkommen. Dabei werden zu den Bildinformationen sowohl die Bildbeschriftungen als auch bildlich dargestellte aber unbeschriftete Inhalte gezählt. Beispiele sind die unterschiedlichen Massen der Ionen, die im Bild durch unterschiedliche Kreisdurchmesser visualisiert werden, oder der Beschuß der Probenmoleküle mit Elektronen, im Bild als Pfeile dargestellt. Vorausgesetzt wird, daß der Betrachter die Analogien erfaßt. 45% der Begriffsverknüpfungen sind ausschließlich im Bild und 15% ausschließlich im Text enthalten. Damit erscheint diese Text-Bild-Kombination als weitgehend komplementär bezüglich ihres Informationsgehalts. In der Text-„steps & parts“-Bild-Kombination ist der Anteil der redundanten Informationen geringfügig erhöht. Das „steps & parts“-Bild enthält einige Informationen mehr als das Einzelbild, so daß nahezu 50% der Begriffsverknüpfungen ausschließlich aus den Bildinformationen und weniger als 10% nur aus dem Text stammen. Zum Gesamtverständnis der im Massenspektrometer ablaufenden Prozesse ist jeweils die Integration beider Darstellungsformen erforderlich.

Versuchspersonen, die auf Lernumgebungen ohne die instruktionale Maßnahme „Fragen zu Bildinhalten“ aufgeteilt werden, erhalten die folgende Anweisung: *Betrachten Sie bitte das beiliegende Schema eines Massenspektrometers und lesen Sie den Begleittext. Versuchen Sie, sich den Aufbau und die Funktionsweise des Massenspektrometers zu merken. Sie bekommen im Anschluß daran einige Aufgaben zur Bearbeitung.* Für Versuchspersonen, denen eine Lernumgebung mit Fragen zu Bildinhalten vorgegeben wird, wird die Anweisung ergänzt: *Beantworten Sie dann die nachfolgenden Fragen (die Antworten auf die Fragen befinden sich im Bild!): Wozu dient die Glübelektrode in der Ionisationskammer? Wodurch entstehen Ionen in der Ionisationskammer? Warum herrscht Vakuum im Massenspektrometer? Wie werden die Ionen im Ionenbeschleuniger beschleunigt (Prinzip)? Wie werden die Ionen getrennt? Was ist das Kriterium für die Trennung der Ionen? Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Peakhöhe und den Ionen? Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Peaklage und den Ionen? Was kann man mit einem Massenspektrometer bestimmen? Zum „steps & parts“-Bild wird zusätzlich gefragt: Warum tritt im Massenspektrum von Methan hinter dem Molekülion-Peak bei  $m/z=16$  (100% rel. Häufigkeit) noch ein Peak bei  $m/z=17$  auf? Hat seine Höhe eine Bedeutung?*

### 3.2 Testverfahren

Zur Erhebung von Daten zum Vorwissen wird ein Verknüpfungstest und zur Erhebung von Daten zum Lernerfolg eine Wiedergabe-Transfer-Testkombination eingesetzt. Durch Vergleich statistischer Kennwerte der unterschiedlichen Probandengruppen können Fragen zur Lernwirksamkeit bestimmter Instruktionsmaterialien beantwortet werden. Dieser Auswertungstyp ist für die fachdidaktische Fragestellung unzureichend, da er keine detaillierten Aussagen zu den Ursachen des Ergebnisses erlaubt. Die kategoriegeleitete Inhaltsanalyse der einzelnen Probandenaussagen und ihr individueller Vergleich mit den Daten zum Vorwissen ermöglichen dagegen einen Einblick in die Interaktion der Lernenden mit der Lernumgebung. Desweiteren

werden zur Aufklärung bestimmter Interpretationen Daten aus Leitfaden-Interviews benötigt, die mit einem Experten und einem Laien durchgeführt worden sind.

#### 3.2.1 Der Vorwissenstest

Das Vorwissen der Probandinnen und Probanden beeinflusst nicht nur die Wahrnehmung eines Bildes (Gnoyke 1997) sondern auch kognitive Prozesse der Organisation und Integration von neuen Informationen. Um zu vermeiden, daß der Vorwissenstest die Funktion eines advance organizer übernimmt, ist ein gewisser zeitlicher Abstand zwischen dem Vorwissenstest und der Untersuchung notwendig. Die Pilotstudie zeigt, daß der zeitliche Abstand für die Laien keine Rolle spielt, da sie ohnehin über wenig Vorwissen verfügen. Im Falle von Versuchspersonen mit Vorwissen hat sich ein Abstand von einer Woche als sinnvoll erwiesen.

Zur Erhebung des Vorwissens wird ein Verknüpfungstest eingesetzt (Sumfleth 1988). Den Versuchspersonen wird eine Liste von Begriffen (Ablenkung/ablenken, Atom, Beschleunigung/beschleunigen, elektrisches Feld, Elektronen, Element, Ion, Ionisierung/ionisieren, Isotop, Magnetfeld, Massenspektrometer, Massenzahl, Molekül, Ordnungszahl) vorgelegt, die in Sätzen zu sinnvollen Aussagen verknüpft werden sollen. Alle vorkommenden Verknüpfungen werden mit jeweils einem Punkt bewertet. Falsch hergestellte Zusammenhänge werden mit negativen Punktwerten bewertet. Aus den Punktwerten wird für die Themenbereiche Chemie, Physik und Massenspektrometrie eine Summe errechnet. Die Probanden bzw. Probandinnen werden in Abhängigkeit von den errechneten Punktwerten der Gruppe der Experten, der Laien oder dem Mittelfeld zugewiesen. Bei der Festlegung der Kriterien für die erwähnte Zuordnung wird berücksichtigt, daß beim Erreichen einer hohen Punktzahl im Bereich Chemie bei gleichzeitigem Fehlen von Verknüpfungen im Bereich Physik und Massenspektrometrie keine Zuordnung zur Gruppe der Experten erfolgen kann, weil sie weder über

die Kenntnis der Funktionsweise eines Massenspektrometers noch dessen analytischer Bedeutung verfügen. Die Versuchsperson soll daher mindestens 5 Punkte in den Bereichen Physik und Massenspektrometrie erreichen, um der Gruppe der Experten zugewiesen zu werden. Als Laien werden Studierende bezeichnet, die maximal 2 Punkte in einem dieser Bereiche erreichen.

### 3.2.2 Die Wiedergabe-Transfer (WT)-Testkombination

Nach Mayer (1993) wird das wissenschaftliche Denken durch explanatives Wissen gefördert. Unter explanativem Wissen ist ein mentales Modell (running mental model) eines Systems zu verstehen, welches die Hauptelemente, die dynamischen Zusammenhänge zwischen ihnen und die allgemeinen Prinzipien enthält, die den Zusammenhängen zugrunde liegen. Das nichtexplanative Wissen setzt sich dagegen aus zufälligen Fakten und wortwörtlich gehaltenen Textpassagen zusammen. In dieser Untersuchung wird die Behaltensleistung mithilfe eines Erinnerungsprotokolls und die Qualität der konstruierten mentalen Modelle mithilfe eines Transferleistungstests erhoben (s.a. Mayer & Gallini 1990).

Im Erinnerungsprotokoll werden Daten über die Menge und Richtigkeit der erinnerten Inhalte erhoben. Es soll überprüft werden, ob die Probandinnen und Probanden die Dynamik des dargestellten Prozesses durch die korrekte Reihenfolge und Hervorhebung von kausalen Zusammenhängen wiedergeben. Durch den Vergleich der Wiedergabeleistung der Versuchspersonen in Abhängigkeit von der vorgegebenen Lernumgebung wird überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den Merkmalen der Lernumgebung und den von den Versuchspersonen wörtlich wiedergegebenen Textpassagen besteht. Für jede Lernumgebung wird ein eigenes Auswertungsgrundnetz in Analogie zu dem oben beschriebenen und von Schüttler (1994) für Textanalysen benutzten Verfahren entworfen. In das Auswertungsgrundnetz werden neben den Textinformationen auch die zusätzlich im Bild ent-

haltenen Informationen aufgenommen und entsprechend gekennzeichnet. Dies erleichtert die Zuordnung der Herkunft von Informationen. Die von Probandinnen und Probanden geschriebenen Texte werden in Begriffspaare unterteilt, in das Netz eingetragen, qualitativ interpretiert und ausgezählt. Die Aussagen werden dabei als Bild-, Text- bzw. Bild- & Text-Informationen oder über die Lernmaterialbasis hinausgehende Informationen kategorisiert. Anschließend werden die Falschaussagen der Versuchspersonen im Hinblick auf Mißverständnisse qualitativ analysiert.

