

Computerunterstütztes Lernen auf der Basis
konstruktivistischer Lerntheorien am Beispiel der
Einführung in das Kugelteilchenmodell

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

Vorgelegt dem Fachbereich Chemie
der Universität Essen

von
André Hollstein
aus Recklinghausen

Essen 2001

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Dezember 1998 bis Mai 2001 am Institut für Didaktik der Chemie im Fachbereich Chemie der Universität Essen durchgeführt.

Frau Professor Dr. Elke Sumfleth danke ich für die umfangreiche und intensive Unterstützung meiner Arbeit, die vielen konstruktiven Diskussionen und die Bereitstellung ausgezeichneter Arbeitsbedingungen.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts danke ich für die zahlreichen nutzbringenden Anregungen und für die sehr gute Arbeitsatmosphäre.

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

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

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

Ich danke ich auch meinen Freunden Klaus Rogge und Martin Godde für ihre konstruktive Kritik und Korrekturleseatbeiten im Rahmen dieser Arbeit.

Einen ganz besonderen Dank schulde ich auch meinen Eltern, insbesondere meiner Mutter Ursula.

DANKE.

Für

Heike und Johanna Marie.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 1 |
| 2 | KONZEPTE ÜBER STRUKTUR UND VERHALTEN VON MATERIE | 2 |
| 2.1 | SCHWIERIGKEITEN BEIM ERLERNEN DES TEILCHENKONZEPTS | 2 |
| 2.2 | ALLTAGSKONZEPTE ZUM AUFBAU UND VERHALTEN VON STOFFEN | 6 |
| 3 | LERNEN MIT BILDERN UND ANIMATIONEN | 10 |
| 3.1 | KOGNITIVE VERARBEITUNG VON BILDERN | 10 |
| 3.2 | LERNEN MIT BILDERN UND ANIMATIONEN | 14 |
| 4 | GRUNDLAGEN COMPUTERBASIERTEN LERNENS | 23 |
| 4.1 | LERNPSYCHOLOGISCHE ASPEKTE | 23 |
| 4.2 | METHODEN COMPUTERBASIERTEN LERNENS | 27 |
| 4.3 | COMPUTEREINSATZ IN DER SCHULE | 33 |
| 5 | COMPUTERSIMULATIONEN DYNAMISCHER SYSTEME | 37 |
| 5.1 | MODELLBEGRIFF | 37 |
| 5.2 | MODELLENTWICKLUNG (MODELLKONSTRUKTION UND –VALIDIERUNG) | 38 |
| 5.3 | COMPUTERSIMULATION | 39 |
| 6 | DIE SIMULATIONSUMGEBUNG „L.E.S.P.“ | 42 |
| 6.1 | BASISMODELL | 42 |
| 6.2 | BENUTZEROBERFLÄCHE | 43 |
| 6.3 | SIMULATIONSOBJEKTE | 44 |
| 6.4 | PROGRAMMADAPTIERBARKEIT | 44 |
| 6.5 | MODELLWEITERGABE | 45 |
| 6.6 | ZUSATZFUNKTIONEN | 45 |
| 6.7 | PROGRAMMNUTZUNG AUßERHALB DES UNTERRICHTS | 45 |
| 7 | COMPUTERUNTERSTÜTZTE EINFÜHRUNG IN DAS KUGELTEILCHENMODELL | 46 |
| 7.1 | „L.E.S.P.“ IN DER UNTERRICHTSREIHE | 46 |
| 7.2 | EINFÜHRUNGSSTUNDE IN DAS NATURWISSENSCHAFTLICHE MODELLVERSTÄNDNIS MIT HILFE EINES „BLACK BOX“- VERSUCHS | 50 |
| 7.3 | EINFÜHRUNGSSTUNDE IN DAS TEILCHENMODELL | 50 |
| 7.4 | BROWNSCHEN BEWEGUNG | 54 |
| 7.5 | AGGREGATZUSTÄNDE UND DAS TEILCHENMODELL | 56 |
| 7.6 | HINFÜHRUNG ZU DEN ATOMAREN DIMENSIONEN | 57 |
| 8 | UNTERSUCHUNGSSCHWERPUNKT UND -DESIGN | 59 |
| 8.1 | HYPOTHESEN ZUM LERNEN MIT SELBSTKONSTRUIERTEN SIMULATIONEN | 59 |
| 8.2 | UNTERSUCHUNGSDESIGN | 59 |
| 9 | STUDIE I | 61 |
| 9.1 | UNTERSUCHUNGSDESIGN, -METHODEN UND PROBANDENGRUPPEN | 61 |
| 9.2 | UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE | 62 |
| 9.3 | KONSTRUKTIVE MODELLENTWICKLUNGSPROZESSE MIT „L.E.S.P.“ | 70 |

| | | |
|--------------------|---|------------|
| 10 | STUDIE II | 82 |
| 10.1 | UNTERSUCHUNGSDESIGN, -METHODEN UND PROBANDENGRUPPEN..... | 82 |
| 10.2 | ERHEBUNG DER COMPUTERSPEZIFISCHEN KOMPETENZ | 84 |
| 10.3 | UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE | 88 |
| 10.4 | ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNIS DER STUDIE II | 96 |
| 11 | ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK DER ARBEIT..... | 98 |
| 12 | LITERATURVERZEICHNIS..... | 100 |
| 13 | ABBILDUNGSVERZEICHNIS..... | 110 |
| 14 | TABELLENVERZEICHNIS..... | 112 |
| ANHANG..... | | 113 |
| A: | AKTIONSKATEGORISIERUNGSSHEMA | 113 |
| B: | STUDIE II – VERGLEICH DER LERNLEISTUNGEN DER KLASSEN IN ABHÄNGIGKEIT VOM VORWISSEN | 114 |
| C: | „L.E.S.P.“-SCHÜLERMODELLE | 115 |
| D: | LERNLEISTUNGSTEST DER STUDIE I | 117 |
| E: | LERNLEISTUNGSTEST DER STUDIE II | 126 |
| F: | COMPUTERFRAGEBOGEN DER STUDIE II..... | 133 |

1 Einleitung

Das Kugelteilchenmodell hat für den Chemieanfangsunterricht eine zentrale Bedeutung, da es die Basis für das Erlernen erster chemischer Konzepte und grundlegender naturwissenschaftlicher Modellvorstellungen bildet. Der Konzeptwechsel zwischen makroskopisch geprägten Alltagserfahrungen und submikroskopischen Erklärungsansätzen führt bei Lernenden zu Verständnisschwierigkeiten, wie zahlreiche Studien aus den vergangenen Jahrzehnten darlegen. Traditionelle Lehrmethoden ermöglichen es häufig nicht, die Entwicklung dauerhafter, naturwissenschaftlich konformer Konzepte über die Vorstellung von Teilchen zu fördern. Da Schülervorstellungen subjektive, alltagserprobte Konzepte darstellen, können sie nicht problemlos durch komplexe, theoretische Annahmen verdrängt werden. Deshalb müssen Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit erhalten ihre individuellen Vorstellungen darzustellen und durch eine aktive Auseinandersetzung zu modifizieren.

Der Versuch alternative Rahmenbedingungen zu entwickeln, führt im Sinne eines proaktiven Lernenden nur über das Angebot eines konstruktiven, handlungsorientierten Umgangs mit den zu Grunde liegenden Inhalten. Dieses wird im Rahmen dieser Arbeit in Form einer computerunterstützten Einführung in das Kugelteilchenmodell realisiert. Für die Aneignung des Teilchenkonzepts wird das Computersimulationsprogramm „L.E.S.P.“ verwendet, welches einen offenen aber zielgerichteten, konstruktiven und visuellen Umgang mit dynamischen Teilchendarstellungen zulässt und so als kognitives „Werkzeug“ zur externen Repräsentation dynamischer mentaler Modelle dienen kann. Modellentwicklungs- und Validierungsprozesse unterstützen die Schülerinnen und Schüler beim Verständnisprozess, indem die Lernenden ihre Modellvorstellung konkretisieren und zur Beschreibung und Erklärung realer Phänomene benutzen können. Im Rahmen der Unterrichtsreihe werden in Kombination mit Kleingruppen- bzw. Klassendiskussionen wissensrelevante kognitive Strukturen zum Teilchenmodell aufgebaut. Der Einsatz eines solchen Programms bietet zudem Lehrerinnen und Lehrern die Möglichkeit, fehlerhafte Modellvorstellungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen Erkenntnisse zum Lernen mit selbstkonstruierten Modellsimulationen im Kontext einer computerunterstützten Einführung in das Kugelteilchenmodell gewonnen werden. Das Ziel ist Rückschlüsse über die Lern- und Behaltensleistungen von Schülerinnen und Schülern zu erhalten und Einsichten in die Wechselwirkungen von Modellentwicklungs- und Lernprozessen zu bekommen.

Die Arbeit gliedert sich in drei Bereiche. Im theoretischen Teil werden Lernprozess-theorien und Schülervorstellungen zum Teilchenmodell, computerunterstütztes Lernen und Modellbildungssysteme sowie Erkenntnisse zum Lernen mit statischen und dynamischen Abbildungen diskutiert. Es folgt die Beschreibung der entwickelten Lernsoftware „L.E.S.P.“ und die Konzeption einer Unterrichtsreihe zur computerunterstützten Einführung in das Teilchenmodell. Der empirische Teil der Arbeit fasst die Ergebnisse und Konsequenzen zweier Evaluationsstudien zusammen, die im Rahmen einer computerunterstützten Einführung in das Teilchenmodell mit „L.E.S.P.“ gewonnen wurden.

2 Konzepte über Struktur und Verhalten von Materie

2.1 Schwierigkeiten beim Erlernen des Teilchenkonzepts

In den letzten Jahrzehnten hat es in der chemie- und physikdidaktischen Literatur kaum ein Thema gegeben, welches so häufig und kontrovers diskutiert wurde, wie die Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim Erlernen des Teilchenmodells. Im Zentrum vieler Forschungsarbeiten zu diesem Thema stehen neben der Entwicklung alternativer Unterrichtskonzepte vor allem die Identifizierung von Lernschwierigkeiten und die Untersuchung der grundlegenden kognitiven Prozesse beim Erlernen naturwissenschaftlicher Inhalte.

Im folgenden werden drei Aspekte vorgestellt, die für die Schwierigkeiten beim Erlernen des Teilchenkonzepts im naturwissenschaftlichen Unterricht eine Rolle spielen.

2.1.1 Konzeptwechsel

Die Vorstellungen und Konzepte von Kindern im Schul- und Vorschulalter zur Struktur der Materie beruhen auf dem Erleben von Phänomenen. Diese werden auf der Basis von Kontinuumsvorstellungen interpretiert, die in direktem Widerspruch zu den naturwissenschaftlichen diskontinuierlichen Interpretationen von Materie stehen. Das auf diese Weise erworbene Vorwissen wird in der Literatur durch eine Reihe verschiedener Begriffe umschrieben, wie z.B. preconceptions (Benson, Wittrock & Baur, 1993), prior knowledge (Sutton, 1980) oder everyday concepts (Bar et al., 1994) im Sinne von vorunterrichtlichen Vorstellungen, misconceptions (Gil-Perez & Carrascosa, 1990; Huddle & Pillay, 1996) und alternative concepts (Birnie, 1989). Im deutschsprachigen Raum werden entsprechende Begriffe wie vorunterrichtliche Alltagsvorstellungen (Pfundt, 1982; Sumfleth, 1992) oder Präkonzepte (Jung, 1986) verwendet.

Alltagsvorstellungen sind aber keine, wie der Begriff „Misskonzeption“ vielleicht vermuten lässt, unter allen Umständen unbrauchbaren oder fehlerhaften Vorstellungen, sondern können in bestimmten, nicht naturwissenschaftlichen Kontexten durchaus nützlich sein (Jung, 1986; Duit, 1996). Zur Abgrenzung von naturwissenschaftlichen Vorstellungen ist daher der Begriff „alternatives Konzept“ sinnvoller. Auch aus einem kultur-historischen Begründungsansatz heraus ist diese Begriffswahl zweckmäßiger, da akzeptierte naturwissenschaftliche Theorien immer ein Resultat der Interaktion von Individuen mit ihrer Umwelt sowie ihrer Kultur darstellen. Es muss daher das Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts sein, eine Brücke zwischen Alltags- und Wissenschaftstheorie zu schlagen (Chambers & Andre, 1997).

Auch während des Lernprozesses spielen Alltagsvorstellungen als Basis für die aktive Generierung von Bedeutungen eine wichtige Rolle. Nach Sumfleth (1992) bestimmt das Vorwissen, „welche Informationen der Lernende verarbeitet und welche Verknüpfungen er zwischen den neuen Informationen und den vorhandenen Kenntnissen herstellt“. Subjektiv generierte Inhaltsbedeutungen müssen aber keines Falls korrekte Repräsentationen naturwissenschaftlicher Theorievorstellungen darstellen, selbst dann nicht, wenn sie für den Lernenden stimmig sind (Sumfleth, 1996).

Die Bedeutung von Lernen als Veränderung kognitiver Strukturen, als Ergänzung, Erweiterung oder grundlegender Neustrukturierung des kognitiven Systems, wird im naturwissenschaftlichen Kontext häufig als Wechsel oder Erweiterung von Konzepten betrachtet. Dieser Prozess wird je nach Art des Konzeptwechsels als conceptual change, conceptual growth, conceptual addition oder conceptual revision bezeichnet.

Alltagsvorstellungen sind häufig dominant gegenüber neu erworbenen naturwissenschaftlichen Konzepten, nicht zuletzt deshalb, weil sie sich in bestehenden Kontexten bewährt haben. Auf Grund ihrer Unvereinbarkeit mit den naturwissenschaftlichen Vorstellungen beeinträchtigen sie das Verständnis (Schnotz, 1997). Die Stabilität von Alltagsvorstellungen gegenüber naturwissenschaftlichen Konzepten zeigt sich u.a. auch darin, dass Lehrpersonen häufig die gleichen Verständnisschwierigkeiten zum Aufbau und Verhalten der Materie besitzen wie Schülerinnen und Schülern der verschiedensten Alltagsstufen (Valanides, 2000).

Empirische Untersuchungen zeigen, dass sich durch die Wechselbeziehungen zwischen Alltagsvorstellungen und den im Unterricht behandelten Inhalten Zwischenvorstellungen („intermediate concepts“, Brown & Clement, 1992) oder künstliche Modelle („synthetic models“, Vosniadou, 2001) entwickeln, die dann zur Erklärung bestimmter Phänomene oder Inhalte herangezogen werden. Schülerinnen und Schüler treffen inkonsistente Aussagen, in denen sie je nach Situation von der einen in die andere Erklärungsweise wechseln (s.a. Pfundt, 1981; Gilbert und Watts, 1983) oder „Hybridvorstellungen“ (hybrid knowledge) bilden (vgl. Hashweh, 1986; Galili, Bendall & Goldberg, 1993; Vosniadou, 1994). Zudem lässt sich feststellen, dass Lernende oft schon nach kurzer Zeit wieder zu ihren Alltagserklärungen zurückkehren.

Untersuchungen zu Schülervorstellungen verschiedener Autoren lassen eine parallele Existenz von kognitiven Teilsystemen mit verschieden starken Ausprägungen vermuten. Eine Untersuchung von Scott (1992) zur Teilchenvorstellung zeigt, dass neben Alltagskonzepten, weitere „alternative“ naturwissenschaftliche Konzepte aufgebaut werden und je nach Situation verwendet werden. Niedderer (1996) verweist darauf, dass es bei Schülerinnen und Schülern im Verlaufe des Unterrichts zur Ausprägung verschiedener kognitiver Schichten (Layers) kommt. Diese bestehen aus Anfangsvorstellungen, Zwischenvorstellungen und Zielvorstellungen und werden in verschiedenen Situationen als Erklärungsansätze herangezogen. Der erreichte Zwischenzustand bildet eine Art Übergangszustand zwischen Anfangs- und Zielzustand (Niedderer & Goldberg, 1995). Niedderer (1996) bezeichnet solche themenspezifischen intermediären Zustände als „Attraktoren der kognitiven Entwicklung“. In Studien zum Erlernen des Teilchenmodells finden sich eine Reihe von Beispielen in Äußerungen oder Zeichnungen, die sich auf intermediäre Zustände zurückführen lassen. Hierzu gehört z.B. das Vermischen von Kontinuums- und Diskontinuumsvorstellungen. Duit (1996) weist darauf hin, dass ein rein rationaler Erklärungsansatz für den Aspekt des Konzeptwechsels von Alltagsvorstellungen zu naturwissenschaftlichen Vorstellungen zu kurz gefasst wäre. Ebenso haben motivationale Aspekte, wie etwa Interesse und Motivation, Selbstkonzept oder Zielorientierung, aber auch Schulklasseneffekte wie das Klassenklima, einen wichtigen Einfluss auf den Prozess des Konzeptwechsels.

Das Erlernen naturwissenschaftlicher Inhalte ist ein mühevoller Prozess für Schülerinnen und Schüler, der um so schwieriger zu sein scheint, je stabiler die alternativen Vorstellungen sind. Hierunter fallen nach Duit (1996) Konzepte, die auf

Sinneserfahrungen beruhen und daher tief in den Vorstellungen verwurzelt sind (s.a. Vosniadou, 1994). Ein anderer Ansatz zum von Konzeptwechsel stammt von Chi, Slotta und deLeeuw (1994; Slotta, Chi & Joram, 1995). Sie ordnen alle Dinge den drei grundlegenden ontologischen Categoriesystemen „Stoff“, „Prozess“ und „mentale Zustände“ zu, in die wiederum sich gegenseitig ausschließende Unterkategorien eingebettet sind. Prozesse können z.B. in Ereignisse, Prozeduren und erzwungene Interaktionen unterteilt werden, Emotionen hingegen werden mentalen Zuständen zugeordnet. Die Abstufungen führen zur Ausbildung eines individuumspezifischen „ontologischen Baums“. Die Eigenschaften einer ontologischen Kategorie sind charakterisiert durch eine Reihe von „ontologischen Attributen“ (z.B. schwer, groß). Lernschwierigkeiten treten nach Chi, Slotta und deLeeuw (1994) immer dann auf, wenn angebotene Konzepte zum Wechsel von einer ontologischen Kategorie zu einer anderen Kategorie führen („ontological shift“), d.h. ein Konzept seine Position innerhalb des ontologischen Baums verändert. Besonders das Erlernen naturwissenschaftlicher Inhalte ist nach Chi, Slotta und deLeeuw (1994) geprägt von häufigen Kategoriewechselprozessen, vornehmlich von der Stoff- zur Prozess-Kategorie. Als Beispiel führen Slotta, Chi und Joram (1995) die vorunterrichtliche Betrachtungsweise des elektrischen Stroms als eine fließende, materielle Substanz an, die der Physikunterricht dahingehend verändert, den Strom als einen Prozess von Interaktionen zu betrachten, der durch eine Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten in einem Kreislauf hervorgerufen wird. Das Erklären eines makroskopisch wahrnehmbaren Verhaltens von Stoffen auf Grundlage von submikroskopischen Prozessen kann als typisches Beispiel für einen Kategoriewechsel im Zusammenhang mit der Teilchenvorstellung angesehen werden.

Einen weiteren Erklärungsansatz für die Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern bei einem Konzeptwechsel führen Posner et al. (1982; Hewson & Thorley, 1989) an. Nach ihrer Auffassung müssen vier Faktoren erfüllt sein, bevor ein Konzept von den Lernenden angenommen wird:

1. Die Lernenden müssen *unzufrieden* mit dem vorhandenen Konzept sein.
2. Das neue Konzept muss *intelligent* sein, d.h. logisch verständlich sein.
3. Das neue Konzept muss *plausibel* sein, d.h. es muss einleuchten.
4. Das neue Konzept muss *fruchtbar* sein, d.h. es muss die Möglichkeit bieten neue Bereiche bzw. weiterführende Problemfelder zu erschließen.

Neben den dargestellten Aspekten ist die Motivations- und Interessenslage sowie der Status des Vorwissens von Bedeutung.

2.1.2 Unzureichende Phänomenkenntnisse

Ein unzureichendes Phänomen- und Vorwissen kann ebenfalls für Verständnisschwierigkeiten im Kontext naturwissenschaftlicher Problemstellungen verantwortlich sein. Phänomene werden aus motivationaler Sicht als ein aktivierender Faktor für die Auseinandersetzung mit neuen Konzepten gesehen und dienen darüber hinaus der Aktivierung des vorhandenen Vorwissens. Die Bedeutung, die der Aktivierung des Wissens zukommt, begründet sich aus der Überlegung, dass ein Problemlöseprozess einen gezielten Zugriff auf vorhandene Ressourcen erfordert Sumfleth (1988). Im naturwissenschaftlichen Kontext wird die Aktivierung des relevanten Vorwissens durch Phänomene aus der alltagsweltlichen Erfahrung vermittelt.

Die Bedeutungsentwicklung zur Bildung neuer Konzepte kann nur dann erfolgreich sein, wenn diese Verknüpfung gelingt. Bei entsprechendem Vorwissen können dann neue Konzepte assimiliert werden.

2.1.3 Naturwissenschaftliche Modellvorstellungen

Im naturwissenschaftlichen Unterricht spielen Modelle immer dort eine wichtige Rolle, wo die Betrachtung eines Originals aus prinzipiellen Gründen nicht möglich ist (Lutz (1997). Typische Beispiele bilden in diesem Zusammenhang die Atommodelle, die als analoge, ideelle Modelle dazu genutzt werden, ein makroskopisch wahrnehmbares Stoffverhalten durch eine submikroskopische Teilchenvorstellung zu beschreiben. In diesem Sinne ist der Umgang mit Modellen und Modellvorstellungen einerseits unverzichtbares Hilfsmittel andererseits Inhalt für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Werden diese abstrakten, spekulativen und theoretischen Interpretationen der Realität (Becker et al., 1992) jedoch nicht adäquat im Unterricht aufgearbeitet, führt dies zwangsläufig zu Verständnisproblemen. Eine häufig ungewollte Komplexitätssteigerung bei der Behandlung von wissenschaftlichen Konzepten erfährt der Unterricht durch die Nutzung verschiedener Modelle. Solche „multiplen“ Modellerklärungsansätze werden in der Chemie zahlreich genutzt, z. B. beim Aufbau von Molekülen durch die Nutzung von Atom-, Molekülorbitaltheorie und VSEPR-Modell.