Der Transferleistungstest besteht aus Aufgaben, die die Anwendung von Informationen aus dem Lernmaterial auf eine andere Problemstellung verlangen. Diese Aufgaben können nur dann gelöst werden, wenn der Proband bzw. die Probandin über ein adäquates mentales Modell des dargestellten Systems verfügt. Es werden fünf (in der Pilotstudie nur vier) Probleme in Frageform formuliert (Tabelle 1). Die Probandinnen und Probanden sollen u.a. Störungen im Betrieb und Einhalten von bestimmten Versuchsbedingungen im Massenspektrometer erklären sowie aus dem vorgestellten Trennungsprinzip auf die Anwendungsmöglichkeiten des Spektrometers schließen. Die Bewertung der Antworten erfolgt nach einem Punktesystem (Tabelle 1). Es werden nur richtige Antworten berücksichtigt. Die Falschaussagen der Probandinnen und Probanden werden dennoch qualitativ ausgewertet. Unvollständige Antworten werden mit einem halben Punkt bewertet.

### 3.3 Konsequenzen der Pilotstudie

1. Zur Erstellung einer Text-“steps & parts“-Bild-Kombination wird ein Text benötigt, dessen semantischer Inhalt dem Inhalt des Bildes entspricht. Ein redundantes Text/Bild-Verhältnis erscheint als optimal.
2. Die sprachliche Beschreibung muß sich in unmittelbarer Nähe der visualisierten Inhalte befinden, d.h. der entsprechende Textabschnitt gehört in die unmittelbare Nähe des Bildes bzw. Teilbildes.

Problemlöseaufgabe	Antwort	Punktzahl pro Antwort	Max. Punktzahl
1. Ist es möglich, Ionen mit gleicher Masse und gleicher Ladung aber unterschiedlichem Durchmesser in einem Massenspektrometer zu trennen? Begründen Sie Ihre Antwort!	⇒ Nein, der Durchmesser spielt keine Rolle	1	2
	⇒ Das Trennungsprinzip beruht auf dem $m/z$ -Verhältnis	1	
2. In Massenspektren treten manchmal Peaks von 2-fach geladenen Ionen ( $M^{2+}$ ) auf. Warum werden diese Peaks als Störungen aufgefaßt?	⇒ Sie treten im Massenspektrum auf, wo Ionen $M^{+}$ (mit $m_{(M^{+})} = m_{(M)}/2$ ) zu erwarten wären.	1	2
	⇒ Sie täuschen $M^{+}$ vor (verfälschen z.B. die Bestimmung deren Konzentration)	1	
3. Warum muß im Massenspektrometer Vakuum herrschen?	⇒ um zu vermeiden, daß die Moleküle durch Zusammenstöße mit den Molekülen der Luft gestreut und aus ihrer Bahn gebracht werden	1	2
	⇒ Peaks der Luftbestandteile führen zu einem unübersichtlichen Massenspektrum und verfälschen die Konzentrationsangaben	1	
4. Was kann man mit einem Massenspektrometer bestimmen?	⇒ Zusammensetzung der Probe (qualitative Analyse)	1	5
	⇒ Konzentrationen der Probenbestandteile (quantitative Analyse)	1	
	⇒ Molmasse einer Verbindung	1	
	⇒ Struktur org. Verbindungen	1	
	⇒ Isotopenhäufigkeit	1	
5. Warum tritt im Massenspektrum von Methan hinter dem Molekülion-Peak bei $m/z=16$ (100% rel Häufigkeit) noch ein Peak bei $m/z=17$ auf? Hat seine Höhe eine Bedeutung?	⇒ Isotop $^{13}\text{C}$	1	2
	⇒ Verhältnis der Höhen entspricht dem Häufigkeitsverhältnis	1	

Tab. 1: Aufgaben des Transfertests

3. Die Quelle der Falschaussagen ist u.a. der Bereich der Ionisationskammer. Der glüh-elektrische Effekt und die Stoßionisation

werden mißverstanden. Daher ist eine zusätzliche Beschriftung des Bildes in diesem Bereich notwendig.

4. Um der Fehlvorstellung zur Wirkung der Magnetpole vorzubeugen, wird auf die Kennzeichnung der beiden Magnetpole verzichtet.
5. Die Teilbilder, die die Dynamik der Vorgänge in einem Massenspektrometer andeuten sollen, sind nicht notwendig, da Mißverständnisse in diesem Bereich nicht vorkommen.
6. Die Aufmerksamkeit der Lernenden wird durch Textteile stärker auf das Massenspektrum gelenkt, um den Zusammenhang zwischen den Vorgängen im Massenspektrometer und dessen analytischer Anwendbarkeit leichter erkennbar zu machen.
7. Die Text-“steps & parts“-Bild-Kombinationen werden mit Darstellungen und zusätzlichen Erklärungen ausgestattet werden, die das entsprechende Vorwissen der Laien aktivieren.
8. Kausale Zusammenhänge und physikalische Prinzipien müssen für die Laien sprachlich und bildlich hervorgehoben werden.

### 3.4 Hypothesen und Design der Hauptstudie

Die Hypothesen lauten:

1. Das Vorwissen hat entscheidenden Einfluß auf das Lernen mit Text-Bild-Kombinationen. Dies führt zu signifikant besseren Wiedergabe- und Transferleistungen der Experten.
2. Die bildliche Darstellung der Inhalte hat bei den Experten keinen Einfluß auf die Be-haltens- und die Transferleistung.
3. Das Beantworten von Fragen erhöht die Intensität der Bildverarbeitung und führt zu einer besseren Wiedergabe- und Transferleistung der Laien. Das Beantworten von Fragen führt bei Experten zu keinem wesentlichen Vorteil beim Lernen, da das Vorwissen der Experten bereits die notwendige Tiefe der Bildverarbeitung ermöglicht.
4. Das „steps & parts“-Bild erleichtert den Laien die Generierung eines adäquaten mentalen Modells. Dies führt zu einer Verbesserung der Transferleistung von Laien.

5. Die Menge der wiedergegebenen Informationen korreliert mit der Transferleistung. An der Untersuchung nehmen 90 Studierende naturwissenschaftlicher Fächer und eine Diplom-Chemikerin teil. Die 90 Probandinnen und Probanden werden aus einer Gruppe von 109 Studierenden ausgewählt und entsprechend ihrem Vorwissen den jeweils fünf Gruppen von Laien und Experten zugewiesen (Abb. 2). In der ersten Untersuchungsphase werden drei unterschiedlich ausgestaltete Lernumgebungen den jeweils drei Laien- (L<sub>(K)</sub>, L<sub>(1)</sub>, L<sub>(2)</sub>) und Expertengruppen (E<sub>(K)</sub>, E<sub>(1)</sub>, E<sub>(2)</sub>) vorgegeben. Mit einer Laiin und der Diplom-Chemikerin, die über eine Expertise auf dem Gebiet verfügt, werden Leitfaden-Interviews über den Bildinhalt durchgeführt. Die Ergebnisse der qualitativen Auswertung der Wiedergabe- und Transferleistungstests des deskriptiven Untersuchungsabschnitts werden als weitere Basis für die Ausgestaltung einer Lernumgebung genutzt, die auf einem „steps & parts“-Bild beruht. Im präskriptiven Teil der Untersuchung wird deren Lernwirksamkeit überprüft (L<sub>(3)</sub>, L<sub>(4)</sub> und E<sub>(3)</sub> E<sub>(4)</sub>).

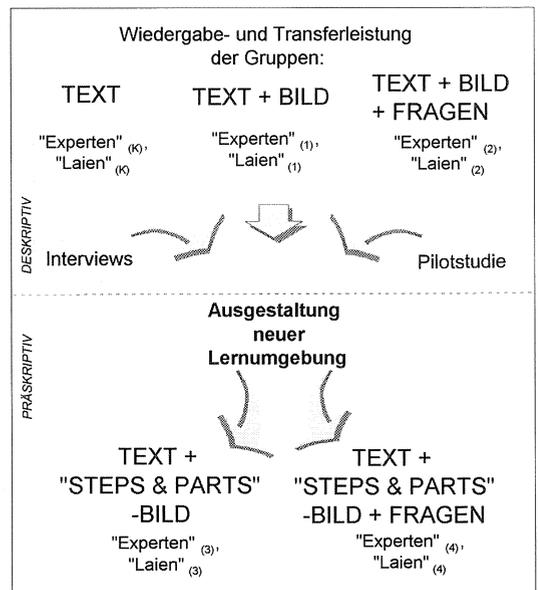


Abb. 2: Design der Hauptuntersuchung

Für die Hauptuntersuchung wird ein anderer Text ausgewählt (Vollhardt 1990). Er enthält etwa drei Viertel aller Informationen der

neuen Text-Bild-Kombination, wobei ein Teil von ihnen zum Bild redundant ist. Die Bereicherung des Lernmaterials um weitere Textinformationen soll den Laien mehr Möglichkeiten zum Anknüpfen anbieten. Der Anteil der ausschließlich im Bild enthaltenen Informationen ist auf ein Viertel reduziert worden. Variiert wird also nicht das Bild, sondern der Text. Das beschriebene Schulbuchbild wird eingesetzt und in ein „steps & parts“-Bild umgewandelt. Der Text ist verständlich (Schüttler 1994), weil die neuen Informationen in der Regel wiederholt und erst dann mit weiteren Inhalten verknüpft werden. Auf diese Weise bleibt die Informationsdichte niedrig. Vorausgesetzt wird jedoch die Kenntnis grundlegender Begriffe wie Molekül, Elektron, Ion, molare Masse, Ladung usw.

### 3.5 Entwicklung der Text- “steps & parts“-Bild-Kombination

Die sprachliche Beschreibung wird unmittelbar mit den Teilbildern gekoppelt. Daher wird der Text in 5 sinnvolle Einheiten unterteilt, zu denen Teilbilder entwickelt werden (Abb. 3). Es wird ein redundantes Text-Bild-Informationsverhältnis angestrebt. Der Umfang wird auf eine DIN A4 Seite begrenzt, um Umblättern zu vermeiden. Durch eine großzügige Beschriftung der Teilbilder wird die Mehrdeutigkeit der Darstellung vermieden. Der Anteil der ausschließlich im Bild dargestellten Informationen ist für diese „steps & parts“-Bild-Kombination mit 16% am niedrigsten.

Da sich in der Pilotstudie Teilbilder, die die Veränderung der Kreisbahnradien explizit visualisieren, als überflüssig erwiesen, wird auf diese verzichtet. Die Einlaßkammer, in der die Verdampfung stattfindet, und die Ionisationskammer werden hervorgehoben. Die von der Glühelktrode emittierten Elektronen werden mit einer Bildunterschrift versehen. Die Stoßionisation wird im Teilbild 1 durch Beschriftung (*Ionisierung durch Elektronenstoß*) und Zoom-Darstellung im Teilbild 2 hervorgehoben. Die Beschriftung *Ionenbeschleuniger* wird durch die *Ionenbeschleunigung*

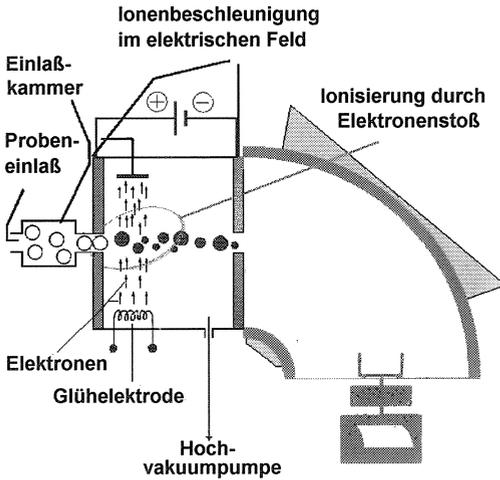
*im elektrischen Feld* ersetzt. Das Sektorfeld, der Ionensammler, der Detektor und die Ausgabereinheit werden ausgeblendet.

Im Teilbild 3 werden der Bereich des Magneten und der Ionensammler farbig dargestellt. Die Hauptinformationen aus dem Text *Im Magnetfeld werden Ionen auf Kreisbahnen abgelenkt und der kausale Zusammenhang Radien der Kreisbahnen sind von  $m/z$  und Magnetfeldstärke abhängig* werden in die Bildbeschriftung integriert. Um der Interpretation einer unterschiedlichen Wirkung der beiden Magnetpole vorzubeugen, wird eine alternative Darstellung des magnetischen Sektorfeldes gewählt (z.B. Vollhardt 1990).

Im Teilbild 4 werden die veränderte Magnetfeldstärke und die daraus resultierende veränderte Ablenkung der Ionen dargestellt. Ferner werden der Ionensammler, der Detektor und der Schreiber mit einem Massenspektrum farbig hervorgehoben. Das Massenspektrum wird mit dem Kommentar *Peaks bei verschiedenen  $m/z$ -Werten* versehen. Damit wird eine inhaltlich mit dem Textabschnitt 4 übereinstimmende bildliche Darstellung realisiert.

Im Teilbild 5 wird das Massenspektrum von Methan dargestellt. Der zugeordnete Text beschreibt ein Massenspektrum. Hieraus können je nach Vorwissen weitere Informationen zum Anwendungsbereich eines Massenspektrometers (z.B. Strukturaufklärung, Isotopenhäufigkeitsbestimmung) abgeleitet werden.

1. Die Probe wird in die Einlaßkammer gegeben und verdampft. Durch eine Düse kann dann eine kleine Menge der Substanz in die Hochvakuumkammer des Spektrometers gelangen. Hier werden die neutralen Moleküle durch einen Elektronenstrahl geleitet (s. Abb. 1).



3. Als geladene Teilchen werden die Molekülionen im elektrischen Feld beschleunigt. Die beschleunigten Ionen gelangen daraufhin in ein Magnetfeld, wo sie in eine Kreisbahn abgelenkt werden, deren Radius vom Quotienten  $m/z$  (Masse/Ladung) und der Stärke des Feldes abhängt (s. Abb. 3). Die Stärke des Magnetfeldes läßt sich nun so verändern, daß jeweils nur Ionen mit einem bestimmten  $m/z$  (Masse/Ladung)-Verhältnis zum Ionensammler gelangen können

Im Magnetfeld werden Ionen auf Kreisbahnen abgelenkt - Radien der Kreisbahnen sind von  $m/z$  und Magnetfeldstärke abhängig

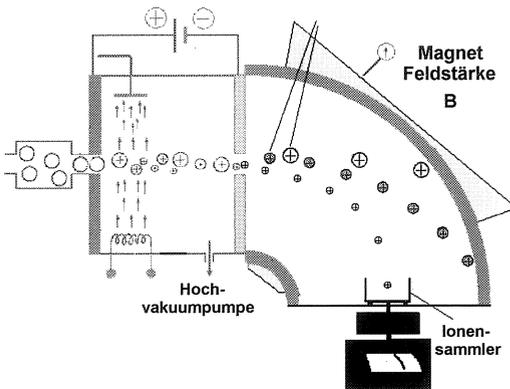


Abb. 3: Ablenkung von Ionen im Magnetfeld

2. Beim Auftreffen der Elektronen wird den Molekülen so viel Energie übertragen, daß einige von ihnen ein Elektron ausstoßen können. Dabei bilden sich meist einfach positiv geladene Molekül-Ionen (s. Abb. 2).