Im Bestreben den Lebensraum zu erfassen und zu verstehen, setzt die Nutzung von Modellen als idealisierte Form der Realität ein Verständnis für die Rolle der Idealisierung und die Relation zwischen der Realität und der abgeleiteten analogen Funktionen voraus (Del Re, 2000). In diesem Sinne setzt eine unterrichtliche Nutzung von Modellen ein Verständnis für die Bedeutung und die Anwendung der Idealisierung durch die Schülerinnen und Schüler voraus. Eine metakonzeptionelle Betrachtung von Real- und Modellwelt ist daher ein wesentlicher Aspekt beim Lernen mit Modellen (Peukert et al., 2000)

Harrison und Treagust (2000) sehen in Modellen die „Alltagssprache“ der Naturwissenschaften, deren Verstehen die Basis für das Verständnis des damit verbundenen Konzepts bildet. Zur Unterstützung von Lernprozessen im Kontext naturwissenschaftlicher Modellvorstellungen geben Harrison und Treagust (2000) fünf Aspekte an, die im Unterricht berücksichtigt werden sollten:

- Da die meisten Modelle von Personen aus dem schulischen und wissenschaftlichen Umfeld gebildet werden, sind Schülerinnen und Schüler wenig vertraut mit den Analogien, die im Umgang mit den Konzepten verwendet werden. Daher ist es wichtig, den Wissenstand von Lernenden über Modelle zu kennen und gegebenenfalls Defizite auszugleichen.
- Die Schülerinnen und Schüler sollten die Funktion eines Modells bzw. die Relation zum Originalobjekt kennen, um zuverlässige Aussagen über ein Modell treffen zu können. Dabei sollte das Verständnis bezüglich des Modells ständig auf Fehlinterpretationen geprüft werden, bevor es weiter verwendet wird.
- Für einen auf Modellen basierenden Verständnisprozess ist es wichtig, immer wiederkehrend die Subjektivität der Modellaussage und deren werkzeugartigen

Gebrauch zu diskutieren. Dabei sollte auch das unterschiedliche Modellverständnis von Lehrperson und Lernenden berücksichtigt werden.

- Die Legitimation zur gleichzeitigen Nutzung verschiedener Modelle sollte frühzeitig im Unterricht vermittelt werden, damit die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit haben, den parallelen Umgang mit verschiedenen Modellen zu üben.
- Um fehlerhaften Modellkonzeptionen bei den Schülerinnen und Schülern entgegenwirken zu können, sollten Lehrerinnen und Lehrer immer darauf bedacht sein, den Lernenden die Gelegenheit zu bieten, die vorhandenen Modellvorstellungen darzustellen. Dies kann z.B. durch eine schriftliche Modellbeschreibung, modellbasierte Problemlöseaufgaben oder das Erkunden und Manipulieren vorhandener oder neuer Modelle z.B. mit Modellbaukästen geschehen. Simulationsprogramme (z.B. „L.E.S.P.“) eignen sich ebenfalls um Schülermodellvorstellung zu visualisieren.

2.1.4 Zusammenfassung

Die Schwierigkeiten beim Erlernen des Teilchenmodells können nicht auf einen einzigen Faktor reduziert werden, sondern bilden ein vielschichtiges und komplexes Geflecht aus verschiedensten Einflussgrößen. Die Kenntnis über die Konzepte der Schülerinnen und Schüler ist zentral für den Unterricht. Nur dann können fehlerhafte Konzepte erkannt und ihnen entgegen gewirkt werden. In diesem Sinne kommt der Konzeptbeschreibung und -visualisierung eine besondere Rolle im Unterricht mit Modellen zu.

2.2 Alltagskonzepte zum Aufbau und Verhalten von Stoffen

Die naturwissenschaftsdidaktische Literatur beschreibt eine Reihe von Alltagskonzepten, die von Schülerinnen und Schülern genutzt werden, um die Eigenschaften von Stoffen zu verstehen und zu erklären. Solche Vorstellungen werden im Kindesalter durch die Wechselwirkung mit der Umwelt entwickelt und dienen der Vorhersagbarkeit von Phänomenen. Die verwendeten Konzepte entstehen dabei weitgehend aus visuell oder taktil wahrnehmbaren Umwelterfahrungen. Diese „makroskopischen“ Konzepte erweisen sich als sehr stabil gegenüber den in der Schule gelehrt naturwissenschaftlichen Interpretationen der Umwelt. Nicht selten bilden Schülerinnen und Schüler Hybridkonzepte, die Kombinationen aus alltags- und naturwissenschaftlichen Konzepten darstellen und zu inkonsistenten Erklärungsansätzen führen (Pfundt, 1981).

Nachfolgend werden exemplarisch einige Ergebnisse von Untersuchungen zu Alltagskonzepten über Aufbau und Verhalten von Stoffen beschrieben, die einen charakteristischen Überblick zu diesem Themenbereich geben sollen.

Der auffälligste Unterschied zwischen Alltags- und naturwissenschaftlichen Konzepten liegt in der Verwendung von kontinuierlichen, statischen Stoffkonzeptionen (Benson, Wittrock & Baur, 1993; Renström, Andersson & Marton, 1990; Pfundt, 1981). Das Atom oder kleinste Teilchen existiert bei dieser Vorstellung als Grundeinheit oder Baustein eines Stoffes nicht oder entsteht als Produkt eines Teilungsprozesses. Schülerinnen und Schüler führen die Entstehung kleinster Teilchen auf eine wiederholte

Zerteilung einer Stoffportion zurück (Pfundt, 1981). Dieser Vorgang legt die Übertragung bestimmter Stoffeigenschaften von der makroskopischen auf die submikroskopische Ebene nahe und damit keine differenzierte Unterscheidung von Teilchen- und Stoffeigenschaft.

Die Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern bei der Differenzierung von makroskopischen und submikroskopischen Eigenschaften von Stoffen untersuchten Ben-Zvi, Eylon und Silberstein (1986) in einer Studie mit über 300 Probanden im Alter von 15 Jahren. Lediglich 15% der Schülerinnen und Schüler erkannten in dieser Studie, dass es keinen Zusammenhang zwischen den makroskopischen Eigenschaften eines „Atomverbundes“ und den Eigenschaften eines einzelnen „isolierten“ Atoms gibt (z.B. Farbe, Geruch oder Dehnbarkeit).

In einer Studie mit 20 Schülerinnen und Schülern im Alter von 13-16 Jahren fanden Renström, Andersson und Marton (1990) sechs aufeinander aufbauende, charakteristische Konzepte zum Aufbau von Materie, die auf ihrem höchsten Niveau der gelehrten naturwissenschaftlichen Vorstellung entsprechen. Das Spektrum verwendeter Konzepte reicht dabei von kontinuierlichen, über hybride (Konzepte, die kontinuierliche und diskontinuierliche Vorstellungen mischen) bis hin zu diskontinuierlichen Vorstellungen:

1. *Homogener Stoff*: Materie wird als kontinuierlicher Stoff dargestellt.
2. *Stoffeinheit*: Materie wird als abgegrenzte Einheit mit Schale und Kern dargestellt.
3. *Stoffeinheit mit „kleinen Atomen“*: Materie wird als abgegrenzte Einheit bestehend aus einer Schale und keinen Partikeln dargestellt.
4. *Aggregat aus Teilchen*: Eine Substanz besteht aus kleinen Teilchen, die von einer Grenze umgeben sind, die die Teilchen zusammenhält.
5. *Teilcheneinheiten*: Ein Stoff besteht aus nicht teilbaren Teilchen mit typischen Eigenschaften.
6. *Teilchensystem*: Materie besteht aus Teilchen, die eine Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilcheneigenschaften zulässt.

Diese Konzepte zeigen teilweise große intraindividuelle Variationen. Einzelne Personen zeigen abhängig vom betrachteten Gegenstand große Konzeptsprünge bei der Beschreibung. Die Bandbreite der Variationen einer Person reichen von „homogener Substanz“ (z.B. bei der Betrachtung von Kochsalz) bis zum „Teilchensystem“ (bei der Betrachtung von Wasser). Die ausschließliche Verwendung eines Konzepts ist eher die Ausnahme als die Regel. Renström, Andersson und Marton (1990) fanden nur eine einzige Schülerin, die bei der Beschreibung von acht Stoffen (z.B. Eisen, Holz, Öl, Luft) eine durchgehend konsistente Teilchenauffassung zum Aufbau der Materie zeigte.

In zwei weiteren Studien konnten Renström und Andersson (1979, 1981, in Renström, Andersson & Marton, 1990) zeigen, dass Schülerinnen und Schüler den Begriff Kochen mit dem Begriff Luft verknüpfen. Danach setzen viele Schülerinnen und Schüler das Kochen von Wasser mit dem Freisetzen von Luft in Form von kleinen Bläschen gleich. Einige vermuten den Ursprung der heißen Luft auf der Herdplatte, die beim Kochen durch den Kochtopfboden ins Wasser gelangt. Andere interpretierten das Kochen von

Wasser als Auflösung von Wassermolekülen und nicht als Phasenwechsel desselben Stoffes.

Das Konzept der Aggregatzustandsveränderung ist ebenfalls phänomenologisch geprägt. Driver et al. (1994) konnten in ihrer Untersuchung deutlich machen, dass Kinder alle Stoffe, die starr sind, als Feststoffe und alle Stoffe, die ausgießbar sind, als Flüssigkeiten verstehen. Alle leicht verformbaren Stoffe, wie z. B. Knete werden einer Zwischenkategorie zugeordnet. Gasförmige Stoffe, wie z.B. Luft, sind den meisten Kindern zwar bekannt, werden diese als solche aber nur dann identifiziert, wenn sie sich bewegen oder einfach zu spüren sind (Beispiel: Windzug, Brook, Driver & Hind, 1989). Im Alter von fünf Jahren ist die Hälfte aller befragten Kinder von der Existenz von Luft innerhalb eines offenen oder geschlossenen Gefäßes überzeugt. Im Alter von acht Jahren sind die meisten Befragten auch von der Existenz von Luft in statischen Situationen überzeugt. Die Idee einer Atmosphäre schließlich setzt sich bei Kindern aber erst im Alter von zwölf Jahren durch. Zu diesem Zeitpunkt gehen die meisten Schülerinnen und Schüler davon aus, dass die Luft aus Sauerstoff besteht. Das Konzept, dass Gas einen bestimmten Raum benötigt wird relativ früh ausgebildet (Brook, Driver & Hind, 1989). Mit fünf Jahren sind ein Drittel, mit acht Jahren zwei Drittel aller Befragten davon überzeugt, dass Luft einen bestimmten Raum einnimmt. Mit zwölf Jahren sind zwei Drittel davon überzeugt, dass Luft komprimierbar ist. Diese Ergebnisse lassen sich mit Alltagserfahrung von Kindern mit Ballons erklären.

Renström und Andersson (unveröffentlichte Studie, in Renström, Andersson & Marton, 1990) führten in 6. bis 9. Klassen eine Untersuchung über die Vorstellungen zum Thema Verdampfen durch. Dazu erwärmten sie eine leicht flüchtige Substanz in einer geschlossenen Plastiktüte. Viele der Lernenden erkannten bei diesem Versuch nicht, dass es sich bei der Flüssigkeit und dem Gas um denselben Stoff in unterschiedlichen Phasen handelt. Zudem glauben viele, dass die Plastiktüte mit dem Gas leichter sei oder kein Gewicht mehr habe, da sie mit Gas gefüllt ist.

Ein weiterer Aspekt im Alltagskonzept von Schülerinnen und Schülern betrifft das Verständnis des leeren Raums zwischen den Teilchen. Novick und Nussbaum (1981) untersuchten in einer „Cross-Age Studie“ 576 Schüler und Studenten zu deren Teilchenkonzept. Sie fanden heraus, dass mehr als 80% der Probanden der Jahrgangsstufen fünf bis neun und weniger als 60% der Stufen zehn bis zwölf sowie der Universitätstudierenden, keinen leeren Raum zwischen den Teilchen annehmen. Ein Phänomen, das in der Literatur auch unter der Bezeichnung „horror vacui“ zu finden ist. Zwischen den Teilchen der Luft befindet sich nach Schülermeinung kein Vakuum, sondern beispielweise Sauerstoff, Staub oder Dreck .

Den Aspekt der „Konzeptkonstanz“ untersuchten Novick und Nussbaum (1978) in einer Studie mit Achtklässlern. Mehr als ein Drittel aller Probanden ziehen die Teilchenvorstellung, die ihnen ein Schuljahr zuvor vermittelt worden ist, nicht zur Erklärung von Phänomenen heran. In dieser Studie zeichneten 65% der Lernenden Luft in Form einer Teilchendarstellung und 35% in Form einer Kontinuumsdarstellung. Anschließend beurteilten 21%, also mehr als ein Fünftel, ihre Kontinuumsdarstellung als richtig. Ähnliche Ergebnisse erhielt auch Stavy (1990) bei der Befragung von 120 Schülerinnen und Schülern von der 4. bis zur 9. Klasse bezüglich ihrer Vorstellung zum Verdampfen von Aceton und zur Sublimation von Iod. Zwar hatte die Hälfte dieser Schülerinnen und Schüler das Prinzip zur Erhaltung der Masse verstanden, zur

Erklärung verwendet aber keiner der Siebtklässler und nur 15% der Acht- und Neunklässler das Teilchenmodell.

Die Dauerhaftigkeit von Alltagsvorstellungen konnte Valanides (2000) in einer Interviewstudie mit Primarstufenlehrerinnen und -lehrern nachweisen. Er zeigte, dass viele dieser Probanden die gleichen Schwierigkeiten mit dem makroskopischen und submikroskopischen Verständnis zum Aufbau und Verhalten der Materie haben, wie Schülerinnen und Schülern der verschiedensten Alltagsstufen.

Zusammenfassend können folgende Konzepte bei Kindern und Jugendlichen gefunden werden, die sich von den in der Schule gelehrt naturwissenschaftlichen Konzepten unterscheiden. Die Alltagsvorstellungen werden dominiert von kontinuierlichen Stoffkonzepten, in denen Atome als Produkte von Teilungsprozessen angesehen werden. Lernende trennen daher nicht zwischen Stoff- und Teilcheneigenschaft. Verschiedene Aggregatzustände eines Stoffes werden als unterschiedliche Stoffe betrachtet. Große Probleme zeigen Lernende beim Verständnis des „leeren Raum“ zwischen den Gasteilchen.

Die Stabilität solcher Alltagskonzepte zeigt sich daran, dass neu erlernte Konzepte nur selten für Erklärungen von phänomenologischen Beobachtungen herangezogen werden.

3 Lernen mit Bildern und Animationen

Die computertechnischen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte führen auch in Lehrsituationen zu einer zunehmenden Verwendung von multimedialen Systemen, die eine Fülle an unterschiedlichen Informationsdarstellungsformen bieten. Es ist zu erwarten, dass zukünftig noch stärker interaktive und multimediale Lernumgebungen in den Wissenserwerb eingebunden werden (Laszlo & Castro, 1995). Dadurch rückt die Frage nach der Effektivität solcher medienunterstützter Lernarrangements in den Mittelpunkt. Eine besondere Rolle bei der Vermittlung von Inhalten spielen dabei Texte, Bilder und Animationen. Daher ist ein zentraler Forschungsaspekt der Vergleich von Texten mit Bildern und die Funktion von Bildern. Es zeigt sich zum Beispiel, dass Bilder unter Berücksichtigung bestimmter Rahmenbedingungen einen positiven Einfluss auf die Lernleistung haben können (Levie & Lentz, 1982). Weit weniger Untersuchungen beschäftigen sich hingegen mit der Frage nach einem positiven Effekt von Animationen auf die Lernleistung, da häufig die Erkenntnisse zum Bildlernen übertragen werden. Verschiedene Autoren zeigen aber, dass dies nicht richtig ist (Lewalter, 1997; Schnotz, 1997). Ebenso selten wird die Frage nach der Verbesserung der Lernleistung durch vielfältige Informationsdarbietung (wie z.B. in multimedialen Lernumgebungen) untersucht. Nachteilig wird es für den Lernenden dann, wenn verschieden kodierte Informationen gleichzeitig präsentiert werden, da der Nutzer nur eine begrenzte Aufmerksamkeit besitzt („split-attention-effect“, Weidenmann, 1997).

Ein zentraler Aspekt der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses von selbstkonstruierten gegenüber vorgegebenen Animationen und Bildern. Daher muss im Gegensatz zu vielen anderen Untersuchungen, die im Kontext des Lernens mit Bildern und Animationen durchgeführt wurden, der handlungsaktive Aspekt im Sinne eines aktiven „Eingreifens“ in die Struktur der Animationen bzw. der „analogen“ Bilder als lernbeeinflussender Faktor berücksichtigt werden.

Die Trennung von kognitiven Verarbeitungsprozessen und Faktoren, die den Lernprozess beeinflussen, sind nicht immer scharf, dennoch wird im vorliegenden Kapitel versucht, die Verarbeitungsprozesse von Lernenden mit Bildern und Animationen sowie der damit verbundenen Lernvorgänge getrennt voneinander zu behandeln.

3.1 Kognitive Verarbeitung von Bildern

Beim Erwerb von Wissen mit multimedialen Lernsystemen wird dem Lernenden eine Vielzahl von unterschiedlich kodierten Informationen präsentiert. Die häufigsten Formen sind dabei Text- und Bilddarstellung. Dies erklärt den hohen Stellenwert, den die Medienforschung in den letzten Jahren dem Vergleich von Text- und Bildinformationen beim Lernen beigemessen hat. Menschen sind einer riesigen Informationsflut über Sprache, Bilder, Text usw. ausgesetzt. Nur ein geringer Teil dieser Informationen wird von einem Menschen verarbeitet und kann erinnert werden. Kognitionspsychologisch betrachtet basieren Lernprozesse auf der Erweiterung und Veränderung vorhandener kognitiver Strukturen, während Verstehensprozesse den Vergleich vorhandener Wissensstrukturen mit den neuen Inhalten erfordern.

Für die Entwicklung und die Integration von medialen Informationsangeboten in konkreten Lernsituationen ist es wichtig zu verstehen, wie die angebotenen

Informationen dazu beitragen können, kognitive Prozesse anzuregen, die die vorhandenen Wissensstrukturen sinnvoll erweitern und verändern. Aufbau und Struktur des Vorwissens sind daher wichtige Elemente für das Erlernen neuer Inhalte. Beim Aufbau von Wissensstrukturen wird zwischen Schemata (prototypisch gespeicherte Informationen über Objekte), Skripts (gespeicherte Handlungspläne bzw. Ablaufstrukturen) und mentalen Modellen (Vorstellungen über komplexe Abläufe und Zusammenhänge) unterschieden (Weidenmann, 1994). Die strukturellen Ähnlichkeiten von Bildern und mentalen Modellen legt einen Vorteil von Bildern gegenüber Texten oder sprachlichen Informationen nahe. Bilder können als externalisierte mentale Modelle aufgefasst werden oder erlauben umgekehrt eine direkte Konstruktion von mentalen Modellen (Schnotz, 1998). Daraus resultiert eine durch das jeweilige Bild bedingte Qualität der mentalen Modelle, die eine Person über einen bestimmten Sachverhalt entwickelt.

Diese Aussage lässt jedoch nicht den Rückschluss zu, dass ein Bild immer zu einem Lernvorteil bzw. zu einer Lernleistungssteigerung führen muss. Vielmehr ist das Lernen mit Bildern von der individuellen Wissensstruktur des Lernenden und von der Integration der Bilder in den Lernkontext abhängig. Gyselinck und Tardieu (1994) stellten beispielsweise fest, dass ein Bild nicht zu besseren Lernleistungen führt, wenn die Lernenden es im Anschluss an einen Text erhalten. Dies führten die Autoren darauf zurück, dass die Bildinformationen dann nicht in die vom Text erzeugten mentalen Bilder integriert werden können.

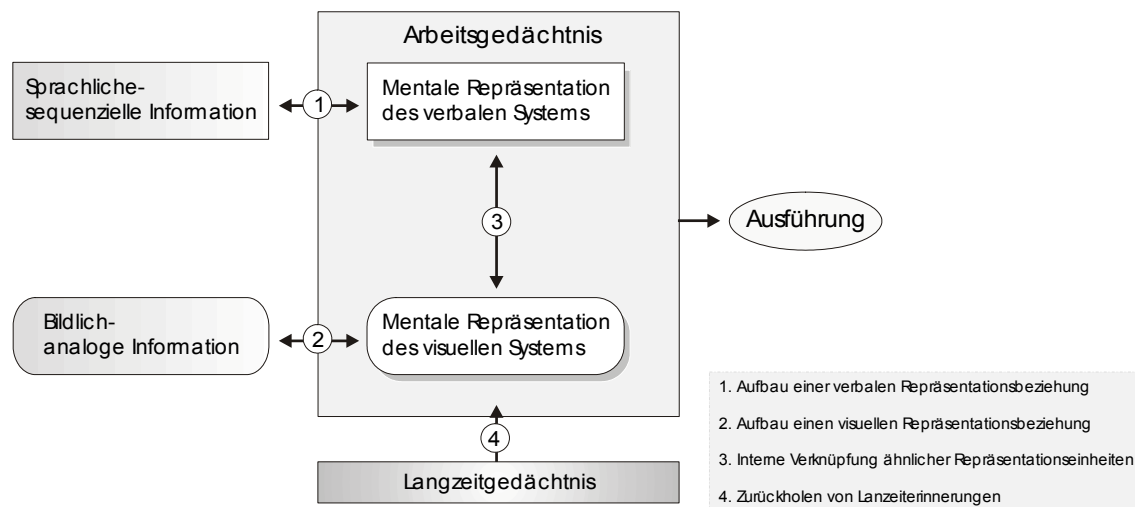


Abb. 3-1: Verarbeitungsprozesse auf Basis der dualen Kodierungstheorie.
(Mayer und Sims, 1994).

Der Verständnisprozess bei illustrativen Darstellungen und bei Texten geht einher mit der subjektiven Entwicklung von mentalen Repräsentationen der jeweiligen dargelegten Informationen. In der Kognitionspsychologie wurden verschiedene Theorien entwickelt, die die kognitiven Prozesse beim Verstehen von Bildern erklären.

Eine der ersten Theorien, die zur Beschreibung kognitiver Prozesse als Grundlage für das Verständnis verbaler und nonverbaler Informationen entwickelt wurde, ist die duale Kodierungstheorie von Paivio (1971, 1986). Dieser Ansatz erklärt den kognitiven Prozess der Integration von visuell und verbal präsentiertem Material in das Arbeitsgedächtnis eines Lernenden (siehe Abb. 3-1). Der Gesamtvorgang kann in drei

unabhängige Prozesse zerlegt werden. Der erste kognitive Prozess beinhaltet die Umwandlung von extern repräsentierten verbalen Informationen (z.B. Text oder sprachliche Erklärungen) durch eine verbale Enkodierung zu intern repräsentierten Informationen, den Logogenen. Werden dem Lernenden anstelle von verbalen Inhalten, visuelle Inhalte angeboten (z.B. Bilder oder Animationen), kommt es durch den Vorgang der visuellen Enkodierung zur Umwandlung von extern illustrativ repräsentierten Informationen, zu intern analog repräsentierten Informationen, Imagene. Anhand ähnlicher Repräsentationseinheiten werden in einem dritten Prozess, die innerhalb des Arbeitsgedächtnisses in einem diskreten Einheitensystem („discret unit system“) verwalteten Informationen des visuell-räumlichen und sprachlich-akustischen Zentrums verknüpft. Diese beziehungsbildenden Verbindungen werden auch als referenzielle Verknüpfung (referential links) bezeichnet. Während Bilder der Theorie zufolge multiple repräsentiert werden, d.h. als Imagene und als Logogene enkodiert werden, bleiben Texte meistens auf das Logogen System beschränkt.

Diese doppelte Kodierung erklärt, dass konkrete Begriffe auf Grund verbaler und non-verbaler Kodierung besser gelernt werden als abstrakte Begriffe. Ebenso kann der Verstehens- und Erinnerungsvorteil illustrativ dargestellter Informationen aus der doppelten Kodierung von Bildern gegenüber Texten erklärt werden.