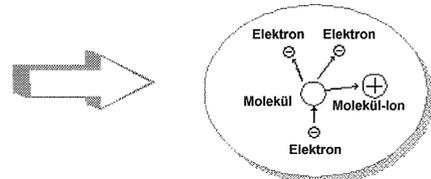
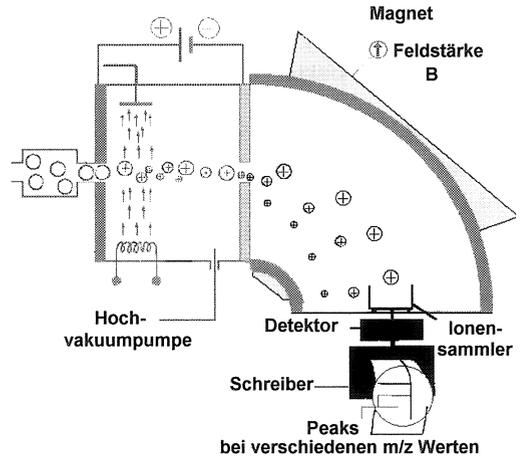


Abb. 2: Ionisierung durch Elektronenstoß

4. Dieses Ereignis wird elektronisch in ein Signal umgewandelt, das als Peak aufgezeichnet wird (s. Abb.4). Verändert man kontinuierlich die Feldstärke, erhält man für ein Gemisch von Verbindungen eine Reihe von Peaks, jeden auf der Stelle des Spektrums, die für eine bestimmte molare Masse charakteristisch ist.



5. In einem Massenspektrum trägt man den  $m/z$ -Wert (Abszisse) gegen die Peakhöhe (Ordinate) auf, die ein Maß für die relative Häufigkeit von Ionen mit dieser molaren Masse ist. Die Häufigkeit wird dabei auf den größten Peak im Spektrum, den sogenannten Basis-Peak bezogen, dessen relative Häufigkeit gleich 100 gesetzt wird (s. Abb. 5)

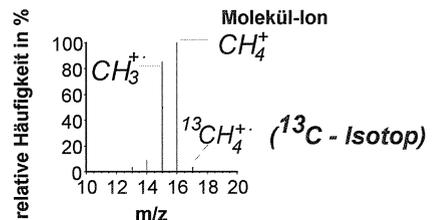


Abb. 5: Das Massenspektrum von Methan

Abb. 3: Die in der Hauptuntersuchung entwickelte Text- „steps & parts“-Bild-Kombination

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Wiedergabe- und Transferleistungstest im ersten Untersuchungsabschnitt

An dem ersten Untersuchungsabschnitt nehmen 54 Studierende, 27 Laien und 27 Experten teil, die zufällig auf die Kontrollgruppe (K), die Lernumgebung (1) mit der Text-Schulbuchbild-Kombination und die Lernumgebung (2) mit der Text-Schulbuchbild-Fragen-Kombination verteilt werden. Nach der Verarbeitung des angebotenen Lernmaterials in einer beliebig langen Zeit (die Versuchspersonen benötigten etwa 15-20 Minuten), bearbeiten die Versuchspersonen den Wiedergabe- und den Transferleistungstest. Für die Wiedergabe- und die Transferleistung werden Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt. Die Mittelwertunterschiede sind zwischen den Gruppen gleichen Vorwissens gering, zwischen Laien- und Experten- gruppen größer (Tab. 2).

#### 4.1.1 Korrelation zwischen der Wiedergabe- und der Transferleistung

Der Betrag des Korrelationskoeffizienten nach Pearson (Bühl & Zöfel 1996) für normalverteilte Daten ( $p^{(\text{Wiederg.})} = 0,7052$  und  $p^{(\text{Transf.})} = 0,3488$  im Kolmogorov-Smirnov-Test) weist auf eine mittlere Korrelation zwischen den beiden Variablen hin ( $r^{\text{Pearson}} = 0,54$ ;  $p < 0,001$ ). Damit ist die Hypothese 5, *die Menge der wiedergegebenen Informationen korreliert mit der Transferleistung*, für diese Gesamtgruppe bestätigt.

In einem weiteren Schritt wird eine multivariate zweifaktorielle Varianzanalyse durchge-

führt. Der Faktor „Vorwissen“ wird dabei in zwei Ausprägungen (Laienwissen vs. Expertenwissen), der Faktor „Lernumgebung“ in drei Ausprägungen (Text vs. Text-Bild-Kombination vs. Text-Bild-Fragen-Kombination) realisiert. Der Effekt der zwei Faktoren wird simultan auf beide abhängigen Variablen (Wiedergabe- und Transferleistung) überprüft. Da die Varianzanalyse eine Homogenität der Varianzen voraussetzt, werden Tests der Varianzhomogenität nach Bartlett und Cochran durchgeführt. Das Ergebnis der Tests zeigt keine signifikanten Unterschiede.

#### 4.1.2 Einfluß des Vorwissens

Die statistische Auswertung mittels der vier multivariaten Teststatistiken Pillais Spurkriterium, Hotelling-Lawleys T, Wilks likelihood-Quotient Lambda ( $\Lambda$ ) und Roys größtem Eigenwert ( $\hat{\lambda}$ ) zeigt einen hoch signifikanten Effekt des Faktors Vorwissen auf die zwei abhängigen Variablen ( $p < 0,001$ ). Ergebnisse der univariaten F-Tests für die abhängigen Variablen Wiedergabeleistung ( $F(1,48) = 20,50$ ;  $p < 0,001$ ) und Transferleistung ( $F(1,48) = 95,35$ ;  $p < 0,001$ ) zeigen hoch signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den Gruppen unterschiedlichen Vorwissens. Die Gesamtsignifikanz hat somit ihre Ursache in signifikanten Unterschieden sowohl bei der Wiedergabe- als auch bei der Transferleistung.

Die qualitativen Unterschiede zwischen den Laien und den Experten beziehen sich hauptsächlich auf die Häufigkeiten bestimmter Begriffspaare in den Erinnerungsprotokollen. Insbesondere die Experten erzeugen zahlreiche neue Verknüpfungen, in denen sie Begriffe aus ihrem Vorwissen mit neuen Informationen verbinden. Die bereits in der

	LK	L1	L2	EK	E1	E2
Wiedergabeleistung (korrekte Verknüpfungen)	9,0 ± 4,8	6,9 ± 3,3	10,4 ± 3,9	15,3 ± 5,1	13,3 ± 4,9	14,0 ± 4,3

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen

Pilotstudie aufgetretene Tendenz der Experten, kausale Zusammenhänge wiederzugeben, wird bestätigt. Z.B. werden das Trennungsprinzip im Magnetfeld mit Hilfe der Begriffspaare Kreisbahnradius-(Magnet)Feldstärke von 7,5% (2) der Laien und 15% (4) der Experten, Kreisbahnradius-Masse und Kreisbahnradius-m/z von jeweils 7,5% der Laien und knapp einem Viertel (7) der Experten, Kreisbahnradius-Ladung von 11% (3) der Laien und knapp einem Viertel der Experten wiedergegeben. Laien hingegen bevorzugen Beschreibungen von apparativen Details. So wird das Begriffspaar Einlaßkammer-Probe von 22% (6) der Laien aber nur von 7,5% der Experten benutzt. Auch wird der Zusammenhang zwischen der Funktionsweise des Massenspektrometers und dem auszuwertenden Massenspektrum von Experten in höherem Maße hervorgehoben als von Laien. Im Rahmen dieser qualitativen Inhaltsanalyse wird auch die Anzahl der wörtlich wiedergegebenen Textpassagen betrachtet. Nach Mayer (1993) indizieren die wörtlich behaltene Textpassagen nichtexplanatives Wissen. Schwache Problemlöser erbringen bessere Leistungen bei der wörtlichen Textwiedergabe (Mayer 1984, 1989, 1993). Entsprechend den Erwartungen geben die Laien 11, die Experten jedoch lediglich 2 Sätze wörtlich wieder. Hierbei bestehen große Differenzen innerhalb der Laiengruppen, die auf die Ausgestaltung der Lernumgebung zurückzuführen sind (s.4.1.3). Die wörtliche Wiedergabe der Sätze deutet auf Unsicherheiten bei der Paraphrasierung des Textes hin. Das Ergebnis impliziert die Annahme, daß die Laien häufiger versuchen, die Oberflächenstruktur des Textes zu behalten, anstatt mit Hilfe des Lernmaterials ein mentales Modell des Massenspektrometers zu generieren.