Eine essentielle Bedeutung besitzt bei Paivio die Idee mentaler Bilder, die über das visuelle Verarbeitungssystem aufgebaut werden und sich von verbal aufgebauten Konzepten unterscheiden. Gestaltung es mentalen Bilds kann durch den Eindruck subjektiv gesammelter Informationen kanalisiert wird. Eine solche innere Wahrnehmung scheint in einem gewissen, subjektiv relevanten Maße von der äußeren Wahrnehmung abhängig zu sein, daher spricht man in diesem Zusammenhang auch von analogen Repräsentationen (Rehkämper, 1995). Neben dieser relationalen Analogie spielt auch die Manipulations- bzw. Transformationsfähigkeit solcher Modelle eine Rolle. Schon vor mehr als 30 Jahren versuchten Shepard und Chipman (1970) die Ergebnisse von Rotationsexperimenten durch eine gedächtnisgestützte Manipulation mentaler Modelle zu erklären. Es zeigte sich aber, dass nicht nur mentale Bilder allein für die erhaltenen Ergebnisse verantwortlich sein konnten.

Einige Wissenschaftler führten diese Erkenntnisse zu der Überlegung, dass das menschliche Gedächtnis, nicht wie von Paivio postuliert, ein duales Verarbeitungs- und Repräsentationssystem ist, sondern ein unitäres System darstellt (Pylshyn, 1981; Klimesch, 1988). In diesem Kontext werden Texte und Bilder einheitlich im Gedächtnis in Form einer inneren Sprache als mentale Symbole bzw. Propositionen repräsentiert. Eine Hauptkritik liegt dabei in der Annahme, dass mentale Modelle Begleiterscheinungen bzw. Resultate von Erfahrungen sind, nicht aber von mentalen Aktivitäten herrühren.

Schnotz (1998) beschreibt die unterschiedliche Verarbeitung von Bildern und Texten über einen depiktionalen und deskriptionalen Repräsentationszweig (siehe Abb. 3-2, S.13). Im deskriptionalen Verarbeitungszweig werden durch die Analyse von Symbolstrukturen aus extern repräsentierten Textinformationen über eine interne Textoberflächenrepräsentation interne propositionale Repräsentationen des semantischen Gehalts gebildet (Abb. 3-2, Linker Zweig, S.13). Propositionen sind komplexe mentale Symbole, die als interne hypothetische, mentale Sprache betrachtet nach syntaktischen Regeln aufgebaut sind (Schnotz, 1997). Diese propositionalen

Repräsentationen können dazu genutzt werden, über kontinuierliche Konstruktions- und Inspektionsprozesse mentale Modelle zu bestimmten Inhalten aufzubauen. Dem deskriptionalen steht der depiktonale Zweig gegenüber, der die Abbildung analoger Strukturen beschreibt. Die visuelle Wahrnehmung illustrativer Darstellungen kann über die interne mentale Repräsentation dieser Informationen zum Aufbau mentaler Modelle genutzt werden.

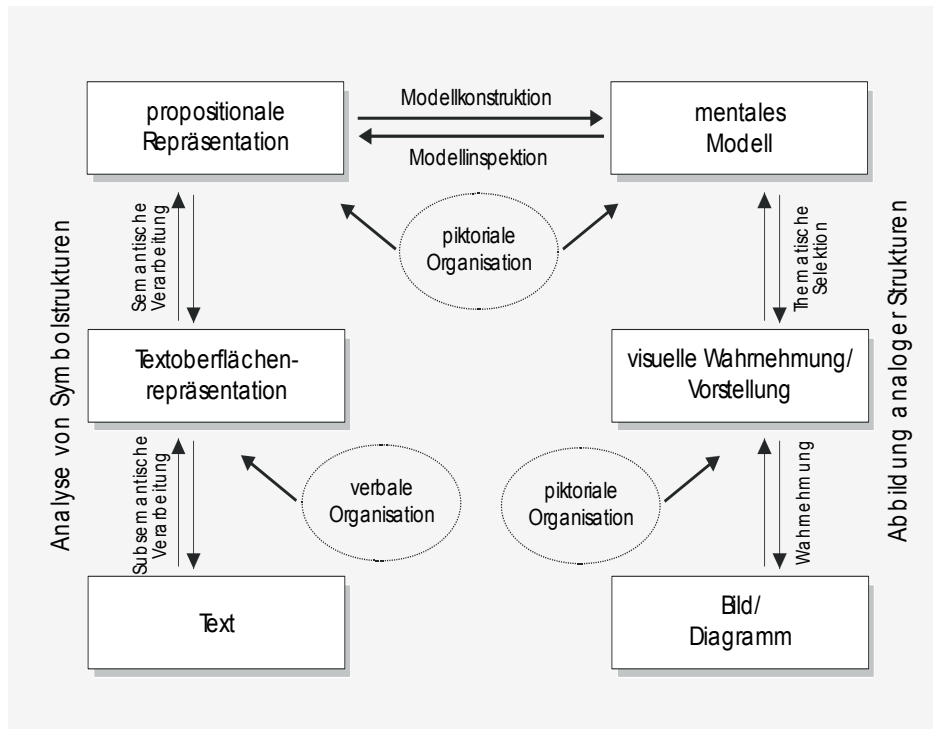


Abb. 3-2: Integratives Modell des Text- und Bildverstehens (Schnotz, 1998).

Die Wahrnehmung von visuellen Informationen besteht nicht nur aus der analogen Abbildung der Struktur, sondern ist auch mit dem Verständnis der funktionalen Aspekte verbunden. Es entsteht nicht nur eine Relation zwischen Repräsentant und Repräsentat, sondern auch eine Beziehung der einzelnen Elemente untereinander, die letztlich nicht mehr nur durch die reine analoge Repräsentation abgebildet werden kann. Mayer und Gallini (1990) unterscheiden daher zwischen einer Systemtopologie und einem Komponentenverhalten. Auch Shepard und Chipman (1970) erkennen diese Probleme und nutzen zur Unterscheidung der Ebenen eines Bildes, den Isomorphismus-Begriff erster und zweiter Ordnung (first- and second-order-isomorphism). Der Begriff Isomorphismus, der zur Beschreibung einer umkehrbar eindeutigen Abbildung einer Struktur verwendet wird, berücksichtigt in erster Ordnung die Eigenschaften der Objekte und in zweiter Ordnung die Beziehung der Objekte untereinander. Für die Beschreibung der Objektfunktionen untereinander reicht eine strukturelle Abbildung analoger Merkmale des Repräsentats nicht aus. Schnotz (1998) unterscheidet daher zwischen einer wahrnehmenden perzeptuellen Verarbeitung und der sinngebenden semantischen Verarbeitung von visuellen Informationen. Insbesondere die Fähigkeit, funktionale Aspekte in spezifischer Weise abbilden zu können, ist ein wichtiger Aspekt für die Simulationsfähigkeit von mentalen Modellen.

„Das Modell wird so konstruiert, dass bestimmte visuell wahrgenommene grafische Entitäten bestimmten mentalen Entitäten entsprechen und dass bestimmte räumliche Relationen zwischen den wahrgenommenen Entitäten bestimmten semantischen Relationen innerhalb des mentalen Modells entsprechen“ (Schnotz, 1998, S.38).

Der Prozess des Bildverstehens resultiert aus der Konstruktion eines mentalen Modells des dargestellten Sachverhaltes durch eine subjektive analoge Abbildung struktureller und funktionaler Aspekte auf ein System von semantischen Relationen. Wie bei Texten können sich Modellinspektionsprozesse anschließen, die zum Ablesen von Informationen führen. Verknüpfungen mit propositionalen Repräsentationen sind ebenso möglich.

Aus dieser Perspektive müssen mentale Modelle nicht zwangsläufig immer piktorale Repräsentate sein, sie können auch propositionale Repräsentate sein. Die Ausbildung mentaler Modelle kann sowohl über den deskriptionalen wie deskriptionalen Zweig erfolgen und schafft damit die Möglichkeit, über diesen „mentalen Modellierungsprozess“ aus deskriptionalen depiktionalen Repräsentationen und aus depiktionalen deskriptionalen Repräsentationen zu entwickeln.

Diese Feststellungen führen zu der Aussage, dass sich Text- und Bildinformationen ergänzen oder gegeneinander ersetzen können. Das Verständnis dargelegter Informationen hängt wesentlich von der subjektiven Fähigkeit und dem Vorwissen des Lernenden ab, die gebotenen Inhalte, sei es über Text oder Bild, zu mentalen Modellen zu verarbeiten und diese damit für den Lernprozess nutzbar zu machen.

Die allgemeine Auffassung, Bilder als „leichte“ Lernmedien zu betrachten, kann dazu führen, dass Lernende den Informationsgehalt eines Bildes unterschätzen und dass somit eine gehaltvolle Auseinandersetzung mit den Bildinformationen unterbleibt (Weidenmann, 1994). Dieser Effekt tritt vor allem bei kombinierten Bild- und Textinformationen und Animationen auf (Salomon, 1984; Schnotz, 1998). Bilder ohne Texte bleiben aber weitgehend unverstanden. Das Erkennen der Mitteilungsabsicht eines Bildproduzenten ist aber ein wesentlicher Aspekt für das Lernen mit Bildern.

3.2 Lernen mit Bildern und Animationen

Der Erfolg des Lernens mit bildhaften Lernmaterialien wird durch eine Reihe von individuellen Faktoren gesteuert, die den Lernprozess beeinflussen. Hierzu gehört der kognitive Entwicklungsstand (Peek, 1994), die individuelle Fähigkeit Bilder zu verstehen („visual literacy“, Petersson, 1994) und motivationale Aspekte.

3.2.1 Rolle des Vorwissen beim Lernen mit Bildern

Bilder präsentieren Informationen in kodierter Form. Das Vorwissen bestimmt die Fähigkeit die Informationen zu enkodieren und damit für den Lernprozess verfügbar zu machen. Die Wechselbeziehung des Vorwissens (Lernermerkmale) und der Struktur eines Bildes (Bildmerkmale) charakterisiert damit die wesentlichen Einflussfaktoren für die Lernergebnisse mit Bildern. Im Gegensatz zu Experten, hängt bei Laien die Qualität von mentalen Modellen erheblich von den Bildmerkmalen ab (Sumfleth & Telgenbüscher, 2000a).

Da der Prozess der Informationsentschlüsselung in der Regel unkompliziert ist, verleitet er dazu, die im Bild enthaltenen strukturellen und funktionellen Informationen falsch zu interpretieren. Scaife und Rogers (1996) gehen davon aus, dass die Vorteile des Lernens mit Bildern durch einen jahrelangen Sozialisationsprozess im Umgang mit grafischen Konventionen und der Verarbeitung visueller Stimuli entstehen. Dabei ist die Form der externen Repräsentation maßgeblich für den Grad der kognitiven Aufwendung. Dies gilt im allgemeinen nicht nur für Bilder, sondern auch für Texte, wie Zhang und Norman (1994) anhand eines mathematischen Beispiels demonstrieren. Die Lösung einer einfachen Multiplikationsaufgabe führt bei den Probanden zu mehr Schwierigkeiten, wenn sie mit arabischen Ziffern ($XVII * X$) anstelle von römischen Ziffern ($17 * 10$) arbeiten müssen.

Die Entschlüsselung bzw. das Verstehen der Bildinhalte hängt nach Weidenmann (1994) von einem Codewissen (die Art und Weise wie etwas abgebildet ist) und von einem Weltwissen (Inhalt der Abbildung) ab. Die in Bildern enthaltenen Informationen können dann problemlos abgelesen werden, wenn sich die dargestellten Elemente über das Code- und Weltwissen interpretieren lassen. Die dafür notwendigen Informationen entstammen Schemata, die der Wahrnehmung früherer Erfahrungen entnommen sind und auf Grund bestimmter Bildinformationen aktiviert werden. Weidenmann (1994) spricht in diesem Kontext auch von einem natürlichen Bildverständnis. Demgegenüber steht beim indikatorischen Bildverständnis nicht das Erkennen von Bildinformationen im Vordergrund, sondern das Erkennen der zu Grunde gelegten Mitteilungsabsicht des Bildproduzenten. Das indikatorische Bildverständnis baut daher auf dem natürlichen Bildverständnis auf und nutzt die Rekonstruktion bzw. Enkodierung der im Bild enthaltenen visuellen Argumente zur Verständnisentwicklung eines Verständnisprozesses.

Das Vorwissen hat demnach für das natürliche und indikatorische Bildverständnis eine große Bedeutung. Lewalter (1997) unterscheidet daher zwischen einem darstellungsspezifischen, auf dem natürlichen Bildverständnis beruhenden Vorwissen und einem themenspezifischen, auf dem indikatorischen Bildverständnis beruhenden Vorwissen. Die Bedeutung des themenspezifischen Vorwissen für die Nutzung visueller Informationen wurde in einer Reihe von Studien untersucht. Joseph und Dwyer (1984) fanden in ihren Untersuchungen über den Effekt des Vorwissens auf die Form der Inhaltspräsentation heraus, dass sich ein Zusammenhang von Vorwissen und Abbildungen unterschiedlicher Realitätsnähe in einem Text herstellen lässt. Danach schaffen es vor allem Lernende mit einem mittleren Vorwissen mit einer Kombination von Fotos und Zeichnungen ihre Lernleistungen an die der Lernenden mit hohem Vorwissen anzupassen. Die Gruppe mit hohem Vorwissen profitiert vor allem von Abbildungen mit einem hohen Realitätsgrad. Im Gegensatz dazu profitieren Lernende mit geringem Vorwissen nur in einem geringen Maße von Illustrationen, da ihr Vorwissen nicht ausreicht, um die dargebotenen Informationen adäquat zu nutzen.

Mayer und Gallini (1990) konnten in ihren Untersuchungen zum Lernen mit Texten und Bildern zeigen, dass Lernende mit niedrigem oder mittlerem Vorwissen von Abbildungen in Texten mehr profitieren bzw. sie effektiver nutzen als Lernende mit hohem Vorwissen. Sie begründen diese Ergebnisse mit der Annahme, dass die Lernenden mit hohem Vorwissen fähig sind, spontan „lauffähige“ mentale Modelle zu bilden, die dann zur Problemlösung herangezogen werden. Daher sind spezielle

Abbildungen zur Erklärung nicht notwendig. Im Gegensatz dazu sind Lernende mit geringem Vorwissen auf Grund ihres defizitären Vorwissens nicht in der Lage adäquate mentale Modelle aufzubauen. Sie benötigen dazu die Visualisierung als zusätzliche Informationsquelle.

Zu anderen Ergebnissen als Joseph und Dwyer (1984) kommt Lewalter (1997), die in ihren Untersuchungen den Einfluss von Bildern und Animationen auf die Lernleistung anhand von Beispielen aus der Astronomie erforschte. Danach führt defizitäres Vorwissen nicht zwangsläufig zu einer inadäquaten Abbildungsnutzung, sondern kann Lernende mit geringem Vorwissen an die Lernleistungen Lernender mit hohem Vorwissen heranführen. In den Untersuchungen von Lewalter finden sich innerhalb der Lerngruppen, unabhängig von der Form der illustrativen Darstellung (Bilder oder Animationen) keine Lernleistungsunterschiede bei Lernenden mit geringem und mittlerem Vorwissen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Reed (1985) und Rieber (1989) führt sie dies auf die inhaltliche Vorbereitung durch einen vorherigen Lerntext zurück, der dazu ausreicht, die generell gering differenzierten Vorwissensniveaus der Probanden auszugleichen. Bei Lernenden mit einem hohen Vorwissen hingegen erzielten die Lernenden mit Animations-Vorwissen die besten Lernleistungen, wobei die Ergebnisse der Gruppen mit Bild-Versionen noch schlechter waren als die mit Text-Versionen. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist nach Lewalter ein Interferenz-Problem (Lipson, 1982) zwischen Vorwissen und bildlicher Darstellung und stützt damit die Annahmen von Mayer und Gallini (1990), wonach Lernende mit großem Vorwissen von Abbildungen nicht mehr profitieren.

Nicht nur dynamische Bildabläufe sind vorteilhaft für Lernprozesse mit Bildern. Sumfleth und Telgenbüscher (2000b) konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass bildhafte Darstellungen von Prozessabläufen in Form von „step & parts“-Bildern Laien bei der Generierung von adäquaten mentalen Modellen unterstützen und damit zu einer verbesserten Lernleistung führen. Die Lernenden schneiden dabei besser ab als andere, die mit herkömmlichen Test-Bild-Kombinationen gelernt haben. Die Lernleistungen können zudem durch die Möglichkeit aus einem umfangreichen Angebot eigene „step & parts“-Bilder zu entwickeln, gesteigert werden.

Neben dem Vorwissen zum themenspezifischen, indikatorischen Bildverständnis, welches das Erlernen der verwendeten Symbolsysteme voraussetzt, ist auch Vorwissen für ein darstellungsspezifisches, natürliches Bildverständnis notwendig. Weidenmann (1994) weist darauf hin, dass Bildverstehen wie eine Kulturtechnik systematisch erlernt werden muss. Es ist daher wichtig, dass die im Bild verwendeten Informationen durch ihre Darstellungsweise einheitlich und angemessen repräsentiert werden und an alltägliche Erfahrungen anknüpfen. Dadurch erhält der Betrachter einen leichteren Zugang zu den dargestellten Bildinformationen.

Nach Weidenmann (1994) sind Prinzipien der natürlichen Wahrnehmung in Form von Blickwinkel, Kontextualisierung, Schatten- und Farbinformation sowie eindeutigen Figur-Grund-Unterscheidungen für ein natürliches Bildverständnis verantwortlich. Daher verwundert es nicht, dass bei den Untersuchungen von Constable, Campbell und Brown (1988) Kinder Schwierigkeiten bei der Interpretation von Querschnittszeichnung hatten.

Bei speziellen Informationsdarstellungsformen, beispielsweise Diagrammen, ist es wichtig auf vorhandene Darstellungskonventionen zurückzugreifen, da die Wahl der Darstellungsform einen Einfluss auf die Interpretation haben kann. Diagramme sind nach Larkin und Simon (1987) u. a. dann besonders effizient, wenn durch die Form der Darstellung keine aufwendigen Anpassungsprozesse an das verwendete Symbolsystem notwendig sind und die wahrgenommenen Diagramme Rückschlüsse auf die dargestellten Informationen zu lassen. So konnte Guri-Rozenblit (1988) zeigen, dass Diagramme mit vielen Elementen und relationalen und interrelationalen Verknüpfungen für Lernende verständlicher sind, wenn die Diagramme durch erklärende Texte ergänzt werden, da den Lernenden die Fähigkeit fehlt, die dargestellten Elemente sinnvoll zu organisieren und in bedeutungsvolle Strukturen zu integrieren.

Nach Schnotz (1997) führt die Nutzung von häufig verwendeten Diagrammtypen, wie Kreis-, Balken-, Säulen- oder Liniendiagrammen, eher zur Aktivierung von für die Interpretation erforderlichen Grafik-Schemata als andere Darstellungsformen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass darstellungs- oder themenspezifisches Vorwissen einen Einfluss auf die Lernleistung haben kann. Dabei können Lernende mit geringem Vorwissen eher von illustrativen Darstellungen profitieren als solche mit hohem Vorwissen, da diese Informationen für die Entwicklung mentaler Modelle genutzt werden können.

3.2.2 Untersuchungen zum Erfolg beim Lernen mit Bildern und Animationen

In den letzten Jahren und Jahrzehnten sind unzählige Studien zum Lernen mit Bildern und Animationen durchgeführt worden. Die meisten dieser Untersuchungen sind, forciert durch den rasanten Aufstieg des Computers zum „Massenmedium“, als Vergleichsstudien zwischen den verschiedensten piktoralen Darstellungsformen und Texten angelegt worden.

Während Texte lediglich in geschriebener oder gesprochener Form vorliegen können, bieten visuelle Darstellungen einen breiteren Variationsspielraum, der statische und animierte Bilder sowie Filme bzw. Filmsequenzen umfasst. Issing (1994, s.a. Schnotz 1997) unterscheidet bei bildlichen Darstellungen zwischen logischen, realistischen und analogen Bildern. In die Kategorie der logischen Bilder gehören verschiedenste Formen von grafischen Darstellungen wie z.B. Diagramme, die keine Ähnlichkeit mit den dargestellten Gegenständen haben. Realistische Bilder sind naturalistische Darstellungen oder einfache Strich- und Umrisszeichnungen bestimmter Objekte (z.B. Gemälde oder Fotografien). Zu den analogen Bilddarstellungen werden die Abbildungen gezählt, die einen bestimmten Erkenntnisstand, in Form einer analogen, bildhaften Darstellung wiedergeben.

Bilder lassen sich nicht nur nach ihren Darstellungsformen kategorisieren, sondern auch nach den unterschiedlichen kognitiven Funktionen, die diese für die Entwicklung mentaler Modelle besitzen. Eine von Weidenmann (1994, S.31ff.) entwickelte Kategorisierung zur Beschreibung dieser kognitiven Funktionen unterscheidet in der Reihenfolge abnehmenden Vorwissens zwischen einer aktivierenden, konstruierenden, fokussierenden und ersetzenden Funktion. In diesem Sinne kann ein Bild zur Aktivierung vorhandener Wissensstrukturen dienen (z.B. Piktogramm), die

Entwicklung von mentalen Modelle auf Basis der Struktur von Objekten und Ereignissen anregen (z.B. Bilder zur Funktionsweise bestimmter Geräte), zur Fokussierung auf ein mentales Bild fungieren sowie als Ersatz für ein mentales Modell (z.B. Visualisierung von Objekten und deren dynamische Beziehungen) dienen.

Während Bilder zu meist als erklärendes Element in Texten oder zur Veranschaulichung komplexer Sachverhalte genutzt werden, kommen Animationen dort zum Einsatz, wo eine inhaltliche Vermittlung durch dynamische Abfolgen von Bildern, z.B. Bewegungsabläufe oder Objektveränderungen, benötigt wird (Rieber 1990a). Nach Schnotz (1998) können Animationen hilfreich sein den Aufbau dynamischer mentaler Modelle für Problemlöseprozesse zu unterstützen.

Die Verbesserung der Lernleistung durch statische und dynamische Bilder begründet häufig ein vielfältiges piktorales Informationsgebot. Die Ergebnisse zahlreicher empirischer Studien zeigen jedoch, dass eine abschließende Aussage über visuelle Informationsvermittlungsformen nur unter Berücksichtigung zahlreicher Einflussfaktoren möglich ist. Wird zudem berücksichtigt, dass Bilder und Animationen vielfach nicht isoliert verwendet werden, sondern in ein umfassendes mediales Lernarrangement integriert sind, ist eine pauschale Aussage noch schwieriger zu treffen.

Da viele der Untersuchungen auf „statischen“ Bildern beruhen, gibt es aber immer noch Fragen nach der Effektivität von Animationen im Lernkontext. Vielfach werden die gewonnen Erkenntnisse zu „statischen“ Bildern auf „dynamische“ Bilder übertragen, da einzelne Bilder die Basis für Animationen bilden und Animationen demzufolge als bloße Aneinanderreihung von Einzelbildern angesehen werden können (Rieber, 1990a, 1991). Es stellt sich jedoch die Frage, ob „statische“ und „dynamische“ Bilder die gleichen Funktionen im Lernkontext erfüllen. Zumindest bezogen auf Vorwissen und kognitive Verarbeitung (Schnotz, 1998) kann davon ausgegangen werden, dass sich Animationen von Einzelbildern unterscheiden (vgl. auch Spencer, 1991). Animationen liegt zudem eine „aufmerksamkeitslenkende Wirkung“ zugrunde, da sich verändernde Bildelemente automatisch die Aufmerksamkeit des Betrachters wecken und eine gezielte Lenkung auf bestimmte Bildelemente zu lassen (Lewalter, 1997). Ein zusätzlicher Unterschied zwischen den Darstellungsformen kann auch auf der motivationalen Ebene entstehen, da Animationen vielfach im Unterricht in Form computerunterstützter Lernarrangements eingesetzt werden, in denen der Lernende eigenverantwortlich handelnd die Kontrolle über das System besitzt. Umgekehrt besitzen Animationen, die nicht vom Betrachter gesteuert werden können, den Nachteil, dass die kontinuierliche Informationsdarstellung hohe kognitive Anforderungen an den Betrachter stellen.