Von den 59 Falschaussagen in den Wiedergabetests werden 47 (80%) von Laien formuliert. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist höchst signifikant (U-Test nach Mann und Whitney für nicht normalverteilte Daten, Bortz et al. 1990). Versuchspersonen mit wenig Vorwissen stoßen offenbar bei der Interpretation des Lernmaterials auf Verständ-

nisprobleme. Zwischen den Falschaussagen gibt es qualitative Unterschiede, die durch folgende Kategorisierung widerspiegelt werden:

1. Aussagen, die sich auf durch das Bild induzierte Fehlvorstellungen zurückführen lassen,
2. Aussagen, die sich auf durch den Text induzierte Fehlvorstellungen zurückführen lassen,
3. Aussagen, die das Behalten von Begriffen (Vokabeln) ohne Konzeptverstehen indizieren,
4. Aussagen, die auf das Verstehen der Konzepte hindeuten, aber durch den Gebrauch von unkorrekten Begriffen zu Falschaussagen werden,
5. Unklar formulierte Aussagen.

Die Grenzen der Kategorien sind unscharf, und die Aussagen können gleichzeitig mehr als einer Kategorie zugewiesen werden. Bei der Zuordnung der Aussagen zu den Kategorien wird die Technik der explizierenden Inhaltsanalyse angewendet, bei der diffuse und mehrdeutige Aussagen durch Einbeziehung von Kontext aufgeklärt werden (Flick 1995). Zur Explikation der Aussagen werden weitere Textstellen der Erinnerungsprotokolle und die Informationen aus dem Vorwissentest herangezogen. Der Inhalt von etwa einem Viertel der Aussagen kann wegen falscher oder unpräziser Formulierungen nicht aufgeschlüsselt werden. Hier erfolgt Zuweisung zur Kategorie 5. In diese Kategorie fallen die meisten falschen Aussagen der Experten. Die Falschaussagen der Laien gehören überwiegend in die Kategorien 1-3. Knapp die Hälfte der Falschaussagen der Laien und ein Viertel der Falschaussagen der Experten lassen sich auf die durch das Lernmaterial induzierten Fehlvorstellungen zurückführen (Kategorien 1 und 2). Sie entstehen durch Interaktion des Vorwissens, das aus naturwissenschaftlichen Präkonzepten besteht, mit den im Lernmaterial enthaltenen Informationen (s.4.1.3). Knapp ein Drittel der unkorrekten Aussagen der Laien gehört in die Kategorie 3, weitere 15% können so interpretiert werden, daß die Laien die chemischen bzw. physikalischen

Konzepte verstehen, aber diese z.B. mit Begriffen aus dem Alltag beschreiben (Kategorie 4). Zur Kategorie 4 gehören auch Aussagen, die zwar ohne Berücksichtigung des Kontextes korrekt sind, aber im Zusammenhang mit den im einfach fokussierenden Massenspektrometer ablaufenden Prozessen falsch sind.

Zur Erfassung von Differenzen bezüglich der Qualität von mentalen Modellen, die von Versuchspersonen unterschiedlichen Vorwissens generiert werden, muß die Transferleistung detailliert betrachtet werden. Einen Hinweis auf die Schwierigkeit der einzelnen Aufgaben des Transfertests bezogen auf die Versuchspersonen mit und ohne Vorwissen geben die Schwierigkeitsindices (Lienert & Von Eye 1994) der Aufgaben (Tab. 3).

Die Schwierigkeitsindices belegen für die Experten eine mittlere Schwierigkeit des Transferleistungstests, für die Laien hingegen eine hohe. Während die Aufgabe 1 (*Ist es möglich, Ionen mit gleicher Masse und gleicher Ladung aber unterschiedlichem Durchmesser in einem Massenspektrum zu trennen? Begründen Sie Ihre Antwort!*) für alle Gruppen relativ leicht ist, sind die Unterschiede zwischen den Laien und Experten vor allem bei den Aufgaben 2 (*In Massenspektren treten manchmal Peaks von 2-fach geladenen Ionen ( $M+2$ ) auf. Warum werden diese Peaks als Störungen aufgefaßt?*) und 5 (*Warum tritt im Massenspektrum von Methan hinter dem Moleküllion-Peak bei  $m/z=16$  (100% rel. Häufigkeit) noch ein Peak bei  $m/z=17$  auf? Hat seine Höhe eine Bedeutung?*) sehr groß. Beide Aufgaben beziehen sich auf den Zusammenhang

zwischen der Funktionsweise des Massenspektrometers und der Auswertung von Massenspektren. Dieser Zusammenhang wird bei Aufgabe 2 lediglich von knapp einem Fünftel der Laien aber etwa drei Fünfteln der Experten zumindest ansatzweise hergestellt. Während Aufgabe 2 von den Laien häufig falsch oder sehr allgemein beantwortet wird, wird Aufgabe 5 gar nicht bearbeitet. 11% der Laien, aber 81% der Experten antworten hier. Aufgabe 3 (*Warum muß im Massenspektrometer Vakuum herrschen?*) wird von allen Experten und vier Fünfteln der Laien bearbeitet. Die mittleren Schwierigkeitsindices für die Expertengruppen sind auf unvollständige Antworten zurückzuführen, da oft nur ein Grund genannt wird. Demgegenüber sind die Antworten der Laien wiederum häufig zu allgemein und werden dann mit null Punkten bewertet. Falsche Antworten deuten auf Mißverständnisse bei der Interpretation des Lernmaterials hin: „In der Vakuumkammer werden die Moleküle von einem Ionenstrahl weitergeleitet. Würde kein Vakuum herrschen, wäre dieser Transport nicht möglich“. Der geringste Schwierigkeitsunterschied besteht zwischen Laien und Experten bei Aufgabe 4 (*Was kann man mit einem Massenspektrometer bestimmen?*). Der qualitative Unterschied zwischen den Antworten ist hier gering. Da die Laien im Transferleistungstest verhältnismäßig schlecht abschneiden, kann angenommen werden, daß in diesen Probandengruppen nur wenige Versuchspersonen adäquate mentale Modelle ausbilden, die die Lösung von Aufgaben höheren Komplexitätsgrads ermöglichen.

	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Alle Aufgaben
<b>LAIEN</b>						
L <sub>K</sub>	67	8	17	19	22	25
L <sub>1</sub>	61	14	28	16	0	22
L <sub>2</sub>	83	8	8	20	0	23
<b>EXPERTEN</b>						
E <sub>K</sub>	89	19	58	26	89	49
E <sub>1</sub>	97	58	47	28	44	49
E <sub>2</sub>	100	47	67	23	64	52

Tab. 3: Schwierigkeitsindices der Aufgaben im Transferleistungstest

### 4.1.3 Einfluß der Lernumgebung

Die simultane Betrachtung der Wiedergabe- und der Transferleistung ergibt keinen signifikanten Effekt der unabhängigen Variablen Lernumgebung. Auch univariate F-Tests zeigen keinen signifikanten Mittelwertunterschied, der auf die unterschiedliche Ausgestaltung der Lernumgebung zurückzuführen wäre. Ferner ist kein signifikanter Einfluß der Lernumgebung auf die Anzahl der Falschaussagen belegbar. Es bestehen dennoch qualitative Unterschiede, die sich auf die unterschiedlichen Lernumgebungen beziehen. Diese müssen jedoch unter Berücksichtigung des Vorwissens diskutiert werden.

### 4.1.4 Wechselwirkung der Faktoren Vorwissen und Lernumgebung

Die mittels multivariater Varianzanalysen ermittelte Interaktion von Vorwissen und Lernumgebung erwies sich als nicht signifikant. Damit wird die Hypothese 2, *die bildliche Darstellung der Inhalte hat bei den Experten keinen Einfluß auf die Behaltens- und die Transferleistung*, für das eingesetzte Bildmaterial bestätigt. Die im Hinblick auf das Vorwissen und die Verarbeitungsintensität formulierte Hypothese 3, *das Beantworten von Fragen erhöht die Intensität der Bildverarbeitung und führt zu einer besseren Wiedergabe- und Transferleistung der Laien, die zu ihrem Lernmaterial Fragen bekommen*, muß für dieses Lernmaterial hingegen verworfen werden.

Um Hinweise für die Entwicklung eines „steps & parts“-Bildes zu gewinnen, werden die Aussagen analysiert, die auf inadäquate mentale Modelle hinweisen. Dazu gehören auch die wörtlichen Textwiedergaben. Die meisten, nämlich 10 von 12, treten in der Laiengruppe L2 auf. Die zusätzlichen Fragen führen bei dieser Gruppe zu einem etwas besseren Ergebnis im Wiedergabetest (Tab. 2).