Im folgenden werden exemplarisch einige der zahlreichen Untersuchungsergebnisse zum Lernen mit Texten, Bildern und Animationen vorgestellt.

Ausgehend von den Überlegungen von Schnotz (1998), wonach das Verstehen von komplexen Sachverhalten, die verbal oder piktorial dargestellt werden, durch das Konstruieren mentaler Modelle charakterisiert werden kann, sollte das Lernen mit Bildern, auf Grund der Ähnlichkeit der analogen mentalen Repräsentation zu den visuell dargestellten Inhalten, effektiver sein, als das Lernen mit reinen Texten. Entgegen dieser Annahme zeigt sich in den Untersuchungen von Weidenmann (1989), dass Bilder im Vergleich zu Texten nicht immer besser abschneiden. Er führt dieses

Ergebnis darauf zurück, das Lernende den Informationsgehalt visueller Darstellungen häufig unterschätzen, indem sie nach einem kurzen, oberflächlichen Blick davon ausgehen, wesentliches erfasst zu haben (Weidenmann, 1994: „natürlichen Bildverständnis“). Schnotz (1997, 1998) begründet diese subjektive Fehleinschätzung damit, dass der Betrachter keine entsprechenden metakognitiven Verstehensstandards in Bezug auf die dargestellten Inhalte besitzt, die es dem Betrachter ermöglichen würden, Wissensdefizite zu erkennen. Im Gegensatz zum Textverständnis existieren keine Sequenzierungen für die semantische Analyse der Bilder, woraus ein minder organisierter Verarbeitungsprozess resultiert. Der Betrachter erhält damit nur einen unzureichenden Hinweis auf sein subjektives Bildverständnis.

Levie und Lentz (1982), die die Ergebnisse von 55 Experimenten zum Effekt von Textillustrationen analysierten, kamen zu dem Schluss, dass Illustrationen dann lernunterstützend wirken, wenn sie text-redundante Informationen beinhalten. Als eine allgemeine Funktion von Bildern heben sie die verstehens- und erinnerungsunterstützenden Funktionen von Bildern heraus. Zudem schreiben Levie und Lentz (1982) Bildern einen Aktivierungs- und Motivationseffekt zu.

Eine empirische Untersuchung von Schnotz und Grzondziel (in Schnotz, 1998) zum Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Animationen unterstützt die Aussagen von Levie und Lentz (1982) dahingehend, dass die Kombination von Text und Bild dann besonders effektiv ist, wenn Texte mit ergänzenden Bildern unterstützt werden. Lernende zeigen hingegen Leistungseinbußen, wenn Bilder und Texte, nicht „adäquat“ sind, also Informationen liefern, die für die Lösung der Aufgaben nicht benötigt werden („Interferenzeffekt“).

Mayer (1997) kam zu ähnlichen Ergebnissen, als er Lernende mit Textinformationen und Lernende mit einer sich nicht ergänzenden Kombination von Texten und Bildern verglich. Es zeigte sich auch hier, dass die Textgruppe bessere Ergebnisse erzielte.

Mayer begründet dies mit der Abstimmung der räumlichen und zeitlichen Koordination von verbalen und bildhaften Informationen („Kontiguitätsprinzip“). Hiernach ist es besonders vorteilhaft für das Lernen mit Bildern und Texten, wenn verbale und piktoriale Informationen räumlich und zeitlich aufeinander abgestimmt dargeboten werden.

Verschiedene Studien zum Text-Bild-Lernen zeigen, dass vor allem Lernende mit geringem Vorwissen von Text-Bildkombinationen profitieren, während Lernende mit hohem Vorwissen auch ohne bildliche Informationen Lösungen für dargestellte Sachverhalte entwickeln (Reed, 1985; Mayer & Gallini, 1990; Mayer & Sims, 1994; Mayer, 1997). Lernende ohne relevantes Vorwissen benötigen zusätzliche Informationen. Daraus lässt sich schließen, dass Lernende mit hohem Vorwissen auch ohne Bilder in der Lage sind adäquate mentale Modelle für Problemlöseprozesse zu bilden. Bilder führen nur dann zu Verständnisvorteilen, wenn es um das Lösen von komplexeren Problemlöse- und Transferaufgaben geht. Dies trifft besonders dann zu, wenn der Vorwissensstand gering ist (Levie & Lentz, 1982; Mayer & Gallini, 1990).

Levie und Lentz (1982) kamen in einer Meta-Analyse zum Text-Bildverständnis zu dem Ergebnis, dass Bilder für Lernende mit schlechten Lesefähigkeiten hilfreicher sein können als für Lernende mit guten Lesefähigkeiten.

Mit der zunehmenden Bedeutung von computerbasierten Lernarrangements ist auch das Interesse an Animationen gestiegen. Dabei werden die Animationen, die zumeist technischen oder physikalischen Kontexten entstammen, in Kombination mit ergänzenden deskriptiven Texten oder instruktionellen Unterrichtselementen zur Visualisierung dynamischer Prozesse eingesetzt. Neben rein präsentativen Nutzungsformen werden Animationen auch in handlungsorientierten interaktiven Kontexten verwendet, in denen der Lernende selbstregulierend den Lernprozess steuern kann (Rieber, 1990a).

Rieber (1989, 1990b, 1991) untersuchte in verschiedenen Studien mit Viert- und Fünftklässlern den Effekt von Animationen am Beispiel der Newtonschen Bewegungsgesetze. In einer ersten Vergleichsstudie von Rieber (1989) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bei den Lerngruppen mit Animationen gegenüber den Lerngruppen, die mit Texten oder Bildern gelernt hatten. Rieber führt dieses Ergebnis auf eine wenig intensive Auseinandersetzung mit dem Lernmaterial, Schwierigkeiten bei der Entnahme inhaltsrelevanter Aspekte sowie der kognitiven Überforderung der Lernenden durch die Animationen gegenüber Bildern und Texten zurück. Daraufhin modifizierte er die Studie (Rieber, 1990b). Zum einen wurde der Schwierigkeitsgrad des Lernmaterials reduziert und gleichzeitig die Inhalte in steuerbare Grafik- und Textbereiche untergliedert. Jetzt schnitten die Lerngruppen mit animierten Bildern signifikant besser ab als die Lerngruppen, die mit statischen Bildern oder ohne Bilder gelernt hatten. Die Trennung von Bild- und Textinformationen lenkt die Aufmerksamkeit der Lernenden direkt auf die Informationen. Die Aufmerksamkeit der Lernenden wurde in dieser Studie direkt auf die Animation gelenkt. Zusätzliche Informationen, z.B. dem Lesen von Bildschirmtexten mussten damit nicht aufgenommen werden. Diese intensive Auseinandersetzung mit der Animation führt daher zu einem Verstehensvorteil gegenüber kombinierten Darstellungsformen von Animationen mit Text.

Einen weiteren Effekt fand Rieber (1990b) bei der Nutzung von interaktiven Animationen, in denen die Lernenden die Möglichkeit haben, aktiv, ähnlich einer strukturierten Simulation, in die Lernumgebung einzugreifen. Lernende erhalten Übungsaufgaben zur Richtungs- und Geschwindigkeitskontrolle über ein Raumschiff, welches den Newtonschen Bewegungsgesetzen unterlagen. Die Lernleistung der Gruppe mit den Animationen übertrifft den Lernerfolg der übrigen Gruppen, die mit bzw. ohne zusätzliche Übungen gelernt haben. Vergleichbar mit Ergebnissen von Studien zu Lerneffekten bei Computerspielen leitet sich der Lernvorteil vermutlich, aus einer intrinsisch motivierten, spielerischen Beschäftigung mit der Sache ab, die zu einer tiefgreifenderen kognitiven Auseinandersetzung mit den Inhalten führt (s.a. Malone, 1981). Rieber (1990b) leitet aus diesen Ergebnissen die Notwendigkeit ab, Lernende aktiv und selbstregulierend mit Animationen arbeiten zu lassen. Die aktive Auseinandersetzung mit den Animationen führt zur Bildung „mentaler Anker“, die als Basis nachträglicher Instruktionen fungieren können.

In einer weiteren Studie untersuchte Rieber (1991) den Lerneffekt von implizit und explizit vermittelten Lerninhalten durch Bilder und Animationen. Schülerinnen und Schüler, die mit Animationen gelernt haben, erinnern sich signifikant mehr an implizit vermittelte Informationen als Lernende mit statischen Bildern. Die Lernenden sind in

der Lage beiläufig vermittelte Informationen korrekt wiederzugeben. Es kann sein, dass Zugriff und Erinnerbarkeit durch die Bewegung der Objekte erleichtert werden. Rieber weist darauf hin, dass bei implizit vermittelten Informationen eine größere Neigung zur Entwicklung wissenschaftlicher „Fehlkonzeptionen“ besteht, da die Lernenden ihr Sachverständnis ohne eine zusätzliche Information, Anleitung und Reflexion aus den oberflächlichen Darstellungen der Animation entnehmen.

Den Lernerfolg von Animationen am Beispiel mechanischer Bewegungen einer Fahrradpumpe in Kombination mit deskriptiven Texten untersuchten Mayer und Anderson (1991) in einer Studie. Dabei zeigt sich, dass Animationen nicht zwangsläufig den Lernerfolg steigern, wenn sie vor oder nach einer verbalen Deskription präsentiert werden. Lernende, die die Animationen in Kombination mit Texten bearbeiten, zeigen einen deutlich höheren Lernerfolg als die übrigen. Damit deckt sich dieses Resultat mit den Ergebnissen ähnlicher Studien zum Lernen mit Bildern (Levie & Lentz, 1982; Mayer & Gallini, 1990; Mayer, 1997; Schnotz, 1997, 1998).

In den Untersuchungen von Lewalter (1997) zum Einfluss von Illustrationsformen, Bildern und Animationen auf den Lernerfolg am Beispiel astrophysikalischer Inhalte zeigen die Lernenden mit Animationen nicht signifikant bessere Lernleistungen als diejenigen mit Bildern. Bedeutsame Steigerungen waren lediglich im Vergleich zu reinen Textinformationen festzustellen, dies galt aber auch für Bilder.

Die von Lewalter dargelegten Ergebnisse weisen darauf hin, dass Animationen dazu geeignet sind, Vorwissensdefizite von Lernenden anzugleichen und eine geringe Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den Lernstoff zu dämmen.

In einer empirischen Studie von Schnotz und Grondziel (in Schnotz, 1998) zum Verständnis von Uhrzeiten und Kalenderdaten auf Basis von Texten, Bildern und Animationen haben die Probanden, die mit Animationen gelernt haben, keine Wissensvorteile gegenüber denen, die mit statischen Bildern oder Texten gelernt haben. Zwar führt das explorative Handeln mit Animationen bei den Lernenden zu einer besseren Einprägung von Detailinformationen, die sich jedoch nicht positiv auf die Lernergebnisse auswirken. Überraschend sind diese Ergebnisse unter Berücksichtigung der Annahme, dass durch die Veranschaulichung von dynamischen Prozessen der Grad an Realitätsnähe vergrößert und die Bildung dynamischer mentaler Modelle vereinfacht werden sollte. Schnotz (1998) führt dies auf die Hinderung lernrelevanter mentaler Prozesse zurück, die in Folge der vereinfachten Darstellungsform durch Animation, zu einer Reduktion der kognitiven Anforderungen an die Lernenden führt.

Scaife und Rogers (1996) gehen davon aus, dass im Gegensatz zu konventionellen Bildern Animationen und virtuelle Realitäten als Lernmedien benachteiligt sind, weil Lernende nicht wie bei Bildern, durch jahrelangen Übungsprozess gelernt haben, die visuellen Stimuli adäquat zu verarbeiten und die dargebotenen grafischen Konventionen für den Lernprozess zu nutzen.

Zusammenfassend zeigen die dargestellten Ergebnisse deutlich, dass das Lernen mit Bildern und Animationen nicht zwangsläufig zu besseren Lernleistungen führen muss. Kombinierte Text-Bildinformationen sind dann effektiv, wenn sie räumlich und zeitlich aufeinander abgestimmt sind und ergänzende und erklärende Informationen beinhalten.

Dabei profitieren Lernende mit geringem Vorwissen mehr von Bildern als Lernende mit hohem Vorwissen (Mayer, 1997).

Animationen können dazu führen, die kognitiven Anforderungen an den Lernenden zu reduzieren und damit den Lernerfolg zu schmälern (Schnotz, 1998). Im Kontext des Lernens mit Animationen ist es daher wichtig, die Lernenden an eine intensive Nutzung der visuell dargestellten Elemente heranzuführen ohne die kognitiven Anforderungen des Lernenden durch den Lerninhalt zu reduzieren.

4 Grundlagen computerbasierten Lernens

4.1 Lernpsychologische Aspekte

Die grundlegenden lerntheoretischen Aspekte, die als Basis konzeptioneller Überlegungen für die Entwicklung computerbasierter Lernumgebungen genutzt werden, lassen sich in ihren hybriden Ausrichtungen meist auf die Grundorientierungen eines behavioristischen, kognitivistischen oder konstruktivistischen Ansatzes reduzieren (Kleinschroth, 1996; Schulmeister, 1997; Kerres, 1998; Kammerl, 2000; Urhahne et al., 2000). Die folgende Beschreibung der drei verschiedenen Grundausrichtungen mündet in Implikationen für die praktische Nutzung solcher Theorien für die Lernsoftwareentwicklung.

4.1.1 Behavioristischer Ansatz

Die behavioristischen Ansätze bildeten die ersten lerntheoretischen Fundamente computerunterstützter Lernumgebungen und dienten in den 70er und 80er Jahren als Grundlage für eine Vielzahl von Programmen (s.a. Euler, 1992; Kleinschroth, 1996). Auch wenn aus heutiger lernpsychologischer Sicht, die theoretischen Ansätze des Behaviorismus eine von kognitivistischen oder konstruktivistischen Orientierungen überholte Vorstellung des menschlichen Lernens darstellen, befinden sich in bestimmten Bereichen immer noch Lernprogramme, die nach diesen Ideen entwickelt werden. Dazu gehören beispielsweise Vokabel- und Mathematiklernprogramme oder Präsentationsprogramme, die auf den Erwerb von Faktenwissen abzielen.

Die theoretische Basis für die Erkenntnisse des Behaviorismus stammt von Wissenschaftlern wie Iwan P. Pawlow, John B. Watson, Edward L. Thorndike oder Burrhus F. Skinner, die in Versuchen mit Tieren zeigen konnten, dass sich ein bestimmtes Verhalten durch außengesteuerte Reize und Verstärkungen hervorrufen lässt. Bei Menschen gelang dies allerdings meist weniger überzeugend.

Edward L. Thorndike erforschte als erster, wie Tiere durch Versuch und Irrtum (trail-and-error) zu einem bestimmten Erfolg kommen und formulierte daraus das lerntheoretische Gesetz des Lernens am Erfolg (law of effect, 1913). Thorndike setzt zu diesem Zweck Versuchstiere, zumeist Katzen, in sogenannte einfach zu öffnende Problemkäfige. Häufig gelingt es den Tieren nach zufälligem Ausprobieren den Öffnungsmechanismus des Käfigs zu betätigen und dadurch die Tür zu entriegeln, worauf sie vom Experimentator mit Futter oder anderen Dingen belohnt werden. Die Belohnung führt dazu, dass bestimmte Handlungen verstärkt werden (reinforcement) und dadurch ihre Auftrittswahrscheinlichkeit zunimmt. In einem weiteren Lerngesetz zur Einübung von Handlungsweisen formuliert Thorndike, dass eine Reiz-Reaktionsverbindung (stimulus-response: stimulus meint z.B. das Öffnen der Tür; response meint das Lernziel z.B. das Betätigen des Türriegels) allein dadurch verstärkt werden kann, dass sie ständig wiederholt wird (drill-and-practice) (Seidel & Lipsmeider, 1989; Legewie & Ehlers, 1992.). Thorndike nutzt seine Erkenntnisse zur Entwicklung von Lehrtechniken für den Unterricht.

Burrhus Skinner greift Thorndikes Ideen auf und verfeinert sie dahingehend, dass er versucht den Zufallsfaktor beim Lernen durch Erfolg zu minimieren. Skinner zeigt in Experimenten mit Tauben, die sich in einer Box befanden (Skinner-Box), dass es nicht

notwendig ist zu warten, bis eine Taube zufällig einen bestimmten Hebelmechanismus in Gang setzt (z.B. ein Futterhebel). Eine Belohnung, die bei einer gezielten Richtungsbewegung zum Hebel hin erfolgt und die umgekehrt unterbleibt, wenn eine andere Richtung eingeschlagen wird, führt zu einer Handlungs- oder Verhaltensformung (shaping). Skinner bezeichnet diesen Lernprozess als Näherungslernen (approximation) (Seidel & Lipsmeider (1989). Im Gegensatz zu früheren, an dieser Stelle nicht weiter erläuterten Experimenten des russischen Wissenschafters Pawlow, bei denen die Reaktionen von Versuchstiere unabhängig vom Reiz auftraten, wird diese Art der Konditionierung als operantes oder instrumentelles Lernen bezeichnet.

Sowohl Thorndike als auch Skinner zielten darauf ab, ihre Erkenntnisse auf Menschen zu übertragen. Dabei entstanden die Lernmethoden des programmierten Unterrichts bzw. der programmierten Instruktion.

Skinner arbeitet bei der Umsetzung seiner Ideen mit dem Psychologen Sidney Pressey zusammen, einem Pionier des maschinengesteuerten Lernens, der schon in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts mechanische Testmaschinen entwickelte. Während Pressey's Maschinen vorgegebene Fragen nur im multiple-choice Verfahren verarbeiten können, wollte Skinner ein Gerät entwickeln, welches freie Antworten der Schüler berücksichtigte. Er wollte damit ein Reproduzieren aus dem Gedächtnis unterstützen und einem einfachen Wiedererkennen oder einem Lernerfolg durch Versuch und Irrtum entgegenwirken. So entsteht die Lehrmaschine „Didak“, die in den fünfziger Jahren in Harvard in Selbst-Lern-Räumen eingesetzt wurde (Skinner, 1966).

Da die Frage nach der Nutzung und Akzeptanz beim Lernenden lange Zeit im Hintergrund der Konzeptionen stand, nahmen die ersten lernunterstützenden Computerprogramme die Grundideen von Skinner und Thorndike auf. Es entstehen in diesem Sinne die typischen „Drill and Practice“-Programme, die auf eine kleinschrittige Darbietung und Vermittlung von Faktenwissen ausgelegt sind und zudem recht einfach, schnell und unkompliziert zu entwickeln sind.

4.1.2 Kognitionstheoretischer Ansatz

Ausgangspunkt für die Entwicklung neuer Vorstellungen über Lernprozesse, die die individuelle Eigensteuerung der Lernprozesse im Vordergrund sehen, waren die Überlegungen der Behavioristen, den Lernenden als einen durch externe Variablen gesteuerten Organismus zu sehen. Die vorherrschende Meinung der Behavioristen war es, das Verhalten einer Person als ein Repertoire aus Aktionen zu beschreiben, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten, wenn die Umwelt sich ändert (Skinner, 1966). Im Gegensatz dazu führten die Überlegungen von Psychologen wie Piaget (1947, Piaget & Inhelder, 1971) und Bruner (1966, 1971) aber auch von Tolman als Bindeglied zwischen Behaviorismus und Kognitivismus dazu (siehe Lefrancois, 1994), den Lernenden mehr als ein Individuum zu begreifen und diesem die aktive und selbständige kognitive Verarbeitung äußerer Reize zuzuweisen. Auf der Basis von Erfahrungen und abhängig vom Entwicklungsstand ist der Lernende selbst für die Interpretation und Verarbeitung seiner selektiven Wahrnehmungen verantwortlich.

Im Gegensatz zu den Behavioristen, die die Prozesse der kognitiven Verarbeitung ignorierten, sie als spekulativ und unerforschbar betrachteten und ihnen einen Black-Box-Status gaben, spielen die Verarbeitungsprozesse bei den Kognitivisten die

entscheidende Rolle. Sie schließen die Lücke zwischen Reiz und Reaktion. In diesem Sinne entwickelte Tolman das Konzept der „kognitiven Landkarte“.

Mit den Prozessen der Wahrnehmung, des Bewusstseins und der Einsicht befassten sich schon vor den Kognitionspsychologen die Gestaltpsychologen, die damit als Vorläufer, parallel zum Behaviorismus, einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung der Kognitionspsychologie leisteten (Behnke, 1995). Begriffe wie Wahrnehmung und Einsicht stellen das aktive, bewusste Handeln des Lernenden in den Vordergrund und weisen zugleich auf die individuelle, subjektive Verarbeitung von Informationen hin, die damit auch immer von vorhandenen Strukturen abhängig ist. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass in einer bestimmten Situation nur das gelernt werden kann, was die bestehenden Strukturen und die kognitive Entwicklung erlauben.

Die Erkenntnisse der Kognitionspsychologie brachten neue Typen von computerbasierten Lernumgebungen hervor, die sich in weiten Teilen von den Konzeptionen und Entwicklungen der behavioristisch geprägten Programme unterschieden. Diese Lernumgebungen zielen darauf ab, den Lernenden mit Problemen zu konfrontieren, die mit dem vorhandenen Wissen nicht lösbar sind oder mit diesem in einem Widerspruch stehen. Dadurch werden Prozesse ausgelöst, die letztlich zu einer Ergänzung oder Umstrukturierung der „kognitiven Landkarte“ führen.

Lernumgebungen, die auf kognitionspsychologischen Erkenntnissen beruhen, dienen vor allem dem eigenständigen Erwerb von neuem Wissen und dem Erlernen von Methoden und Problemlösestrategien, wie sie in großen Bereichen des instruktionellen Lernens, z.B. bei tutoriellen Programmen, zu finden sind. Die Programme selber übernehmen die Rolle eines flexiblen, adaptiven, intelligenten Tutors, der durch Analyse und Korrektur des Antwortverhaltens der Lernenden das Programm steuert.

4.1.3 Konstruktionstheoretischer Ansatz

Der konstruktivistische Ansatz, der seit den 90er Jahren die didaktische Diskussion insbesondere in den USA beherrscht, wird zunehmend als Alternative zum Kognitivismus angesehen (Kerres, 1998).

Die konstruktivistische Position definiert im Unterschied zum kognitivistischen Ansatz, Lernen als einen subjektiven Konstruktionsprozeß, in dem Wissen das Resultat der subjektiven Erfahrungen mit der Realität darstellt. „Danach werden in jeder Situation Bedeutungen neu konstruiert, sie werden nicht einfach aus dem Gedächtnis abgerufen oder rekonstruiert, sondern sind Ergebnis einer Interaktion zwischen Menschen, ihrer Umwelt und Artefakten, die in der Interaktion mit der Umwelt entstehen“ (Kerres, 1998, S.66).

Eine Umsetzung dieser Überlegungen führt zur Entstehung von Lernarrangements, die ein entdeckendes, handlungsorientiertes und autonomes Lernen fördern und dem Lernenden die Möglichkeit geben, eigene Lernwege zu gehen. Der Computer mit dem jeweiligen Programm dient dabei lediglich als Werkzeug, Leitfaden oder Ratgeber in einer offenen Lernumgebung. Beispiele hierfür können Hypermedien, Simulationen und Modellbildungssysteme sein.

Schulmeister (1997) beschreibt drei konzeptionelle Ansätze die sich im Hinblick auf die Gestaltung und Funktionalität von Computerlernprogrammen im Sinne einer konstruktivistischen Umsetzung unterscheiden:

- Cognitive apprenticeship: Das Computerprogramm verhält sich gegenüber dem Lernenden wie ein virtueller, dynamisch adaptiver Berater, der dazu fähig ist Diagnosen auf Basis des Wissenstandes abzugeben (cognitiv analysis) und sich dem eingeschlagenen Lernweg des Lernenden anzupassen. Eine Umsetzung findet dieses Konzept z.B. in intelligenten tutoriellen Systemen (s.a. Reusser, 1993; Anderson et al., 1995).
- Knowledge communities: Das Lernen in und mit Informations- und Kommunikationsnetzwerken hebt die Kommunikation mit anderen Lernenden und das Handeln mit und in der Umwelt hervor (situiertes Lernen) (s.a. Teasley & Roschnelle, 1993).
- Cognitive tools: Diese Gruppe von Computerlernprogrammen dient dem Lernenden als Werkzeug für die Planung, Generierung und Reflexion von Vorstellungen und Konzepten. Die Lernwelt wird dabei aktiv durch den Lernenden modelliert. Dieses Konzept liegt Simulationsprogrammen und Mikrowelten zu Grunde und soll zu einem besseren Verständnis für komplexere, vernetzte Themeninhalte führen (s.a. Papert, 1980, 1987).

Derry und Lajoie (1993) weisen dem Begriff „cognitiv tool“ eine globalere Bedeutung zu und gebrauchen diesen im Sinne eines lernsteigernden Utensils bzw. Hilfsmittels. Innerhalb der Gruppe der „cognitive tools“ wird zusätzlich zwischen Modellbildungssystemen (z.B. Model-Based Intelligent Tutoring System, Koedinger & Anderson, 1993) und Nicht-Modellbildungssystemen (z.B. Tools for Sharing Knowledge, Teasley & Roschnelle, 1993; Hypermedia Systems, Yazdani, 1987; Lehrer, 1993) getrennt.

4.1.4 Zusammenfassung

Die Ausführungen haben deutlich gemacht, dass sich die verschiedenen lerntheoretischen Dogmen in vielen Punkten stark voneinander unterscheiden (vgl. auch Tab. 4-1, S.27).

Allerdings lassen sich nur die wenigsten Lernsoftwareprogramme direkt und eindeutig einer bestimmten lerntheoretischen Position zuordnen, da viele Programme in ihren Konzeptionen verschiedene lerntheoretische Ansätze miteinander kombinieren. Hinzu kommt, dass es vermutlich auch Programme gibt, die ohne lerntheoretische Überlegungen entwickelt worden sind.

Trotz der wenig flexiblen und wenig individuellen Lernmöglichkeiten von Programmen, die nach behavioristischen Konzeptionen entwickelt wurden, hat keine andere Vorstellung über Lernprozesse solch einen epochalen Einfluss auf Konzeptionen und Entwicklungen von Computerlernprogrammen gehabt. Ein Grund dafür liegt in der engen historischen Verknüpfung, weniger in der fehlenden Akzeptanz der anderen lernpsychologischen Modelle. Vielmehr sind es oft fehlende konzeptionelle Ideen und die unreflektierte Nutzung vorhandener Konzepte, die die Entwicklung solcher Programme begünstigen. Aktuelle Forschungsprojekte zeigen, dass die Nutzung schnellerer, leistungsfähiger Computer die Möglichkeiten zur Schaffung von intelligenten, adaptiven Lernsystemen zur Individualisierung des Lernprozesses vergrößert und damit zu einer zunehmenden Abkehr von behavioristischen Konzepten führt. Die allgemeinen Vorteile, die dem selbstgesteuerten Lernen aus

konstruktivistischer Sichtweise zugeschrieben werden, müssen jedoch im Kontext computerunterstützten Lernens relativiert werden, da die Lernumgebungen in der Regel vom „Autor arrangierte Lernsituationen“ (Euler, 1992, S.47) darstellen. Die Darstellung des Problems entspricht daher der Autorensicht. Bis zum Einsatz von „echten“ intelligenten Lernsystemen wird es vermutlich noch einige Zeit dauern.

| | Behaviorismus | Kognitivismus | Konstruktivismus |
|--------------------|------------------------------------|---|---|
| Das Gehirn ist ein | Passiver Behälter | Informationsverarbeitendes Gerät | Informellen geschlossenes Gerät |
| Wissen wird | abgelagert | verarbeitet | konstruiert |
| Wissen ist | Eine korrekte Input-Outputrelation | Ein adäquater interner Verarbeitungsprozess | Mit einer Situation operieren zu können |
| Lernziel | Richtige Antwort | Richtige Methode zur Antwort finden | Komplexe Situationen bewältigen |
| Paradigma | Stimulus-Response | Problemlösung | Konstruktion |
| Strategie | Lehren | Beobachten und helfen | Kooperieren |
| Lehrer ist | Autorität | Tutor | Coach |

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

4.2 Methoden computerbasierten Lernens

Computerlernprogramme lassen sich nicht nur nach lerntheoretischen Gesichtspunkten klassifizieren sondern auch nach methodischen. Beide Blickwinkel sind eng miteinander verknüpft. Zusätzlich wird die methodische, prozessorientierte Komponente jedoch von Faktoren wie der technische Machbarkeit oder der Kosten-Nutzen-Relation beeinflusst (Kammerl, 2000). Idealtypische Beispiel für einzelne Kategorien sind selten. Häufig werden Mischformen verschiedenster Konzepte innerhalb eines Programms verwendet.

Der folgende Abschnitt unterscheidet sechs Gruppen und ihre Abkömmlinge: Übungsprogramme, intelligente tutorielle Systeme, Hypermedia-Systeme, Simulationsprogramme, Autorensysteme und Office-Anwendungen.

4.2.1 Übungsprogramme/ programmiertes Lernen

Diese Form der Wissensvermittlung hat aus lerntheoretischer Sichtweise ihre Ursprünge im Behaviorismus und dient primär dem Einüben und Vertiefen von Wissen. Schon früh entstanden Lehrbücher, in denen die Grundprinzipien dieser Lehrtechnik, auch als programmiertes Lernen bezeichnet, für die Vermittlung von Wissen nutzbar gemacht wurden (s.a. Cram, 1966; Schiefele & Huber, 1969).

Auf Grund ihrer einfachen programmiertechnischen Umsetzung und des geringen Ressourcenbedarfs fand diese Form der Wissensvermittlung schnell Einzug in Computerlernprogramme. Es entstehen zu meist auffallend linear und einfach

konzipierte Programme. Die Arbeitsweise ist durch einen Weg vorgegeben, der abhängig von den Antworten des Lernenden, Schritt für Schritt durch ein bestimmtes Thema führt. Der Weg und die möglichen Antworten werden exakt vom Autor bzw. Programmierer festgelegt oder vorgegeben. Letztlich ersetzt das Programm nur das Lehrbuch bzw. dient, in „Drill-and-Practice“ Manier, dem Einüben eines bestimmten Inhalts. Ergänzt werden zusätzlich zum Lehrbuch nur Bild-, Ton- oder Videosequenzen. Die starre Konzeption ist dieselbe wie im Buch. Derartige Computerlernprogramme werden unterschiedlich benannt, als Übungsprogramme, im Hinblick auf die Handlungsziel, als programmiertes Lernen, im Hinblick auf die lerntheoretische Konzeption oder als „einfache“ tutorielle Programme, im Hinblick auf die unterweisende Funktion des Programms. Aufgrund des immer gleichen Schemas und der ständigen Wiederholungen wird das automatisierte Lernen mit Übungsprogrammen sehr schnell langweilig und uninteressant. Der Lernende bewegt sich in extrem engen Grenzen, in denen kein Platz für Individualität und Kreativität ist.

Dieses Konzepts war in den 70er und 80er Jahren weit verbreitet, wird aber auch heute noch in zahlreichen Programmen angewandt. Zu den Anwendungsmöglichkeiten im schulischen Bereich gehören beispielsweise Programme für das Erlernen von Vokabel, Grammatik, Geographie oder Mathematik. Auch in der industriellen Aus- und Weiterbildung sowie im Freizeitsektor finden sich zahlreiche Einsatzbeispiele, wie etwa Prüfungsvorbereitungskurse oder theoretische Fahrschulprüfungen.

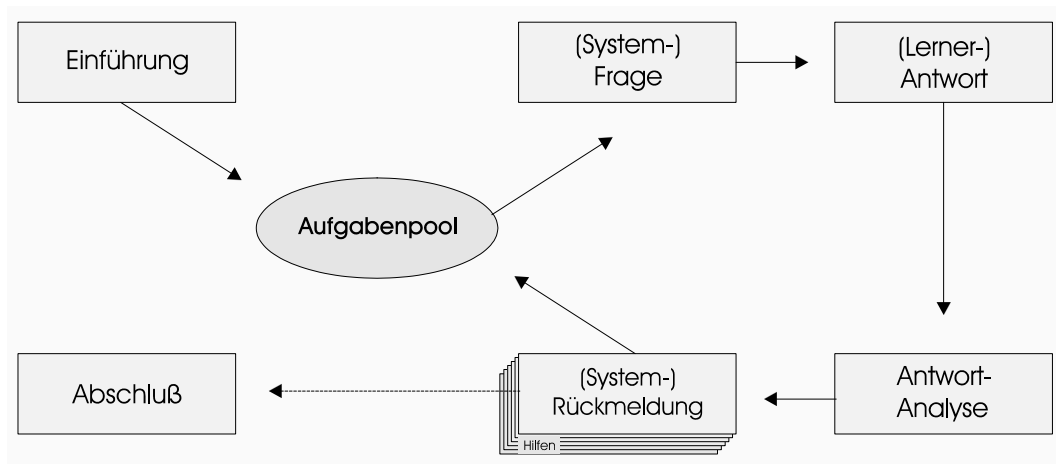


Abb. 4-1: Ablaufschema eines Übungsprogramms nach Euler (1992)

4.2.2 Adaptive tutorielle Systeme/ Intelligente tutorielle Systeme

Die zweite Gruppe der anzusprechenden Computerlernprogramme bilden die adaptiven tutoriellen bzw. intelligenten tutoriellen Lernsysteme.

Das Ziel vieler Wissenschaftler und Lernsoftwareentwickler ist es Lehrsysteme zu schaffen, die individuell mit dem Lerner interagieren und sich ihm anpassen. Intelligente tutorielle Systeme sollen im Idealfall individuelle Interventionen durchführen, eine Möglichkeit, die der Lehrer in größeren Gruppen wie dem Klassenverband nicht hat. Intelligente tutorielle Systeme, die dynamisches und autonomes Lernen fördern, müssen sich den Lernenden anpassen. Der Grad der Adaptivität eines Lernsystems hängt von verschiedenen Faktoren ab, die Leutner (1997, S.144) folgendermaßen darstellt:

- Instruktionsumfang und Lerndauer (d.h. Informationspräsentation und Training erfolgt, bis das gesetzte Ziel erreicht ist),
- Instruktionssequenz (Lernweg),
- Aufgaben-Präsentationszeit und Antwortzeitbegrenzung,
- Schwierigkeitsgrad der Aufgabe,
- Hilfe beim entdeckenden Lernen (d.h. Hinweis auf Informationen, die im gegebenen Kontext wichtig sind und vom Lernenden noch nicht wahrgenommen wurden),
- Hilfestellung zum Umgang mit dem System (kontextsensitive Hilfe),
- flexible Form der Definitionen (d.h. diese bauen nur auf bereits vorher gelernten Begriffen auf) oder Angebot an Links in einem Hypermedia-System (in Abhängigkeit vom festgestellten augenblicklichen Interessenprofil des Nutzers).

Eine weitere wichtige Eigenschaft solcher Systeme ist die Fähigkeit, Diagnosen auf Basis des Wissensstandes des Lernenden durchzuführen (cognitiv analysis) und eingeschlagene Lernwege des Lernenden zu analysieren (learning path analysis), um dadurch eine passende Interaktion mit dem Lernenden zu gewährleisten. Algorithmen und Programmvorschriften, die von Lernsoftwareentwicklern genutzt werden, um intelligente und adaptive Systeme zu schaffen, basieren häufig auf den Erkenntnissen und Theorien der künstlichen Intelligenz, wie z.B. der Forschung über neuronale Netzwerke.

Der Prozess des Lernens ist ein extrem komplexer, nichtlinearer Vorgang, dessen Vorhersagbarkeit von den individuellen kognitiven Strukturen des Lernenden abhängig ist. Der Nutzen eines intelligenten tutoriellen Systems hängt im besonderen Maße von den Fähigkeiten des Programms ab Vorwissen, Konzepte und Fähigkeiten eines Lernenden zu diagnostizieren und den individuellen Dialog als Ersatz für den Lehrer aufzubauen. Solche Fähigkeiten sind bis dato mit Computerprogrammen noch nicht erreichbar. Eine „echte“ Interaktion, wie sie beispielsweise zwischen einem Lehrer und einem Schüler stattfindet, gibt es zwischen Computersystem und Lernenden noch nicht.

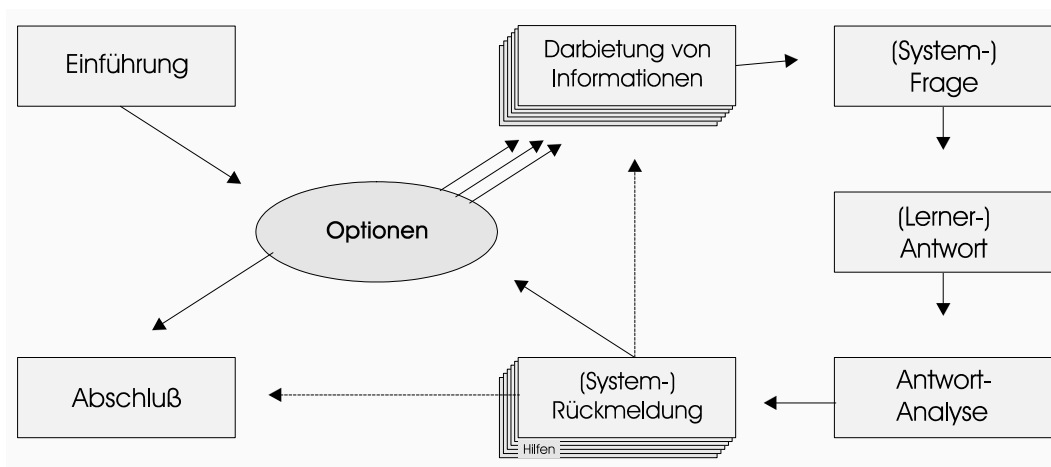


Abb. 4-2: Ablaufschema eines tutoriellen Programm nach Euler (1992).

Letztlich stellt sich die grundsätzliche Frage, ob mit den heutigen Computersystemen und der Reduzierung jeder Rechenoperation auf eine binäre Basis jemals die Komplexität des menschlichen Denkens und Handelns abgebildet werden kann. Auch wenn die prinzipielle Überlegung, jedem Lernenden einen „persönlichen“, auf die individuellen Strukturen angepassten „Lehrer“ zur Seite zu stellen, ein attraktiver Gedanke ist.

4.2.3 *Computersimulationen und Mikrowelten*

Die dritte Gruppe von Computerprogrammen unterscheidet sich von den bisherigen Lernsystemen dadurch, dass der Rahmen, in dem sich der Lernende bewegt, viel offener ist und die Rahmenbedingungen stärker zum explorativen, interaktiven und handlungsorientierten Lernen anregen.

Definitiv impliziert der Begriff Simulation ein intentionales Arbeiten mit dynamischen Modellen, die im Falle einer computerunterstützten Simulation immer mathematische oder formal-logische Modelle sind und in Form von Algorithmen einem Rechensystem zugrunde liegen (s.a. Wedekind, 1981; Walser & Wedekind, 1991; Schulmeister, 1997; Kammerl, 2000; Sacher, 2000).

Computersimulationsprogramme bieten dem Nutzer die Möglichkeit, durch aktives Verändern bestehender Systemparameter das zugrundeliegende Basismodell zu manipulieren und die daraus resultierenden Ergebnisse zu analysieren und zu interpretieren, also Erkenntnisse über die zugrunde liegenden Modelle zu gewinnen. Ein wesentliches Merkmal bei der Interpretation der erhaltenen Ergebnisse bildet die genaue Reflexion, also die Analyse der Simulation und damit auch des zugrundeliegenden Modells. Hieraus resultiert die große Bedeutung von Simulationen als wichtiges methodisches Element für die Vermittlung im schulischen sowie außerschulischen Kontext.

Es muss jedoch beachtet werden, dass Simulationen auf Grund ihrer vernetzten Struktur häufig zu komplex sind, um allein durch die Lernenden bewältigt zu werden. Lerneffekte treten nur dann auf, wenn Schülerinnen und Schülern die Nutzung bzw. Demonstration der Simulation durch die Lehrperson nachvollziehen können (Leutner, 1990). Abhilfe könnten in diesem Fall adaptierbare Inhalte oder Ergänzungen durch tutorielle Elemente schaffen.

Euler (1992) unterteilt Computersimulationsprogramme nach ihren Funktionen:

- *Entscheidungssimulationen* stellen Modelle als Abbilder realer oder fiktiver Systeme zur Verfügung, die parametergebunden durch den Lernenden manipuliert werden können. Hierzu gehören physikalische Objekte (z.B. Flugzeug-Cockpit) und sozial-kommunikative Handlungssysteme (z.B. Unternehmen, Gesellschaften).
- *Verhaltenssimulationen* dienen dem Vermitteln, Analysieren und Reflektieren von sozial-kommunikativem Handeln. In diese Kategorie gehören Programme zum Bewerbungstraining, Schulungen für Schalterpersonal usw.
- *Anwendungssimulationen* imitieren reale, meist technische Systeme und dienen dem Einüben von Handlungsmustern ohne mit dem System selbst in direkte Berührung zu kommen.

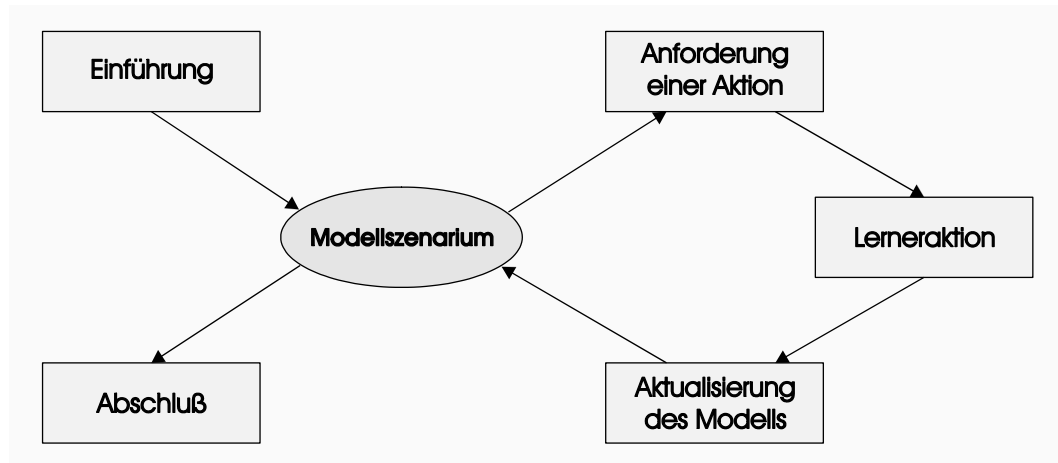


Abb. 4-3: Ablaufschema eines Computersimulationsprogramm nach Euler (1992)

Neben Simulationen spielen Mikrowelten im Rahmen von manipulativen Modellwelten eine wichtige Rolle. Der Begriff Mikrowelt geht auf Minsky und Papert zurück, die tutorielle Systeme und Simulationsumgebungen in ihren methodischen Funktionen für zu eingeschränkt halten und mit Mikrowelten eine offene Lernumgebung schaffen wollen (Lawler, 1987).

Es gibt nur wenige Ansätze, die einen offenen und intuitiven Zugang zu Problemen über programmierbare Lernwelten ermöglichen. Ein Beispiel hierfür ist das von Papert (1980, 1987, 1994) entwickelte LOGO-System, mit dessen Hilfe mathematische Zusammenhänge beschrieben werden können. Für Papert stellt diese Umgebung einen „natürlichen“ Lernraum dar, der für Anfänger und Experten gleichermaßen nutzbar ist.

Während in Simulationen lediglich mit dem zu Grunde liegenden Modell gearbeitet werden kann, schaffen Mikrowelten eine Umgebung, in der eigene Modelle entwickelt oder vorhandene Modelle manipuliert werden können (Baumgartner & Payr, 1999). Damit ermöglichen Mikrowelten eine größere Autonomie des Benutzers, besitzen aber einen höheren Abstraktions- und Komplexitätsgrad, da nicht nur die innerhalb des Modells relevanten Parameter veränderbar sind, sondern auch das ganze Modell in Frage gestellt werden kann.

4.2.4 *Hypermedia-Systeme*

Hypermedia oder Hypertext hat sich in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts zu einem Begriff entwickelt, der für viele Menschen in einem engen Zusammenhang mit dem World Wide Web steht. Hier werden Texte und multimediale Daten durch Hyperlinks lokal und global miteinander verknüpft. Die Idee Daten netzartig miteinander zu verknüpfen entstand aber nicht erst Ende der 80er Jahre, zur Zeit der Entwicklung des World Wide Webs, sondern reicht bis in die 40er Jahre des letzten Jahrhunderts zurück. Vannevar Bush, wissenschaftlicher Berater von Präsident Roosevelt in den USA, hatte die Idee, eine Datenbank aufzubauen, die den netzartigen Strukturen des menschlichen Gehirns entspricht. Der Begriff Hypertext entstand aber erst Mitte der 60er Jahre, als Ted Nelson den Begriff benutzte, um damit eine netzartig organisierte Datenstruktur zu beschreiben. Eine erste, von Apple entwickelte Anwendung nutzte dieses Prinzip, um Inhalte karteikartenartig aufzunehmen und aufeinander bezogene Inhalte über Querverweise (Links) miteinander zu verknüpfen

(Kleinschroth, 1996). Neben Hypertext-Systemen werden insbesondere für den Lernbereich auch Hypermedia-Systeme eingesetzt, die ergänzend Bilder, Audio-Video-Dateien, Animationen usw. enthalten.