Die intensivere Auseinandersetzung hat aber offenbar zum Auswendiglernen der Textpassagen geführt. Der niedrige Mittelwert der Punktzahl im Transferleistungstest bestätigt diese Annahme. Die Laien haben zwar den Text behalten, sind aber kaum in der Lage, über die Textbasis hinausgehende Probleme zu lösen. Sie bilden auch die meisten Falschaussagen (Tab. 4).

Ein Großteil der durch die Interaktion von Vorwissen und Bild hervorgerufenen Fehlvorstellungen (Kategorie 1, 4.1.2) bezieht sich auf die Glühelektrode. Die Falschaussagen stammen fast ausschließlich aus den Erinnerungsprotokollen der Laien. Die Glühelektrode wird entweder als der Ort beschrieben, an dem die Substanz verdampft wird (5% der Falschaussagen) oder als der, an dem die Energieübertragung auf die Moleküle erfolgt (7%): *„Moleküle werden zur Glühelektrode geleitet, wo die Energieübertragung auf die Moleküle erfolgt“* oder *„Die neutralen Moleküle werden von der Glühelektrode so energiereich, daß sie Elektronen abgeben“*. Beim Versuch, die Textpassage, *beim Auftreffen der Elektronen wird den Molekülen so viel Energie übertragen, daß einige von ihnen ein Elektron ausstoßen können*, mit der Bildinformation zu verknüpfen, werden die durch Pfeile dargestellten Elektronen nicht erkannt.

Die zweite Schwierigkeit, liegt darin, daß das Bild nur einen Zustand des Prozesses im Spektrometer visualisiert. Studierende mit Vorwissen können dennoch aus Text und Bild ein dynamisches mentales Modell des Systems bilden, aber diejenigen ohne Vorwissen nicht: *„In die Einlaßkammer wird eine Probe eingelassen. In der Vakuumkammer befinden sich Moleküle“*. Die Dynamik der Prozesse ergibt sich keineswegs aus dem Bild. Wird der Eingangsbereich des Massenspektrometers aus dem Bild fehlerhaft interpretiert, bleibt auch die Reihenfolge der Prozesse unklar: *„Zunächst wird die Probe ionisiert und verdampft und in die Apparatur eingespritzt“*.

	LK	L1	L2	EK	E1
Anzahl der Falschaussagen	16	13	18	2	2

Tab. 4: Anzahl der Falschaussagen in Erinnerungsprotokollen

Die Beschriftung der Magnetpole, als Hilfe zur Anknüpfung der neuen Informationen an das Vorwissen zum Magnetismus gedacht, erweist sich als mißverständlich: „Die Ionen werden durch ein Magnetfeld geleitet, wobei die negativen Teilchen zum positiven Pol gezogen werden und die positiven zum negativen“. Die Bildbeschriftung aktiviert in diesem Fall offenbar das Schema „elektrisches Feld“.

Vom Text (Kategorie 2, 4.1.2) werden Aussagen induziert wie „Die Ablenkung der Ionen wird in einem Schreiber aufgezeichnet“, „Man mißt den Grad der Ablenkung“, „Die Stärke der Ionen löst ein akustisches Signal aus, welches als Peak übertragen wird“ und „Die Radien werden durch ein akustisches Signal und dann Peak wiedergegeben“.

Entscheidend in diesem Untersuchungsabschnitt ist das Ausbleiben eines positiven Bild-effekts. Dieses überrascht mit Blick auf die Laien (vgl. Hypothese 2). Eine mögliche Erklärung liefert die Hemmungsthese (Weidenmann 1995), nach der multicodal bzw. multimodal strukturierte Lernangebote eine intensive Verarbeitung erschweren (Sturm 1984), weil die Verarbeitungskapazität der Laien nur noch für eine automatische Encodierung des Lernmaterials ausreicht und nicht, um kausale Zusammenhänge und physikalisch-chemische Prinzipien zu verstehen. Desweiteren ruft die bildliche Darstellung eine Fülle von Mißverständnissen hervor. Diese werden durch das Beantworten von Fragen zum Bild eher vertieft als beseitigt.

#### 4.2 Wiedergabe- und Transferleistungstest im zweiten Untersuchungsabschnitt

Am zweiten Untersuchungsabschnitt nehmen 36 Studierende, 18 Laien und 18 Experten teil, die zufällig auf die zwei Lernumgebun-

gen (3) und (4) verteilt werden. Sie umfassen die neu entwickelten Text-“steps & parts“-Bild-Kombination, zu der in der Lernumgebung (4) außerdem Fragen gestellt werden. Es ist anzunehmen, daß zusätzliche Fragen zu einem leichter verstehbaren Bild die Lernwirksamkeit erhöhen. Für die Wiedergabe- und die Transferleistung werden Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt (Tab. 5). Der Haupteffekt „Vorwissen“ ist höchst signifikant, alle anderen Effekte sind nicht signifikant. Statistisch höchst signifikante univariate Mittelwertsunterschiede ergeben sich sowohl in der Variablen Wiedergabeleistung ( $F(1,32) = 16,68, p < 0,001$ ) als auch in der Transferleistung ( $F(1,32) = 21,39, p < 0,001$ ).

Die qualitative Analyse der Wiedergabeprotokolle zeigt eine Veränderung der Wiedergabequalität der Laien. Die in der Pilotstudie und im ersten Untersuchungsabschnitt aufgetretene Tendenz der Laien, apparative Details wiederzugeben, setzt sich nicht fort. Die Laien geben gleich häufig kausale Zusammenhänge wieder wie die Experten. Dieses Ergebnis deutet auf einen Einfluß der Lernumgebung hin, da gerade diese Zusammenhänge im „steps & parts“-Bild hervorgehoben werden (Abb. 3, Teilbilder 3-4).

Außerdem gibt es nur geringe vorwissensabhängige Unterschiede bei den Begriffspaaren, die sich auf das Massenspektrum beziehen. Die hierfür benötigten Begriffspaare (z.B. Ionenhäufigkeit-m/z, Basispeak-Peak, Massenspektrum-Peak) werden häufiger von Versuchspersonen mit Fragen zu Bildinhalten verwendet. Bei den Vorgängen der Stoßionisation und der Beschleunigung im elektrischen Feld tritt auch ein Unterschied zwischen den Häufigkeiten der von Experten und von Laien beschriebenen Zusammenhänge auf. Die

	L3	L4	E3	E4
Wiedergabeleistung (korrekte Verknüpfungen)	8,9 ± 5,7	11,8 ± 4,4	17,1 ± 5,1	16,8 ± 4,0
Transferleistung	4,7 ± 1,2	5,0 ± 1,1	6,2 ± 1,0	7,0 ± 1,3

Tab. 5: Mittelwerte und Standardabweichungen

Informationen aus der Bildbeschriftung und aus der bildlichen Darstellung werden, anders als bei den übrigen Text-Bild-Kombinationen, häufiger von Experten als von Laien wiedergegeben, weil diese die Prozesse hervorheben, anstatt lediglich Geräteteile zu benennen.

Der Anteil der Verknüpfungen, die über die Lernmaterialbasis hinausgehen, ist bei Experten und Laien etwa gleich groß. In diesen Wiedergabeprotokollen mit Text-“steps & parts“-Bild-Kombination sind keine wörtlich wiedergegebenen Sätze enthalten. Sowohl die Gesamtzahl der Falschaussagen ist vergleichsweise kleiner als im ersten Untersuchungsabschnitt als auch deren prozentualer Anteil in der Laiengruppe (60%). Jeweils ca. 40% lassen sich auf das Behalten von Vokabeln ohne Konzeptverstehen (Kategorie 3) und auf unklare Formulierungen (Kategorie 5) zurückführen. Die Anteile von Aussagen in diesen beiden Kategorien haben also auf Kosten der anderen Kategorien deutlich zugenommen. Etwa ein Viertel der Falschaussagen von Laien und Experten sind auf die durch das Vorwissen bedingte falsche Interpretation der Bildaussagen zurückzuführen. Dies bedeutet eine deutliche Reduzierung für die Gruppe der Laien. Eine fehlerhafte Aussage wird durch die Interaktion von Vorwissen und Text hervorgerufen (Kategorie 2). Zwei Aussagen lassen erkennen, daß möglicherweise das richtige Konzept gemeint ist, durch unkorrekte Begriffe die Äußerung jedoch falsch wird (Kategorie 4).

Da die Falschaussagen nicht normalverteilt sind, wird für die Prüfung eines signifikanten Zusammenhangs zwischen Vorwissen und „Fragen zum Bild“ wiederum der U-Test nach

Mann und Whitney benutzt, der keine signifikanten Unterschiede (bei  $\alpha = 0,05$ ) hinsichtlich der Falschaussagenwerte der entsprechenden Probandengruppen nachweist.

Die Schwierigkeitsindices des Transferleistungstests zeigen eine mittlere Schwierigkeit der Aufgaben für Experten und eine etwas größere Schwierigkeit für Laien an (Tab. 6). Der größte vorwissensbezogene Unterschied betrifft wiederum die Aufgaben 2 und 5. Aufgabe 2 (Störung durch M2+ Peaks) wird dabei von ca. 40% der Experten aber lediglich 17% der Laien bearbeitet, Aufgabe 5 (Isotopenpeaks) von ca. 90% der Experten und 60% der Laien z.T. nur ansatzweise gelöst. Die erste Frage dieser Aufgabe wird von 7 Versuchspersonen der Gruppen L<sub>4</sub> und lediglich von 4 Probandinnen und Probanden der Gruppe L<sub>3</sub> beantwortet. Der Grund dafür könnte die intensivere Bildverarbeitung der Laiengruppe mit Fragen zum Bild sein, von denen sich eine explizit auf die Isotopenpeaks bezog. Aufgabe 3 (Vakuum im Massenspektrometer) wird von allen Versuchspersonen bearbeitet. Damit schneiden die Laien noch etwas besser ab als im ersten Untersuchungsabschnitt. Unter Laien kommen jedoch etwas häufiger unvollständige Antworten vor. Bei Aufgabe 4 (Anwendungen des Massenspektrometers) sind auch die inhaltlichen Unterschiede zwischen den Antworten von Laien und Experten verhältnismäßig gering. Aufgabe 1 (Thematisierung von m/z) wird im Prinzip von allen beantwortet.

Die Laien, denen die Lernumgebung mit dem „steps & parts“-Bild vorgegeben wird, schneiden im Transferleistungstest besser ab als die übrigen Laien. Sie entwickeln elaborierte mentale Modelle, denn zur Lösung der Aufga-

	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Alle Aufgaben
<b>LAIEN</b>						
L <sub>3</sub>	81	8	42	27	36	36
L <sub>4</sub>	83	22	50	21	42	38
<b>EXPERTEN</b>						
E <sub>3</sub>	92	25	56	32	58	48
E <sub>4</sub>	100	42	53	29	83	54

Tab. 6: Schwierigkeitsindices der Aufgaben im Transferleistungstest

ben werden Informationen benötigt, die nicht explizit im Lernmaterial enthalten sind.

### 4.3 Vergleichende Analyse

Zur vergleichenden Analyse der Wiedergabe- und Transferleistung in Abhängigkeit von Bildmerkmalen, Vorwissen und Fragen zum Bild wird eine dreifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit den Faktoren Bild (Schulbuchbild vs. „steps & parts“-Bild), Vorwissen (Laienwissen vs. Expertenwissen) und Fragen (keine Fragen vs. Fragen) durchgeführt. Die Homogenität der Varianzen wurde mittels des Tests von Bartlett und Cochran festgestellt. Die Prüfverfahren nach Pillai, Hotelling und Wilks zeigen signifikante Haupteffekte von Bild ( $p < 0,01$ ) und Vorwissen ( $p < 0,001$ ) an. Außerdem erweist sich die Interaktion von Bild und Vorwissen als statistisch sehr signifikant ( $p < 0,01$ ). Alle anderen Effekte, z.B. auch der Einfluß von Fragen, sind nicht signifikant. Die Hypothese 3, *das Beantworten von Fragen erhöht die Intensität der Bildverarbeitung und führt zu einer besseren Wiedergabe- und Transferleistung der Laien, die zu ihrem Lernmaterial Fragen bekommen*, muß somit verworfen werden.

Die für jede abhängige Variable durchgeführten univariaten Signifikanztests zeigen, daß die sich beim multivariaten Test für die Interaktion der Faktoren Vorwissen und Bild ergebende Gesamtsignifikanz ihre Ursache im signifikanten Unterschied der Transferleistungen hat ( $F(1,64) = 9,34$ ,  $p < 0,01$ ). Der ansch-

ließend durchgeführte Bonferroni-Test bei  $\alpha = 0,01$  zeigt an, welche Mittelwerte sich im Einzelnen voneinander unterscheiden (Tab. 7). Die durchschnittliche Transferleistung der Experten ist signifikant höher als die Transferleistung der Laien. Ferner ist der Unterschied zwischen Laien der Lernumgebungen mit den verschiedenen Bildern signifikant, der zwischen Experten nicht. Mit diesem Ergebnis werden die Hypothesen 2, *die bildliche Darstellung der Inhalte hat bei den Experten keinen Einfluß auf die Behaltens- und die Transferleistung*, und 4, *das „steps & parts“-Bild erleichtert den Laien die Generierung eines adäquaten mentalen Modells der Funktionsweise des dargestellten Systems, welches im Einklang mit ihrem Vorwissen steht. Dies führt zu einer Verbesserung der Transferleistung von Laien, die mit diesem Bild lernen, im Vergleich zu Laien, die mit einer Text-Schulbuchbild-Kombination lernen*, bestätigt.

Die univariaten Signifikanztests für den Faktor Bild zeigen signifikante Unterschiede der Wiedergabeleistungen ( $F(1,64) = 5,41$ ,  $p < 0,05$ ) und signifikante Unterschiede der Transferleistungen ( $F(1,64) = 11,12$ ,  $p < 0,01$ ) an. Bezüglich des Faktors Vorwissen ergeben sich höchst signifikante univariate Mittelwertsunterschiede in den beiden Variablen Wiedergabeleistung ( $F(1,64) = 29,87$ ,  $p < 0,001$ ) und Transferleistung ( $F(1,64) = 80,72$ ,  $p < 0,001$ ). Damit wird die Hypothese 1, *das Vorwissen hat einen entscheidenden Einfluß auf das Lernen mit Text-Bild-Kombinationen. Dies führt zu signifikant besseren Wiedergabe- und Transferleistungen der Experten im Vergleich zu Laien*, bestätigt.

	Transferleistung
Experten-Schulbuchbild/Laien-Schulbuchbild	signifikant*
Experten-Schulbuchbild/Laien- „steps & parts“-Bild	signifikant*
Experten-“steps & parts“-Bild/Laien-Schulbuchbild	signifikant*
Experten-“steps & parts“-Bild/Laien-“steps & parts“-Bild	Signifikant*
Experte“-Schulbuchbild/Experten-“steps & parts“-Bild	ns
Laien-Schulbuchbild/Laien-“steps & parts“-Bild	Signifikant*