Als Vorteil gegenüber herkömmlichen Medien wird vor allem die Möglichkeit des explorativen, automomen Lernens genannt. Der Benutzer kann aus einem großen Informationspool die für ihn relevanten Informationen selbst auswählen und erschließen. Der Lernende kann auf Grund der offenen netzartigen Struktur seinen Lernweg eigenständig bestimmen, additive Informationen abrufen oder bei Bedarf den Lernweg verkürzen. Die netzartige Darstellung von Informationen in Hypermedia-Systemen entspricht zudem der Auffassung der Kognitionswissenschaft von einer netzartigen Wissensrepräsentation im Gedächtnis.

Die Nachteile zeigen sich vor allem dann, wenn der Lernende mit der Informationsdichte überfordert ist und im Hypermedia-System die Übersicht verliert, ein Effekt der auch als „Lost in Hyperspace“ bezeichnet wird. Kleinschroth (1996) weist darauf hin, dass die Navigation in Hypermedia-Systemen auch als ein rein assoziativer Vorgang ohne intellektuellen Anspruch betrachtet werden kann. Kleinschroth (1996) weist auf zwei Effekte hin, die besonders bei unerfahrenen Lernenden schnell auftreten können:

- Verlust der Differenzierungsfähigkeit („Museumseffekt“): Auf Grund der Informationsflut verliert der Lernende die Fähigkeit zwischen einzelnen Informationseinheiten zu unterscheiden.
- Verlust der Zielsetzung („Hänsel-und-Gretel-Effekt“): Auf Grund vieler Querverweise verliert der Lernende den Fokus für Richtung- und Zielsetzung.

Konkrete Anwendungsbeispiele für Hypermedia-Systeme finden sich bei Multimedia-Lexika, Internet-Lernangeboten u.a.

4.2.5 Autorensysteme und Programmierwerkzeuge

Autorensysteme und Programmierwerkzeuge bilden durch ihre strukturellen Möglichkeiten zur Erstellung eigener Lernumgebungen und Lernhilfen die Basis aller bisher beschriebenen Programmkategorien.

Ihre methodische Funktion im unterrichtlichen Kontext entsteht aus Lernsituationen, in denen es sinnvoll ist, den Schülern einen grenzenlosen Freiraum zu bieten um eigenständig oder mit Unterstützung des Fachlehrers oder anderen Experten individuelle Lernwerkzeuge und -hilfen zu entwickeln. Hierzu gehört das Integrieren gewonnener Modellerkenntnisse durch eigene Simulationen, das vereinen gesammelte Ergebnisse und Erkenntnisse in Hypermedia-Systemen oder Entwicklung eigener tutorieller Lernsysteme, die andere Gruppen beim Lernen unterstützen.

Der große Nachteil solcher Systeme liegt im benötigten Vorwissen über die zu verwendenden Entwicklungswerkzeuge. Es kann jedoch berechtigt angenommen werden, dass bei eingearbeiteten Benutzern Erkenntnisprozesse und Problemlöseverständnis durch die intensive und substantielle Beschäftigung mit den Lerninhalten verstärkt werden.

4.2.6 Office-Anwendungsprogramme

Die letzte Gruppe von Programmen, die auf den ersten Blick keine ausgewiesenen Lernwerkzeuge sind, aber aus methodischer Sicht durchaus ihren Platz im computerunterstützten Unterricht haben können, lassen sich unter dem Begriff „Office-Programme“ zusammenfassen. In diese Kategorie gehören Programme, die im täglichen Arbeitsalltag genutzt werden, wie z.B. Textverarbeitungsprogramme, Tabellenkalkulationsprogramme oder Grafik- und Präsentationsprogramme. Diese Programme können im Unterricht zum Zwecke der Datenerfassung, Datenauswertung oder Datenpräsentation eingesetzt werden und sind daher aus methodischer Sicht nützliche Werkzeuge. Als positiver Nebeneffekt findet ein Kontakt mit Programmen statt, die für die Schüler im späteren Berufsleben relevant sind.

4.2.7 Zusammenfassung

Das Spektrum im Unterricht einsetzbarer Computerprogramme ist enorm groß. Neben einer Reihe von idealisierten Formen gibt es eine große Anzahl von kombinierten Ansätzen, die Elemente verschiedener Programme miteinander vereinen. Selbst Computerspiele werden von einigen Autoren als nutzbare Werkzeuge für den Unterricht betrachtet (Setzer, 1992; Kammerl, 2000). Der Begriff „Edutainment“ (zusammengesetzt aus Education und Entertainment) fasst Programme zusammen, die versuchen Unterhaltung und Bildung miteinander zu verknüpfen (Kammerl, 2000). Aus dem Bereich der Simulations- und Strategiespiele sind eine Reihe von Programmen bekannt, die das Ziel haben, das taktische, logische, ökonomische und vernetzte Denken zu fördern. Die Diskussion über den Bildungswert und den Nutzen von Computerspielen wird jedoch kontrovers geführt.

4.3 Computereinsatz in der Schule

Der Weg unserer Gesellschaft in das Informationszeitalter führt zu einer verstärkten Forderung nach einer Nutzung des Computers in der Schule. Verschiedenste Förderprojekte (z.B. BMBF- Vorhaben zur Entwicklung und zum Einsatz von Lehr- und Lernsoftware in Schulen, Initiative – Schulen ans Netz, Modellvorhaben wie BIG, MeKoLA u.a.), die im Laufe der letzten Jahre initiiert wurden, weisen darauf hin, welche Bedeutung die Politik und die Wirtschaft den „neuen Medien“ messen. Alle Projekte haben das Ziel das Lehren und Lernen mit Informationstechnologien zu fördern, eine verstärkte Wahrnehmung von Bildungsaufgaben im Bereich von Medien und Informationstechnologien zu erreichen und medienpädagogische Konzepte für die Schule zu entwickeln (Tulodziecki, 2000). Damit verbunden sind beträchtliche Anstrengungen Computer-, Netz- und Internet-Ausstattungen an Schulen auf- und auszubauen.

Die Zielsetzung dieser Projekte orientiert sich an dem Bildungsauftrag der Schule und stellt die Förderung von Medienkompetenz und medienpädagogischer Kompetenz in den Vordergrund. Hierbei geht es um Kenntnisse und Urteilsfähigkeit zu Einflüssen und Wirkungen der Medien, zu ökonomischen und gesellschaftlichen Bedingungen von Medienprodukten. Das Nachdenken über strukturelle und methodische Konzepte, zur Integration des Computers in den Unterricht und zur Rolle von Lehrerinnen und Lehrer

rückt dabei meistens in den Hintergrund. Ergebnisse einer Bertelsmann-Studie¹, nach der erst jeder fünfte Lehrer einmal im Internet war, verweisen auf das grundlegende Problem dieser Diskussion. Es gibt in diesem Bereich nur Einzelaktivitäten und vereinzelte Unterrichtsvorschläge zu bestimmten Programmen², aber keine übergeordneten Konzepte.

Untersuchungen zum Vergleich von computerunterstützten Unterricht und konventionellem Unterricht führen zu teilweise sehr unterschiedlichen Ergebnissen. 1991 veröffentlichten Kulik und Kulik eine Meta-Analyse zum Effekt von computerunterstütztem Lernen, in der 248 Untersuchungen zusammengefasst wurden. 202 (81%) der untersuchten Studien weisen einen besseren Lernerfolg im Zusammenhang mit computerunterstützten Lernarrangements auf, 46 (19%) im Zusammenhang mit konventionellen. Jedoch zeigen überhaupt nur 100 der 248 untersuchten Studien ein signifikantes Ergebnis, 94 davon zugunsten des computerunterstützten Lernens. Ob diese Ergebnisse jedoch wirklich durch den Einsatz des Computers bewirkt werden ist fraglich. Wie in jedem Unterricht spielen auch hier Lehrerinnen und Lehrer, der Lernkontext sowie die Inhalte eine maßgebliche Rolle.

Gerade in den Anfängen des computerunterstützten Lernens hatten viele Wissenschaftler das Ziel, den Computer zu einem Lehrsystem auszubauen, dessen Fähigkeiten denen eines Menschen ähnlich oder überlegen sind. Die frühen Versuche von Sidney L. Pressey, der schon in den 20er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts Maschinen für Intelligenz- und Wissenstests erfand, zählen ebenso zu diesen Versuchen, wie die heutigen Forschungen zu intelligenten tutoriellen Systemen (Koedinger & Anderson, 1993). Aspekte dieser Entwicklungen liegen in der Individualisierung des Lernprozesses, in der Reduktion der kommunikativen Komponente und den Wechselbeziehungen zwischen Computer bzw. Lehrmaschinen und den Lernenden. Es zeigt sich jedoch, dass gerade bei vielschichtigen, komplexen Inhalten, der Verlust der sozialen, kommunikativen Komponente, die im Unterricht durch vielfältige Lehrer-Schüler und Schüler-Schüler-Relationen repräsentiert wird, durch „intelligente“ Informationsverarbeitung, z.B. durch dialog-basierte diagnostische Module, nicht kompensiert werden kann.

Lehrerreduzierte, computerunterstützte Lehrformen stehen heute vorwiegend beim betrieblichen und außerschulischen Lernen im Vordergrund. Für die Schuler wird weniger der Ersatz von Lehrpersonen durch Computer diskutiert (Kerres, 2000), vielmehr eine Reihe von Ansätzen, die im Bereich von netzbasierter Kommunikation zu einer Reduktion direkter, „face-to-face“ Kommunikation führen. Diese Reduktion wird durch die Nutzung des Computers als synchrones und asynchrones Übermittlungssystem für den Unterricht kompensiert. Damit bleibt die bedeutende Funktion von Lehrerinnen und Lehrern auch im computerunterstützten Unterricht erhalten. Daher sollte der computerunterstützte Unterricht nicht als ein Gegensatz zum konventionellen betrachtet werden, sondern als eine zusätzliche Variation unter Zuhilfenahme eines interaktiven und multimedialen Mediums.

Die Verknüpfung medialer Angebote und die Verbindung konventioneller Unterrichtselemente mit computerunterstützten Lernphasen führt zur Entstehung „gemischter“ oder

¹ http://www.teachsnews.net/newsletter/000101_07.htm – 13.01.2000

² <http://encarta.msn.com/schollhouse> - 29.03.2000

hybrider Lernarrangements (Kerres, 2000), in denen personale wie nicht-personale Informationsträger lernunterstützend kooperieren. Die multimediale Informationsdarstellung, die Interaktivität sowie die mit Computern verbundenen motivationalen Vorteile und die Individualisierung der Lehr- und Lernprozesse sind die Hauptargumente für einen Einsatz von Computern im Unterricht.

Die Vorteile, die dem Computer auf motivationaler Ebene zugesprochen werden können temporäre Effekte sein und durch die Aktualität und Beliebtheit des Mediums (Kulik & Kulik, 1991), die Neuartigkeit der Präsentation von Materialien (Clark & Salomon, 1986) und einem spielerischen Moment in der Handhabung (Malone, 1981) erklärt werden können. Die Vorteile der multimedialen Informationsdarstellung, im Sinne einer multimodalen und multicodalen Informationsunterbreitung, sind vor allem dann nachweisbar, wenn eine Überlastung der Sinne durch die Aufteilung des Informationsangebots auf unterschiedliche Sinnesmodalitäten und unterschiedliche Codierungen vermieden wird (Engelkamp & Zimmermann, 1990). Nachteilig ist die gleichzeitige Präsentation von verschieden kodierter Informationen, da der Nutzer nur eine begrenzte Aufmerksamkeit besitzt („split-attention-effect“, Weidenmann, 1997).

Interaktivität steht im Rahmen computerunterstützten Lernens für die Einbeziehung des Lernenden in die medial vermittelten Informations-, Kommunikations- und Lernprozesse (Baumgartner & Payr, 1999). Reduziert sich die Interaktion auf das Reagieren des Computerprogramms auf Benutzereingaben, vielleicht sogar einen stark linearisierten Programmablauf, so verschwindet der Vorteil des Computers gegenüber anderen Medien wie Buch oder Video.

Der Gesichtspunkt der Individualisierung von Lehr- und Lernprozessen ist ein schwer prüfbarer Aspekt, da jeder Lernprozess eines Menschen ein individueller Vorgang ist. Zudem sind die computerunterstützten Lernprozesse häufig gar nicht so individuell, da auf Grund der fügbaren Anzahl der Computer in einem Klassenraum sich mehrere Schülerinnen und Schüler einen Computer teilen müssen. Es entstehen dabei eher Gruppenlernprozesse, in denen vor allem die Kommunikation und damit das individuelle Wissen im Verhältnis zu dem in der Gruppe geteilten Wissen eine Rolle spielen, und aus denen sich die zu beobachtenden Handlungsprozesse bzw. Vorgehensweisen am Computer ableiten. Individualisiertes Lernen setzt voraus, dass der Lernende sein Lerntempo selbst bestimmt. Dieser Gedanke führt damit wieder zu intelligenten tutoriellen Systemen oder Lehrmaschinen, also Elementen, die als Lehrperson reduzierend angesehen werden können, in Wirklichkeit aber eine intensive individuelle Unterstützung durch die Lehrperson erfordert. Die dargestellten Aspekte, die häufig als Vorteile eines computerunterstützten Unterrichts angeführt werden, zeigen deutlich, dass ein Computer kein Allheilmittel, sondern ein Werkzeug, welches wie jedes andere Medium auch, mit einer bestimmten Funktion benutzt werden muss. Dabei sollte die explorative, handlungsorientierte und selbstgesteuerte Erarbeitung von Inhalten im Sinne eines proaktiven Lernens (Weidenmann & Krapp, 1993) im Vordergrund stehen. Gleichzeitig können aber auch instruktionelle Methoden den Lernenden Informationen liefern, die zur Aktivierung, Vertiefung und Bereitstellung von Inhalten beitragen und so kognitive Prozesse, die wichtig für das Erreichen des Lernziels sind, fördern (Clark, 1994). Die von Computerprogrammen unterstützten Lernformen sind eine Gradwanderung zwischen instruktionellen und konstruktivistischen Ansätzen, zwischen reaktivem und proaktivem Lernen. Je höher

der instruktionelle Anteil eines Computerprogramms ist, desto weniger beeinflusst das Medium den Lernprozess (Clark, 1983, 1994), desto bedeutender ist aber auch der Kontext in dem das jeweilige Programm im Unterricht eingebunden wird und die Lehrperson.

5 Computersimulationen dynamischer Systeme

5.1 Modellbegriff

In der Literatur finden sich eine Reihe von Definitionen für den Modellbegriff. Eine häufig zitierte Begriffsbestimmung stammt von Wedekind (1981, S.42), der Modelle wie folgt umschreibt:

"Ein Abbild eines Objekts ist dann ein Modell, wenn es ein Subjekt gibt, das dieses Abbild zu bestimmten Zwecken als Stellvertreter für das Objekt verwendet, und wenn vom modellauswählenden oder modellkonstruierenden Subjekt festgelegt ist, welche Eigenschaften des Objekts mit welchen Beschreibungsmitteln wiedergegeben werden“.

In der dargestellten Begriffsdefinition werden fünf wesentliche Merkmalsbereiche von Modellen zusammengefasst, die die Schritte vom betrachteten Objekt zum Modell kennzeichnen: das Abbildungsmerkmal, das Reduktionsmerkmal, das Allgemeingültigkeitsmerkmal, das Ersetzungsmerkmal und das Subjektivitätsmerkmal. Das Maß für die „Qualität“ eines Modells besteht in der Vorhersagbarkeit eines aus der Realität abgeleiteten Zustands, das durch die einzelnen Merkmalsbereiche bestimmt wird.

Von den dargestellten Modellkriterien besitzt das Subjektivitätsmerkmal eine besondere Bedeutung, da es nicht nur für das Verständnis der Entwicklung von Modellen wichtig ist (Thiagarajan, 1998), sondern auch die Abgrenzung zu den Begriffen Theorie und Hypothese darstellt, denen dieses Kriterium fehlt (Wedekind, 1981, S.45). Hypothesen sind danach Zwischenstufen im Erkenntnisprozess, die sich bei Bestätigung zu Theorien entwickeln und damit allgemeingültige Aussagen zu bestimmten Realitätsbereichen zu lassen. Im Unterschied dazu ist eine wesentliche Funktion von Modellen die subjektive Reflexion über den Realitätszustand. Modelle dienen damit vor allem der Erkenntnisgewinnung und der Erkenntnisvermittlung. Als Vermittler im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess haben Modelle daher einen festen Platz im Unterricht.

Entsprechend der Definition können nach Art der Abbildung verschiedene Modelltypen unterschieden werden. Im klassischen Sinn wird zwischen materiellen und ideellen (Wedekind, 1981; Lutz, 1997) oder physischen bzw. formal-logischen und mathematischen (Del Re, 2000) Modellen unterschieden. Auf Basis der Klassifizierung von wirklichen und imaginären Modellen leitet Lutz (1997, S.64) sechs für den Chemieunterricht wichtige Modellgruppen ab, die als Strukturmodelle, Funktionsmodelle, ikonische Modelle, symbolische Modelle, mathematisch-logische Modelle und als Gruppe der Modellsubstanzen und –experimente beschrieben werden können.

Eine andere Einteilung findet sich bei Goldkuhle (1997), der Modelle nach ihren deskriptiven Absichten in Entscheidungs-, Erklärungs- und Beschreibungsmodelle unterteilt:

- *Entscheidungsmodelle*, legen durch die Realitätsabbildung die Basis für künftige Verhaltensmuster.

- *Erklärungsmodelle* dienen der Erkenntnisgewinnung auf der Basis des Realitätsbereiches.
- *Beschreibungsmodelle* dienen der Veranschaulichung eines bestimmten Realitätsbereiches.

5.2 Modellentwicklung (Modellkonstruktion und –validierung)

Die Entwicklung eines Modells verläuft in mehreren zyklischen Phasen, vom Original über Abbildung, Reduktion und Idealisierung durch ein Subjekt bis zum Zielmodell (Abb. 5-1). Den Ausgangspunkt bildet die Formulierung bzw. die Erfassung eines Problems mit dem Ziel dieses zu lösen. Bei naturwissenschaftlichen Modellbildungsprozessen liegt in der Regel der Ausgangspunkt in Überlegungen zur Phänomenebene. Hier steht die Beschreibung und die Gewinnung von Erkenntnissen über Aufbau und Verhalten des Systems im Vordergrund.

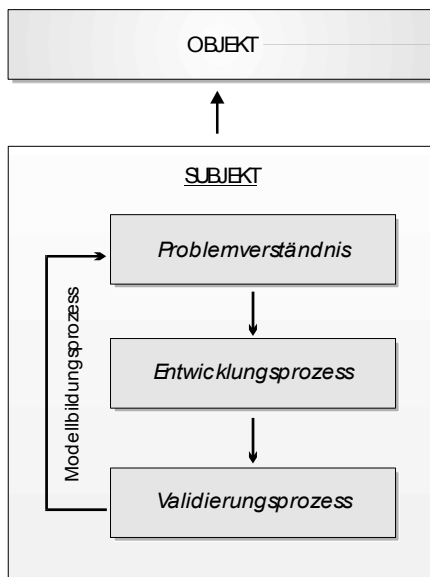


Abb. 5-1: Schematische Darstellung des Modellbildungsprozesses.

Für die Problemformulierung ist nach Wedekind (1981) zunächst die Systemanalyse des Objekts obligatorisch. Diese führt zur Beschreibung von Grenzen, Elementen und ihren Relationen und beinhaltet die schrittweise Reduktion des Realitätsbereichs zum Modellobjekt. In diesem Sinne entsteht ein konzeptionelles Modell, welches zunächst rein gedanklich die Ansicht des Subjekts reflektiert. Die Konkretisierung dieser Gedanken, d.h. die durch die Systemanalyse dargelegten Zusammenhänge z.B. in Form von Texten, Diagrammen oder mathematischen Gleichungen, führt zur Entwicklung bzw. Konstruktion eines Modells. In einem weiteren Schritt kann dann aus dem Modellsystem durch Algorithmen die Implementierung als Computerprogramm erfolgen. Durch die Veränderung von Systemparametern können mit diesem Programm verschiedenste Modellzustände erzeugt werden (Kapitel 5.3: Computersimulation, S.39).

Ein wichtiger Schritt jeder Modellentwicklung ist die Überprüfung oder Validierung der Funktionen des Modells in Relation zum abgebildeten Objekt. In diesem Sinne ist die Prüfung der Vergleichbarkeit von Objekt und Modell ein wichtiges Kriterium für die Qualität des Modells. Zur Validitätsprüfung gehört die Prüfung der korrekten Erfassung von Systemobjekten, -attributen und –beziehungen ebenso wie die Ermittlung der Modellgrenzen.

Bei Modellen, die durch eine Übertragung von Modelleigenschaften auf Algorithmen in Form von Computersimulationen abgebildet werden, gehört dazu die Validierung der korrekten Abbildung des Modellobjekts auf das Computer-Modell. Durch systematische Programmtests wird dabei die korrekte Implementierung des zu Grunde liegenden Modells überprüft.

Das Wechselspiel bzw. der „alternierende Prozess“ zwischen Modellkonstruktion und Modellvalidierung ist der entscheidende Vorgang bei der Modellentwicklung. Mit jedem Vergleich rückt das Modell innerhalb seiner Grenzen ein Stück näher an das Objekt heran. Dieser Prozess fördert die Erkenntnis und das Verständnis des abgebildeten Objekts in entscheidender Weise.

Die aktive Nutzung von Verfahren zur Modellkonstruktion und –validierung bilden damit neben der reinen Anwendung von vorhandenen Modellen einen bedeutenden Aspekt für die Erkenntnisgewinnung und für den Modellverständnisprozess.

5.3 Computersimulation

Simulationen können nach verschiedenen Kriterien klassifiziert werden, z.B. nach der Durchführungsform, dem Formalisierungsgrad oder dem Systemtyp (Wedekind, 1981).

Auf der Basis einer Durchfühungsklassifizierung lassen sich z.B. Computersimulation, Planspiele, Gedankenexperimente usw. unterscheiden. Im folgenden wird lediglich auf Computersimulationen eingegangen, alle anderen möglichen Varianten von Simulationen sind an dieser Stelle nicht von Interesse.

Eine Computersimulation dient dem zielgerichteten, handlungsorientierten Umgang mit einem Modell. Sie entsteht durch die Übertragung eines mathematisch oder formal-logischen Modells in eine Programmiersprache, d.h. in Algorithmen. Eine Simulation unterstützt die Abstraktion des realen Objekts, in der der Lernende durch die Variation von vorgegebenen Parametern Einfluss auf mögliche Systemzustände und dynamische Entwicklungen nehmen kann. Dabei sind alle Ergebnisse reproduzierbar. Die aus der durchgeführten Simulation erhaltenen Ergebnisse erlauben in gewissen Grenzen Rückschlüsse auf das ursprüngliche System. Damit wird die heuristische Funktion von Simulationen herausgehoben, die die Durchdringung des Systems und damit das Verständnis der Modellzusammenhänge fördert (Wedekind, 1981, S.68).

Computersimulationsprogramme unterstützen nicht nur den Erkenntnisprozess im Umgang mit Modellen, sondern auch die Begriffs- und Faktenvermittlung, die Vermittlung von Fertigkeiten (Walser & Wedekind, 1991) und die Förderung der Motivation sowie die Zielstrebigkeit des Arbeitens und Denkens (Klein & Doran, 1999; Sacher, 2000).