$\alpha = 0,01$

Tab. 7: Lokalisationsvergleich zwischen den Gruppen aus dem Bonferroni-Test

Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zwischen Laien und Experten mit der Schulbuchbild-Lernumgebung ist die Qualität der wiedergegebenen Begriffspaare. Bei den Laien dominieren Beschreibungen der apparativen Details, bei den Experten die ablaufenden Prozesse und kausalen Zusammenhänge. Dieser Unterschied tritt in der Lernumgebung mit dem „steps & parts“-Bild zurück, da hier alle im wesentlichen die Prozesse beschreiben. Die Informationen aus der Bildbeschriftung werden bei der Schulbuchbild-Lernumgebung häufiger von Laien, beim „steps & parts“-Bild häufiger von Experten wiedergegeben. Die Ursache liegt in der qualitativ veränderten Beschriftung des „steps & parts“-Bildes, die Prozesse statt Gerätebestandteile benennt. Der Einfluß des „steps & parts“-Bildes auf die Leistungen der Laien zeigt sich auch an der zunehmenden Zahl von Verknüpfungen, die nicht explizit im Lernmaterial enthalten sind. Hinsichtlich der falschen Aussagen unterscheiden sich die verschiedenen Experten-Gruppen überhaupt nicht. Bei den Laien wird der Einfluß des neu entwickelten Bildes besonders deutlich. Laien der Lernumgebungen 1 und 2 formulieren 31 Falschaussagen, von denen 14 durch eine falsche Interpretation der Bildinformation entstehen (Kategorie 1). Laien der Lernumgebungen 3 und 4 formulieren dagegen nur 13 Falschaussagen, von denen lediglich 4 aus der Kategorie 1 stammen. Ein markanter Unterschied betrifft die wörtlich behaltene Aussagen. Während Laien der Lernumgebungen 1, 3 und 4 keinen Satz des Textes wörtlich wiedergeben, schreiben Laien der Lernumgebung 2 zehn Sätze auf. Die Menge der wiedergegebenen Informationen korreliert, mit Blick auf die Gesamtgruppe, mit der Transferleistung; damit ist die Hypothese 5 bestätigt. Beim Transferleistungstests unterscheiden sich die Schwierigkeitsindices der Aufgaben zwischen Laien der Gruppen L1 und L2 von denen aus L3 und L4 erheblich. Dies gilt vor allem für die Aufgaben 3 (Vakuum im Massenspektrometer) und 5 (Isotopenpeaks). Bei der Aufgabe 4 (Anwendungen des Massenspektrometers) nennen die Laien der Lernum-

gebungen 3 und 4 häufiger die Isotopenbestimmung als die übrigen Laien. Dieser Unterschied ist von Bedeutung, weil das „steps & parts“-Bild einen Isotopenpeak visualisiert, wodurch das zur Lösung der Aufgabe notwendige Vorwissen aktiviert wird.

## 5. Zusammenfassung

Die Qualität der mentalen Modelle der Laien hängt erheblich von den Bildmerkmalen ab. Bei Experten spielt das Lernmaterial eine geringere Rolle, da ihr ausgeprägtes Vorwissen eine optimale Nutzung erlaubt. Fragen zu Bildinhalten zeigen keinen lernfördernden Effekt, im ungünstigen Fall verstärken sie sogar die Generierung von Fehlvorstellungen. Eine mögliche Ursache kann darin liegen, daß diese instruktionale Maßnahme die grundsätzliche Rollenverteilung 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. Es wird daher angenommen, daß die aktive Teilnahme der Lernenden an der Entwicklung des Lernmaterials die Intensität der Bildverarbeitung erhöhen könnte (Sumfleth & Telgenbüscher 2000a,b)

## Danksagung

Unser Dank gilt den an der Untersuchung beteiligten Studierenden und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung (Su-187/2-1).

## Literatur

- Bortz, J., Lienert, G.A. & Boehnke, K. (1990): Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Springer, Berlin.

- Clark, R.E. (1983): Considering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53, 445-459.
- Clark, R.E. (1994): Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21-29.
- Dorn, F. & Bader, F. (1991): Physik-Mittelstufe. Schroedel Schulbuchverlag GmbH, Hannover.
- 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.
- Fischer, W. & Glöckner, W. (1988): Stoff und Formel-Ausgabe NRW. Buchners, C.C., Bamberg.
- Flick, U. (1995): Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften. In König, B. (Hrsg.): *Rowolts Enzyklopädie*. Rowolt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg.
- Gabel, D.L. (1993): Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70, 193-194.
- Gabel, D.L. (1995): Visualisation in chemistry. Paper presented at the Annual Meeting of the NARST. Visual learning Symposium, San Francisco, CA.
- Gabel, D.L. & Bunce, D.M. (1996): The differential effects of teaching chemistry using the particulate nature of matter on the chemistry achievement of high school men and women. Paper presented at the Research Seminar on Chemistry and Physics Education, University of Dortmund.
- Gnoyke, A. (1997): Das Lernen mit Bildern in der Chemie. Aktion und Interaktion von Wahrnehmen und Denken. Peter Lang, Frankfurt/Main.
- Habraken, C.L. (1996): Perceptions of chemistry. Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences, so distorted? *Journal of Science Education and Technology*, 5(3), 193-201.
- Habraken, C.L. (1997): Perceptions of chemistry. Today's chemistry vs school chemistry. Lecture presented at the 4th ECRICE, University of York, UK.
- Johnstone, A.H. (1993): The development of chemistry teaching. A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-705.
- Jonassen, D.H., Campbell, J.P., Davidson, M.E. (1994): Learning with media. Restructuring the debate. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 31-39.
- Kosslyn, S., Brunn, J., Cave, K. & Wallach, R. (1985): Individual differences in mental imagery ability. A computational analysis. In Pinker, S. (Ed.): *Visual cognition*. Cambridge & London, Bradford, 195-243.
- Körner, H.D. (1994): *Vorstellen und Verstehen*. Peter Lang, Frankfurt/Main.
- Lienert, G.A. & Von Eye, A. (1994): *Erziehungswissenschaftliche Statistik*. Beltz Verlag, Weinheim und Basel.
- Loftus, G.R. (1976): A framework for a theory of picture recognition. In Monity, R.A. & Senders, J.W. (Eds.): *Eye movements and psychological processes*. Erlbaum, Hillsdale NJ.
- Mayer, R.E. (1984): Aids to text comprehension. *Educational Psychologist*, 19, 30-42.
- Mayer, R.E. (1989): Models for understanding. *Review of Educational Research*, 59(1), 43-64.
- Mayer, R.E. (1993): Illustrations that instruct. In Glaser, R. (Hrsg.): *Advances in Instructional Psychology*, 4. Erlbaum, Hillsdale NJ, 253-284.
- 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.
- Navon, D. (1981): The forest revisited. More on global precedence. *Psychological Research*, 43, 1-32.
- Neisser, U. & Kerr, N. (1973): Spatial and mnemonic properties of visual images. *Cognitive Psychology*, 5, 138-150.
- Peock, J. (1994): Wissenserwerb mit darstellenden Bildern. In Weidenmann, B. (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern, Instruktionale Bilder in Printmedien*, 1. Auflage. Huber, Bern, 59-94.
- Ross, S.M. (1994): Delivery trucks groceries? More food for thought on whether media (will, may, can't) influence learning. Introduction to special issue. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 5-6.
- Salomon, G. (1994): Interaction of media, cognition and learning. Erlbaum, Hillsdale NJ.
- Schüttler, S. (1994): Zur Verständlichkeit von Texten mit chemischem Inhalt. Lang, Frankfurt/Main.

- Sturm, H. (1984): Wahrnehmung und Fernsehen. Die fehlende Halbsekunde. *Mediaperspektiven*, 58-65.
- Sumfleth, E. (1988): Lehr- und Lernprozesse im Chemieunterricht. Peter Lang, Bern, Frankfurt, New York.
- Sumfleth, E. & Körner, H.D. (1993): Wodurch wird ein Atom zu einem konkreten Begriff? Bildhaftigkeit und Abstraktheit chemischer Begriffe. In Kramers-Pals, H., Niehaus, U.G. (Hrsg.): *Chemiedidaktische Forschung - Lopend Onderzoek in de Chemiedidaktiek*. Westarp Wissenschaften. Essen, 89-92.
- 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): Chemielernen mit Bildern durch aktive Gestaltung der Lernumgebung. Beispiel Additionsreaktionen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (zur Veröffentlichung eingereicht).
- 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.
- Vollhardt, K.P.C. (1990): *Organische Chemie*, 2. Auflage. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim.
- 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. (1994a): Codes of instructional pictures. In Schnotz, W., Kulhavy, R. (Eds.): *Comprehension of Graphics*. Elsevier Science B. V., 29-42.
- Weidenmann, B. (1994b): 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.
- Dr. Elke Sumfleth ist Professorin für Didaktik der Chemie an der Universität-GH Essen. Dr. Lucyna Telgenbüscher war dort wissenschaftliche Mitarbeiterin und ist jetzt Referendarin im Studienseminar Hagen.
- Prof. Dr. Elke Sumfleth  
Institut für Didaktik der Chemie  
Fachbereich Chemie  
Universität-GH Essen  
Schützenbahn 70  
D-45127 Essen  
E-mail: elke.sumfleth@uni-essen.de