Eine Computersimulation setzt sich aus Objekten mit bestimmten Eigenschaften oder Attributen, die auch als Entitäten bezeichnet werden, zusammen. Alle Objekte zusammen gestalten durch ihre Wechselwirkung zueinander das Simulationssystem. Entitäten sind charakterisiert durch die aktuelle Belegung ihrer Attribute und Transformationsregeln im Bezug auf das Simulationssystem. Die Eigenschaften eines Simulationsobjekts unterliegen während des Simulationsprozesses dynamischen Veränderungen. Beispielsweise verändert sich die Eigenschaft „Geschwindigkeit“ eines Objekts, etwa eines Teilchen einer Teilchenmodellsimulation, während des Simulationsprozesses durch die Kollision mit anderen Teilchen. Daher ist die zeitlich-dynamische Komponente ein wichtiges Kriterium bei vielen Simulationen.

Wie schon angedeutet setzt eine Simulation die Systemerfassung und Modellbildung voraus, allerdings kann diese selbst auch eine wichtige Rolle innerhalb des Modellvalidierungsprozesses einnehmen. Durch die Simulation verschiedener Zustände

können Grenzen beschrieben sowie Elemente und Relationen im Vergleich zum abgebildeten Realitätsbereich geprüft werden. Durch die Visualisierungs- und erweiterte Ausgabemöglichkeiten unter gleichzeitiger interaktiver Einflussnahme auf das System stellt eine Simulation ein effektives Hilfsmittel beim Modellbildungsprozess dar.

Neben dem Validierungsprozess kann ein durch Konstruktionsfunktionen erweitertes Computersimulationsprogramm auch zur individuellen Modellentwicklung beitragen (siehe Abb. 5-2). Mit dem Konstruktionsprozess liefert das Programm dem Nutzer schon während der Entwicklung ein ständiges Feedback über die Struktur des Systems. Durch die handlungsorientierte, dynamische Auseinandersetzung mit dem Modellobjekt entsteht ein tieferes Verständnis für das Modell. Das interaktive Agieren mit dem Programm macht die Konsequenzen von Modellannahmen und Modellentwicklung erfassbar. Die Funktion des Programms liegt indes nicht nur in der Vermittlung zwischen ikonischer Repräsentation und abstrakt-symbolischer Stufe (Sacher, 2000, S.163), sondern auch in der erzwungenen Auseinandersetzung mit dem Modell. Hierdurch wird der Lernende in die Lage versetzt, eine adäquate Repräsentation des Modellobjekts zu entwickeln. Jeder Lernende besitzt die Möglichkeit, Modelle nach eigenen Vorstellungen und Annahmen zu entwickeln. Solche Modelle sind damit das Ergebnis eines subjektiven Verarbeitungsprozesses und nicht ein Gruppenresultat, wodurch der anfangs dargestellte Subjektivitätsaspekt von Modelle unterstrichen wird. Jedoch bleibt zu berücksichtigen, dass nicht allein durch die Erfahrung mit dem System gelernt wird, sondern durch die nachträgliche Reflexion im Rahmen des Unterrichts

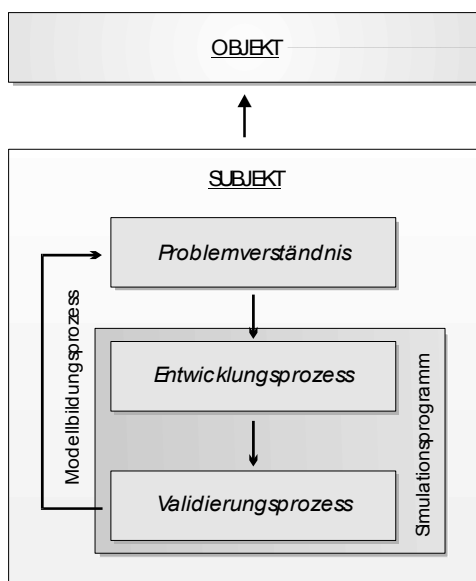


Abb. 5-2: Schematische Darstellung des Modellbildungsprozesses mit Simulationsprogramm.

(Thiagarajan, 1998). Hierbei bedarf es der Intervention der Lehrperson, da häufig Schülerinnen und Schüler nicht wissen, worauf sie ihre Aufmerksamkeit während der Simulation bzw. bei der Reflexion der Ergebnisse lenken sollen, wie Lewis et al. (1993) in einer Untersuchung zur Nutzung von Computersimulationen im Unterricht erkannten.

Besitzen Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit ihre Modellvorstellung zu visualisieren, bekommen die Lehrpersonen einen unvermittelten Einblick in die Vorstellungen der Lernenden. Die Nutzung eines solchen „konstruktiven“ Computersimulationsprogramms bietet damit die Möglichkeit der ständigen Kontrolle des Entwicklungsprozesses und der Vergleichbarkeit mit anderen Konstrukten.

Die Realisierung eigener Vorstellungen setzt das Vorhandensein passender Arbeitsmittel voraus, also von Simulationsprogrammen, die eine breite Palette an Konstruktionswerkzeugen zur Verfügung stellen. Je größer die Anzahl der Funktionen ist desto individueller sind die Ergebnisse. Die Komplexität eines solch umfangreichen Systems kann jedoch auch eine lernfördernde Wirkung verhindern und Schülerinnen und Schüler abschrecken. Nußbaum und Leutner (1986)

konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass der Lernprozess beim Arbeiten mit Computersimulationsprogrammen von der Komplexität des Systems, d.h. von der Anzahl der betrachteten Variablen, abhängig ist. Daher sollte ein „konstruktives“ Simulationsprogramm eine möglichst einfache und übersichtlich gestaltete Oberfläche besitzen und an das Schwierigkeitsniveau des Unterrichts angepasst werden können.

Die Wahl einer passenden Arbeitsform kann zusätzlich den Umgang mit Computersimulationsprogrammen erleichtern. Hier bietet sich vor allem die Nutzung von Gruppenarbeitsformen an. So konnten Klein und Doran (1999) zeigen, dass kooperative Klein-Gruppen-Arbeit im Zusammenhang mit Computersimulationsprogrammen die Arbeitsorganisation und Motivation der Schülerinnen und Schüler steigern kann.

6 Die Simulationsumgebung „L.E.S.P.“

„L.E.S.P.“ („*L*earning *E*nvironment for *S*imulation of *P*articulate models of matter“) vereint die Funktionen eines visuellen, interaktiven Computerprogramms zur Simulation des Kugelteilchenmodells mit einer adaptierbaren Arbeitsumgebung auf der Basis eines Zeichen- und Konstruktionsprogramms.

Entwickelt und evaluiert wurde das Programm „L.E.S.P.“ im Rahmen des europäischen Sokrates-Projekts „CoSim“ sowie einer zweiten im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit durchgeführten Vergleichsstudie. Als Entwicklungsbasis diente dabei das von Hollstein (1998; Sumfleth & Hollstein, 1999) entwickelte Teilchensimulationsprogramm „Simula-T“ (Simulation-Teilchenmodell). Eine computerunterstützte Unterrichtseinheit zum Thema „Einführung in das Kugelteilchenmodell“ bildet die Basis für die Integration des Programms in den Unterricht.

Das Ergebnis der Entwicklung von „L.E.S.P.“ bildet ein visuelles, adaptierbares Computersimulationsprogramm, welches Lernenden die Möglichkeit bietet, die Bedeutung des Teilchenkonzepts durch aktives, selbstgesteuertes Konstruieren dynamischer Teilchenszenarien zu erarbeiten. Das Programm dient als „kognitives“ Werkzeug zur externen Repräsentation dynamischer mentaler Modelle zu verschiedenen Themenkomplexen im Rahmen der Nutzung des Teilchenmodells.

Lehrerinnen und Lehrern erschließt das Programm auf der anderen Seite einen tieferen Zugang zu den Vorstellung von Schülerinnen und Schüler, als dies im konventionellen Unterricht zu meist der Fall ist. Dieser Einblick in die Vorstellungen von Lernenden zum Teilchenmodell kann Lehrerinnen und Lehrern dabei helfen „Misskonzeptionen“ zu entdecken, aufzugreifen und diesen entgegen zu wirken.

Die inhaltlichen Grundfunktionalitäten des Programms stützen sich auf die Empfehlungen der GDCh-FU (Gesellschaft Deutscher Chemiker - Fachgruppe Chemieunterricht, 1996) für die Nutzung von Simulationsprogrammen zur Molekülbildung auf Teilchenebene sowie auf die Inhalte der Richtlinien des Fachs Chemie zum Themenkomplex Teilchenmodell für Gymnasien, Gesamt- und Realschulen des Landes NRW. Ergänzt wurden die Basisfunktionen durch eine Reihe von Auswertungs-, Aufzeichnungs-, Präsentations- und Kommunikationsfunktionen, die sich aus den verschiedensten Aspekten einer sinnvollen Nutzung im schulischen wie außerschulischen Kontext ergeben.

Im folgenden werden einige wichtige Details zum Konzept und zur Funktionalität des Computerprogramms „L.E.S.P.“ beschrieben.

6.1 Basismodell

Das Programm basiert auf den Grundannahmen des Kugelteilchenmodells nach Dalton. Zugunsten einer besseren Anschaulichkeit und Übersichtlichkeit wurde auf eine dreidimensionale Darstellung der verwendeten Objekt, wie z.B. Teilchen und Gefäße, verzichtet und stattdessen auf eine vereinfachte zweidimensionale Darstellungsform zurückgegriffen.

Die Eigenschaften der Objekte lassen sich in einem gewissen Rahmen variieren, obliegen aber den physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Teilchenmodells. Beispiels-

weise wird die elastische Kollision von Teilchen mit den Gefäßwänden entsprechend dem zentralen elastischen Stoß für einen Körper mit großer Masse durch die Umkehrung der Geschwindigkeitsvektoren simuliert. Bestimmte Eigenschaften des Basismodells, z.B. die Berücksichtigung der Schwerkraft, können ebenfalls verändert werden.

6.2 Benutzeroberfläche

Das Hauptprogrammfenster von „L.E.S.P.“ integriert Konstruktions- und Simulationsfunktionen unter einer interaktiven grafischen Benutzeroberfläche, die sich an gängigen Standardsoftwareprodukten orientiert, um die Einarbeitungsphase und den Umgang mit dem Programm zu erleichtern (siehe Abb. 6-1). Je nach Programmmodus können Konstruktions- und Animationsfunktionen in einem ständig wechselnden Prozess ausgeführt werden ohne dabei zwischen verschiedenen Programmfenstern wechseln zu müssen. Die Benutzeroberfläche stellt zu diesem Zweck eine Reihe von Funktionen für die Entwicklung und Animationssteuerung zweidimensionaler Modelle zur Verfügung.

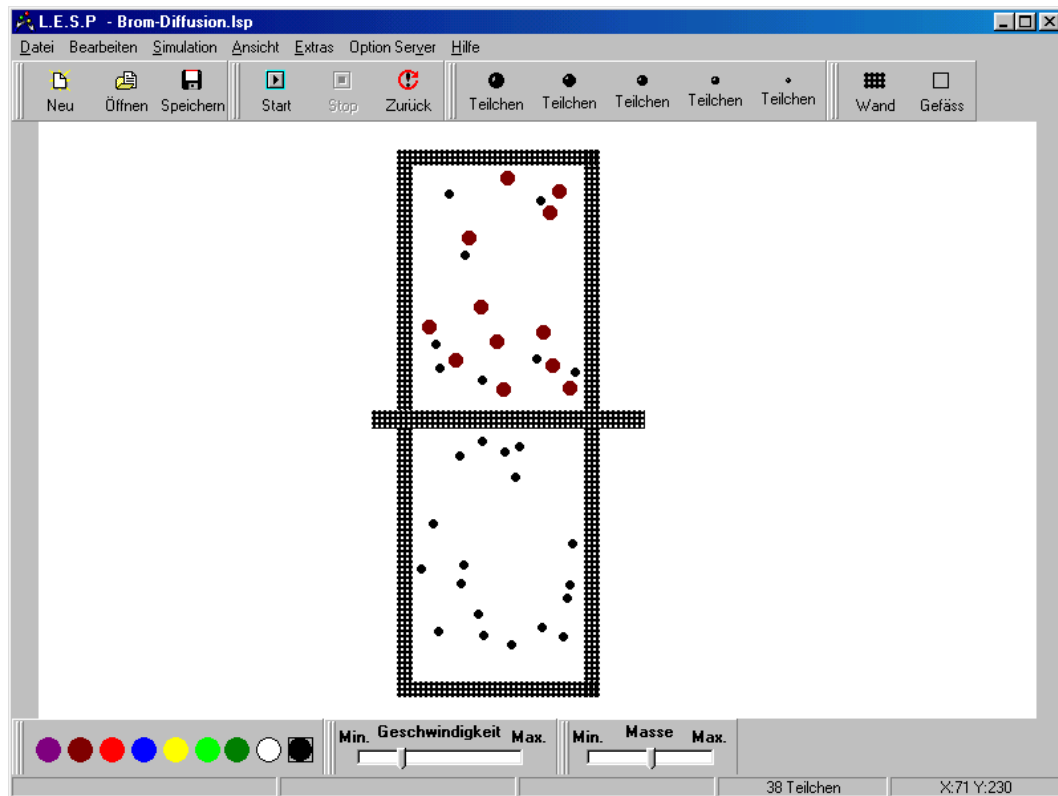


Abb. 6-1: Die „L.E.S.P.“ – Entwicklungs- und Simulationsumgebung.

Im Konstruktionsmodus können verschiedene für die Modellentwicklung benötigte Objekte (Teilchen oder Gefäßelemente) im Arbeitsbereich des Hauptfensters eingefügt, manipuliert und jederzeit wieder entfernt werden. Die Simulationsprozesse, d.h. die Teilchen und ihre Bewegungen unter Einfluss der Simulationsparameter, werden grafisch dargestellt und können jederzeit angehalten, unterbrochen und verändert werden.

Um einen diskontinuierlichen Eindruck zu vermitteln bestehen die Gefäßelemente ebenfalls aus kleinen Teilchen. Je nach Einstellung können die Bewegungen der

Teilchen aus dem Programmfensterrand herausführen, um damit einen diskontinuierlichen Eindruck zu vermitteln.

Während des Entwicklungsprozesses können jederzeit Änderungen per Maus und Tastatur an den Objekt- und Umgebungsparametern durchgeführt werden um damit ein möglichst realitäts- und vorstellungsanaloges Konstrukt aufzubauen.

Den Lernenden steht ein informatives Offline-Hilfemenü zur Verfügung, das jederzeit aufgerufen werden kann und Erklärungen zu den Funktionen der Benutzeroberfläche bietet.

6.3 Simulationsobjekte

Im Konstruktionsmodus dient der Arbeitsbereich des Hauptfensters zur Positionierung verschiedener Modellobjekte, wie beispielsweise von Teilchen oder Gefäßelementen, die mit bestimmten variablen Eigenschaften ausgestattet sind:

| Teilchen | Gefäß, Wand & Spritze |
|-----------------|-----------------------|
| | Größe |
| | Farbe |
| | Position |
| Geschwindigkeit | Temperatur |
| Masse | Volumen |
| | Druck |

Tab. 6-1: Teilchen- oder Gefäßelementeigenschaften

Die Simulationsumgebung besitzt ebenfalls bestimmte Eigenschaften, die in einem gewissen Rahmen durch den Lehrer adaptierbar sind (siehe Kapitel 6.4: Programmadaptierbarkeit):

| Simulationsumgebung |
|------------------------------------|
| Konstruktions-/ Präsentationsmodus |
| Anzahl der Teilchen (1-150) |
| Schwerkraft |
| Skalierbarer Darstellungsbereich |

Tab. 6-2: Eigenschaften der Simulationsumgebung.

6.4 Programmadaptierbarkeit

Ein wesentlicher Aspekt für die sinnvolle Nutzung des Programms im Rahmen einer Einführung in das Kugelteilchenmodell liegt in der stufenlosen Adaptierbarkeit des Programms durch eine Lehrperson. Ein zusätzliches, eigenständiges Programm („Option Server“) dient zur Konfigurierung der „L.E.S.P.“- Benutzeroberfläche.

6.5 Modellweitergabe

Erstellte Konstruktionen können in einem programmspezifischen Dateiformat (*.lsp) gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufgerufen werden. Daher kann das Programm ebenfalls sinnvoll im außerschulischen Bereich, z.B. zum Anfertigen von Hausarbeiten, verwendet werden.

„L.E.S.P.“ unterstützt die intra- und interclass Kommunikation über Modelle. Gespeicherte Dateien können per Netzwerk oder Diskette zur Diskussion an andere Gruppen oder der ganzen Klasse weitergegeben und zur Diskussion eingesetzt werden („intraclass“- Aspekt). Ein integriertes Email-Programm bietet die Möglichkeit entwickelte Modelle an andere Klassen per Internet zu versenden („interclass“- Aspekt des CoSim-Projekt).

Das Arbeitsergebnis eines Entwicklungsprozesses kann ausgedruckt und an Schülerinnen und Schüler weitergegeben werden.

6.6 Zusatzfunktionen

„L.E.S.P.“ bietet nicht nur die Möglichkeit Teilchensimulationen von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen zu erstellen, sondern auch eine Reihe von Sonderfunktionen, die es ermöglichen entwickelte Teilchensimulationen auf bestimmte Parameter, wie z. B. Geschwindigkeit, Wegstrecke, Druck zu analysieren.

Ein zusätzliches Programmmodul in Form eines integrierten Videoplayers, der auf dem Microsoft™ Mediaplayer basiert, bietet die Möglichkeit Experimentaufzeichnungen z.B. im AVI, MPEG oder Apple™ QuickTime- Format auf jedem Rechner individuell abzuspielen ohne in ein anderes Programm zu wechseln.

Eine solche Programmfunktion bietet Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit, während der Modellentwicklung, ein aufgezeichnetes Experiment wiederholt anzuschauen und mit ihrem erstellten Modell zu vergleichen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass im Chemieraum nur selten Computer vorhanden sind, so dass ein besprochenes Experiment oftmals nur zeitverzögert als Basis für die Modellentwicklung dienen kann.

6.7 Programmnutzung außerhalb des Unterrichts

Prinzipiell bietet das Programm aufgrund seiner Strukturmerkmale die Möglichkeit auch außerhalb der Schule oder des Unterrichtes von den Schülern verwendet zu werden, da in der Schule erstellte Simulationen als Dateien per Internet verschickt oder per Diskette mitgenommen und weiterentwickelt werden können.

Als Hausaufgabe oder freiwillige Übung könnten Schülerinnen und Schüler außerhalb der Schule Modelle bekannter Phänomene oder über den Videoplayer gezeigter neuer Phänomene entwickeln.

Durch die außerschulische Nutzung des Programms haben Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit den Umgang mit dem Programm zu intensivieren, individueller zu lernen und ein tieferes Verständnis für die zugrundeliegenden Konzepte zu entwickeln (Tao & Gunstone, 1999).

7 Computerunterstützte Einführung in das Kugelteilchenmodell

Das Kugelteilchenmodell besitzt eine essentielle Bedeutung für das Verstehen chemischer Konzepte und gehört zu den ersten Modellvorstellungen, die im Chemieunterricht erarbeitet werden. Während Schülerinnen und Schüler bis zum Kennenlernen des Kugelteilchenmodells, Verhalten und Eigenschaften von Stoffen auf einer rein phänomenologischen Ebene beschreiben, wird in der Folge das makroskopisch wahrnehmbare Verhalten von Stoffen auf der Grundlage submikroskopischer Teilchen erklärt, die weder greif- noch sichtbar sind. Es ist also ein Perspektivenwechsel erforderlich, der zunächst für die Lernenden kaum einsichtig erscheint. Eine Vielzahl von Studien zeigt deutlich die Problematik, die mit dem Erlernen und Anwenden des Teilchenkonzepts und anderer Atommodelle verbunden ist. Demgegenüber bleiben den Lehrerinnen und Lehrern die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler oft verschlossen, da die Lernenden nur wenige Möglichkeiten haben, ihre Vorstellungen ausführlich darzustellen.

Aus dieser Perspektive kann eine computerunterstützte Unterrichtsform eine ideale Lernplattform für eine aktive, selbstbestimmte Auseinandersetzung von Schülerinnen und Schülern mit dem Unterrichtsthema Kugelteilchenmodell sein, wenn eine Computersimulation zur Visualisierung dynamischer Teilchenszenarien eingesetzt wird. Die meisten Programme, die zur Simulation des Kugelteilchenmodells entwickelt wurden, ermöglichen jedoch nur eine starre und unflexible Interaktion zwischen Lernenden und Programm. Die inhaltlichen Wege und Nutzungsformen werden vom Programm ohne wirkliche individuelle Eingriffsmöglichkeiten vorgegeben. Damit wird eine freie, subjektive Vorgehensweise der Lernenden unterbunden.

Mit der Programmentwicklung von „L.E.S.P.“ wird das Ziel verfolgt, ein visuelles, adaptierbares Computersimulationsprogramm zu schaffen, das Lernenden die Möglichkeit, bietet die Bedeutung und Aneignung des Teilchenkonzepts durch aktives, selbstgesteuertes Konstruieren dynamischer Teilchenszenarien zu erarbeiten. Eingebettet in Kleingruppen- und Klassendiskussionen soll der Einsatz des Computersimulationsprogramms zu einem vertieften Verständnis des Teilchenmodells führen und Missverständnisse vermeiden. Die Diskussionen sind besonders wichtig, da sich die Modelle einzelner Arbeitsgruppen grundlegend voneinander unterscheiden können. In der Unterrichtsdiskussion steht nicht allein der Vergleich zwischen den konstruierten Modellen im Vordergrund, sondern auch ihr Vergleich mit den tatsächlich beobachteten Phänomenen. Peukert et al. (2000) sehen im Aufbau eines Bewusstseins für die Existenz einer Real- und einer Modellwelt einen wichtigen Aspekt für das Erlernen des Teilchenmodells.

7.1 „L.E.S.P.“ in der Unterrichtsreihe

Im Vordergrund stehen Diffusionsphänomene, die Aggregatzustände und Lösungsvorgänge, die mit Hilfe des Teilchenmodells erklärt werden sollen. Folgende Eigenschaften des Teilchenmodells, die weitgehend auf Annahmen der kinetischen Gastheorie basieren (vgl. Fischler & Lichtfeld, 1997), sind im Programm „L.E.S.P.“ berücksichtigt:

- Die Materie besteht aus kleinen Teilchen, die in idealisierter Weise kugelförmig dargestellt werden. Die Teilchen desselben Stoffes besitzen immer die gleiche

Größe und Masse. In „L.E.S.P.“ können Größe, Masse und Position der Teilchen durch die Lernenden eingestellt werden. Die einheitliche Eigenschaftsvergabe ist vom Lernenden abhängig. Eine zusätzliche, für die Modellvorstellung unerhebliche Eigenschaft ist die Teilchenfarbe, die ebenfalls durch die Schülerinnen und Schüler einstellbar ist.

- Zwischen den Teilchen befindet sich keine Materie. Diese Eigenschaft ist im Programm durch einen leeren Konstruktionsbereich implementiert.
- Jedes Teilchen besitzt kinetische Energie, die dazu führt, dass sich die Teilchen in ständiger Bewegung befinden. Stoßen Teilchen aufeinander, so werden sie vollkommen elastisch zurückgestoßen. „L.E.S.P.“ simuliert diese elastischen Stöße. Die Kollision eines Teilchens mit einer Gefäßwand wird als Stoß mit einem Objekt sehr großer Masse betrachtet. Das Teilchen wird dabei nicht zerstört.
- Teilchen besitzen untereinander Anziehungskräfte, die allerdings in der Gasphase auf Grund des großen Abstands zwischen den Teilchen vernachlässigbar ist. Mit der Veränderung des Aggregatzustands, d.h. mit der Herabsetzung der Teilchengeschwindigkeit und der Verringerung des Abstands zwischen den Teilchen wird der Einfluss dieser Anziehungskräfte größer. Im flüssigen Zustand wechseln die Teilchen innerhalb eines bestimmten Volumens noch ihre Plätze, im festen Zustand ist dies nicht mehr möglich. Die Änderung des Aggregatzustands wird auf die Änderung der kinetischen Energie der Teilchen zurückgeführt. Wird auf die Teilchenanziehungskräfte verzichtet, wie in „L.E.S.P.“ möglich, so reduziert sich das Modell auf ein reines Massemodell. Das Anreichern der Teilchen mit abnehmender Geschwindigkeit auf dem Gefäßboden erfolgt über die Wirkung der Schwerkraft.

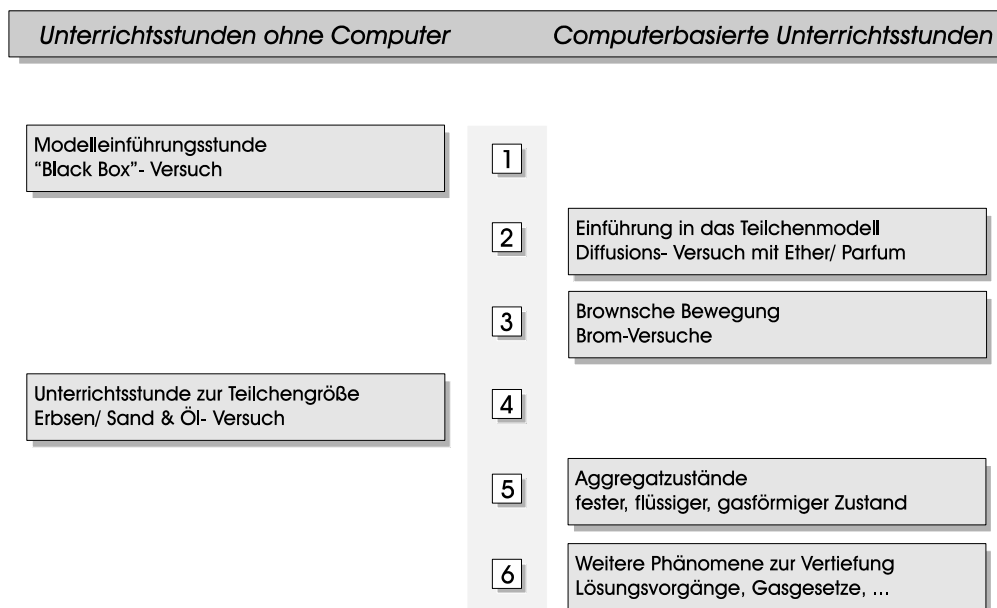


Abb. 7-1: Unterrichtsreihe zur Einführung in das Kugelteilchenmodell.

Die Unterrichtsreihe besteht aus mindestens fünf Unterrichtsstunden, bestehend aus den Themen Diffusion, Brownsche Bewegung und Aggregatzustände und jeweils eine

Stunde zum naturwissenschaftlichen Modellverständnis und zur Teilchengröße (siehe Abb. 7-1, Punkt 1-5, S.47). Darüber hinaus ergeben sich auch in anderen naturwissenschaftlichen Fächern Einsatzmöglichkeiten für das Programm „L.E.S.P.“, z.B. im Biologieunterricht zum Themenkomplex Diffusion und Osmose oder im Physikunterricht zum Thema Gasgesetze. Ebenso ist ein fächerübergreifender Einsatz möglich.

Es sei darauf hingewiesen, dass beim Einsatz von Computern im Unterricht immer Verzögerungen bzw. Verschiebungen durch technische Probleme, z.B. Computer- oder Netzwerkausfall berücksichtigt werden sollten.

Die Unterrichtseinheit besteht aus Experimenten, Phänomenbetrachtungen, Modellentwicklungen und metakonzeptuellen Betrachtungen. Dabei ist die Erarbeitung von Modellen mit Hilfe des Programms „L.E.S.P.“ ein Kernelement. Wie jedes konventionelle Medium auch ist ein Computersimulationsprogramm nur ein methodisches Hilfsmittel (Kerres, 2000). Schon vor zwei Jahrzehnten wies Wedekind (1981) darauf hin, dass der Einsatz eines Computersimulationsprogramms im Unterricht allein nicht ausreicht, um angestrebte Lernziele zu erreichen. Daraus ergeben sich für den Einsatz von „L.E.S.P.“ im Unterricht folgende Eckpunkte:

1. Die Nutzung des Programms zur Darstellung der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler erfolgt auf der Basis von (möglichst aus der Alltagswelt stammenden) Phänomenen. Die Einführung in das jeweilige Thema beginnt mit einem chemischen, physikalischen oder gedanklichen Experiment und bietet somit den Lernenden einen Anknüpfungspunkt auf der makroskopischen Ebene für die Teilchensimulation auf der submikroskopischen Ebene.
2. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten in Gruppen, die sich aus der Computerausstattung an den meisten Schulen zwangsläufig ergeben. Dadurch entsteht schon während des Modellentwicklungsprozesses ein „Kommunikationszwang“. Die Lernenden sprechen über ihre Modellvorstellungen und tauschen ihre Ideen aus. Zudem können Schülerinnen und Schüler, die eine geringere Kompetenz im Umgang mit dem Computer besitzen, in den Arbeitsprozess integriert werden.
3. In Klassendiskussionen werden die Ergebnisse verschiedener Gruppen vorgestellt, diskutiert und mit dem phänomenologischen Hintergrund verglichen. Da das Programm „L.E.S.P.“ als Simulationsprogramm eine Reihe von Einschränkungen gegenüber der „realen“ Welt beinhaltet, wird an verschiedenen Stellen immer wieder auf die Modellhaftigkeit der Simulation eingegangen.
4. Es ist zu berücksichtigen, dass die von Schülerinnen und Schülern konstruierten Modelle nicht automatisch korrekte Repräsentationen eines im Unterricht dargestellten Phänomens sind. Das Computersimulationsprogramm „L.E.S.P.“ beinhaltet zwar zur Abbildung von Kontinuumsüberlegungen keine kontinuierlichen Elemente, aber Schülerinnen und Schüler visualisieren diese trotzdem. Deshalb bedarf es einer genauen Analyse der Konstruktionsergebnisse durch die Lehrenden. Um die Auseinandersetzung mit den Modellen zu vertiefen, können die entwickelten Konstrukte ausgedruckt und durch die Lernenden beschrieben werden.

Zusammenfassend ergibt sich ein zirkulärer, aus vier Phasen bestehender Stundenverlauf. Die einzelnen Phasen sind die Problemstellungsphase (Abb. 7-2, A-D), die Modellentwicklungsphase (E&F), die Modelldiskussionsphase (G-I) und die Vertiefungsphase (J). Die Problemstellungsphase schafft die phänomenologische Grundlage, die durch Experimente elaboriert wird. Während der Modellentwicklungsphase steht neben der Konstruktion der Modelle die Kommunikation innerhalb der Arbeitsgruppen im Vordergrund. In der Modelldiskussionsphase werden die Entwicklungsergebnisse in der Klasse vorgestellt und untereinander verglichen. Ein wesentliches Ziel dieser Unterrichtsphase ist die Förderung des metakonzeptuellen Bewusstseins durch die reflektive Betrachtung von Modell- und Realitätsebene (Peukert et al., 2000). Die Unterrichtsstunde endet mit einer Vertiefungsphase, in der die Ergebnisse noch einmal zusammengefasst und auf andere Problemstellungen übertragen werden. Im Rahmen eines außerschulischen Einsatzes, z.B. in Hausaufgabensituationen kann „L.E.S.P.“ als Ergänzung zur Vertiefungsphase oder zur Modellverbesserung eingesetzt werden.

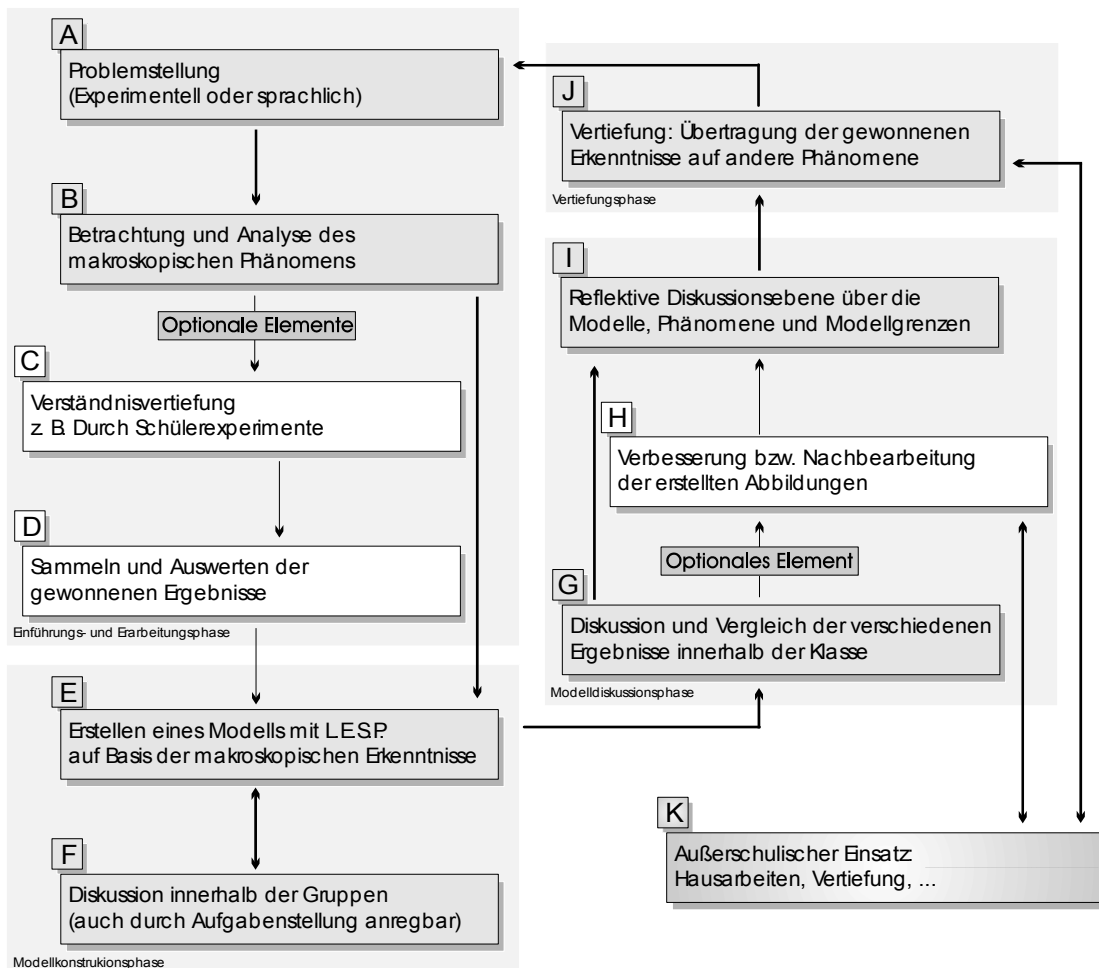


Abb. 7-2: Schema des zirkulären Stundenverlaufs bei der Integration von „L.E.S.P.“ in den Unterricht.

7.2 Einführungsstunde in das naturwissenschaftliche Modellverständnis mit Hilfe eines „Black Box“- Versuchs

Ein Modellbewusstsein können Schülerinnen und Schüler nur dann aufbauen, wenn sie ein metakonzeptuelles Wissen über Modell und Realität besitzen (Peukert et al., 2000). Ein Computersimulationsprogramm basiert auf einem mathematischen oder formal-logischem Modell (Wedekind, 1981), in welchem die Komplexität eines zugrundeliegenden Objekts oder Systems, auf einige bedeutsame Elemente und Relationen reduziert wurde. In diesem Sinne ist die Computersimulation selbst ein Vermittler zwischen dem realen Objekt oder System und dem abstrakten Modell (Sacher, 2000). Diese Einführung dient damit als Grundlage für die Förderung eines metakonzeptuellen Bewusstseins zum Teilchenmodell und die spätere Unterrichtsdiskussion auf Modell- und Realitätsebene zu vereinfachen.

Zur Einführung in das naturwissenschaftliche Modellverständnis dient ein „Black Box“-Experiment, bei dem Schülerinnen und Schüler in Gruppenarbeit die Aufgabe haben, gemeinsam Vorstellungen über den Inhalt eines verschlossenen Kästchens zu erarbeiten. Das Entwickeln dieser Vorstellungen führt zu modellhaften, intuitiv generierten Aussagen über den Inhalt der „Black Box“. Der nicht sichtbare Objekteinhalt lässt Spielraum für Interpretationen. Die Kästchen werden auch am Ende der Diskussionen nicht geöffnet, um damit deren Geheimnis zu erhalten. Vergleiche mit Naturphänomenen zeigen, dass sich die Natur in bestimmten Situationen über Modelle beschreiben lässt, die aber ihre verborgenen Geheimnisse nicht preisgeben, sondern nur einen Rahmen für die hypothetisch deduktiven Erklärungen oft sehr komplexer Sachverhalte liefern. Selbst wenn alle Lernenden dieselbe Vorstellung zum Inhalt der Box hätten, müsste diese Vorstellung nicht zwangsläufig korrekt sein. Ähnlich wie das Teilchenmodell liefern diese Ideen zum „Black Box“-Inhalt spekulative Interpretationen der Realität, Fehlinterpretationen immer eingeschlossen. Den Lernenden sollte am Ende der Stunde bewusst sein, dass naturwissenschaftliche Modelle Gedankenkonstrukte sind, die zur Erklärung bestimmter Phänomene herangezogen werden und dabei immer einen Spielraum für Interpretationen lassen.

7.3 Einführungsstunde in das Teilchenmodell

In der Literatur finden sich zahlreiche Beispiele zur Einführung des Teilchenmodell. Zumeist sind es Kombinationen von Experimenten, die die Lernenden intuitiv zu einer Teilchenannahme führen sollen und zu theoretischen, modellbildenden Grundlagen, z.B.:

- Mischungsexperimente, z.B. Alkohol und Wasser oder Erbsen und Linsen (Häusler & Schmidkunz, 1983);
- Lösungsversuche, z.B. Zucker oder Salz in Wasser (Fischer, 1977);
- Analogiebildung in Kombination mit Lösungsvorgängen (Fladt, 1982; Rohr, 1996);
- Diffusion, z.B. Ether in Luft (Kemper & Fladt, 1980);
- Brownsche Molekularbewegung (Kircher et al., 1982);
- Naturhistorisch orientierte Einführung (Genseberger, 1987);

- Mathematische-naturhistorische Einführung über das Gesetz zur Erhaltung der Masse (Nelson, 1994);
- Strukturorientierte Methodik (Frank, 1997), Gestalt von Kristallen unterschiedlicher Stoffe und deren Gittermodelle.

Als einführendes Phänomen dient die Diffusion von Ether bzw. Parfum in Luft trotz der Überlegungen von Pfundt (1982), dass für Lernende ein Gas nicht zwingend aus Teilchen bestehen muss, um sich durch ein anderes Gas hindurch zu bewegen. Ein weiteres geeignetes Experiment ist die Diffusion von Wasserstoff durch einen Tonzylinder.

7.3.1 Diffusion von Ether

Die Verteilung von Ether- oder Parfumteilchen im Raum lässt sich über die regellose Bewegung der Teilchen beschreiben, zwischen denen praktisch keine Anziehungskräfte bestehen. Dieser Versuch (Luft wird vereinfacht als ein Gas betrachtet) kann mit dem Programm „L.E.S.P.“ auf der submikroskopischen Teilchenebene abgebildet werden. Die Simulation besteht dabei aus einem Gefäß, in dem sich Teilchen einer Sorte befinden (siehe Abb. 7-3). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Benutzeroberfläche und die Funktionselemente des Modells angepasst werden sollten, da z.B. eine Schwerkraftfunktion für eine funktionsfähige Modelldarstellung nicht benötigt wird (siehe Kapitel 6.4: Programmadaptierbarkeit von „L.E.S.P.“, S.44). Der übrige Simulationsbereich steht den Teilchen zur Darstellung der Luft zur Verfügung.

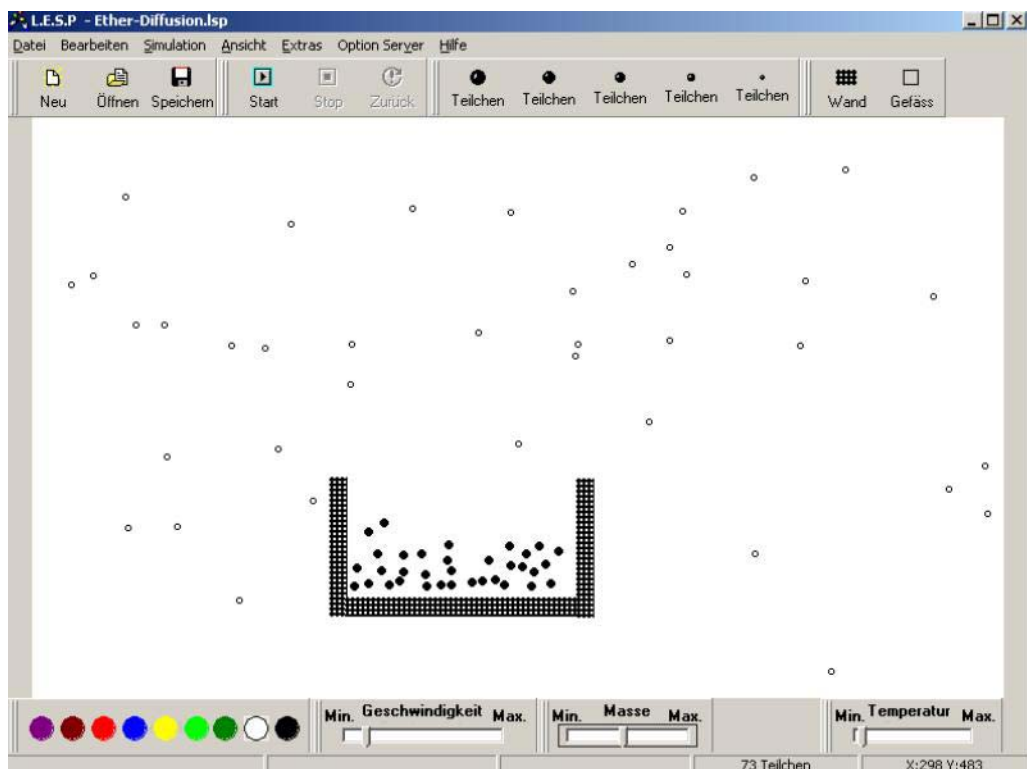


Abb. 7-3: Diffusionsexperiment mit „L.E.S.P.“

Die praktische Erfahrung mit dem Programm im Unterricht hat gezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler häufig Objekte in ihre Konstrukte einfügen, die für die Modellierung wenig bedeutsam sind, wie beispielsweise Fenster, Tische usw. Es bleibt

letztlich die Aufgabe der Lehrenden auf solche Ergebnisse genauso wie auf fehlerhafte Modelle einzugehen.

7.3.2 Diffusion von Bromdämpfen

Die Lernenden beobachten zwei Standzylinder, die mit braun-gelbfarbigem Bromdampf bzw. farbloser Luft gefüllt und durch ein Urglas voneinander getrennt sind. Das Urglas wird entfernt, die Gase mischen sich durch Diffusion. Kemper und Fladt (1980) weisen darauf hin, dass Lernende annehmen könnten, der Bromdampf aus dem oberen Zylinder verdränge die Luft aufgrund der Gravitation. Daher sollte das Experiment ein zweites mal durchgeführt werden, bei dem sich der bromdampfgefüllten Standzylinder unten befindet.

Interessant wird das Experiment dadurch, dass das Brom im oberen Standzylinder schneller nach unten gelangt, als das Brom im unteren Standzylinder nach oben. Ein Effekt der durch den Schwerkrafteinfluß, unterschiedliche Teilchenmassen und -geschwindigkeiten zustande kommt.

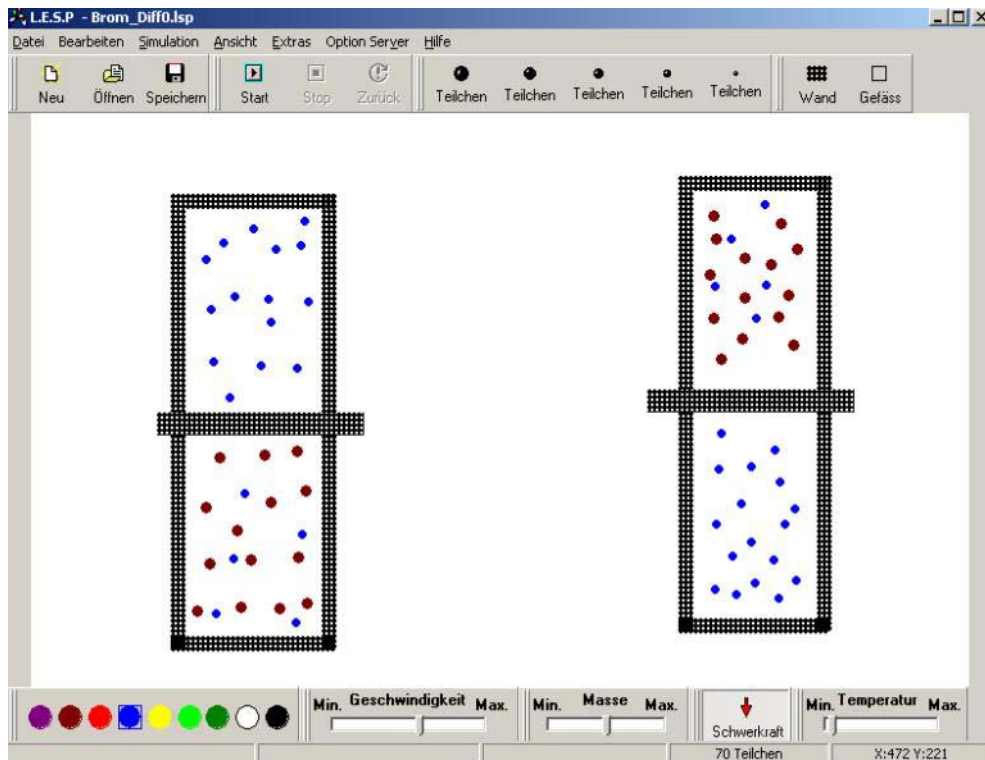


Abb. 7-4: Bromdiffusionsexperiment vor dem Simulationsstart.

Analog dem realen Experiment können die Schülerinnen und Schüler im nächsten Schritt ein Modell des Experiments entwickeln, welches zwei verschiedene Teilchensorten in zwei standzylinderähnlichen Gefäßen darstellt. Abb. 7-4 zeigt ein von den Lernenden entwickeltes Modell. Außerdem kann die Temperaturabhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit simuliert werden.

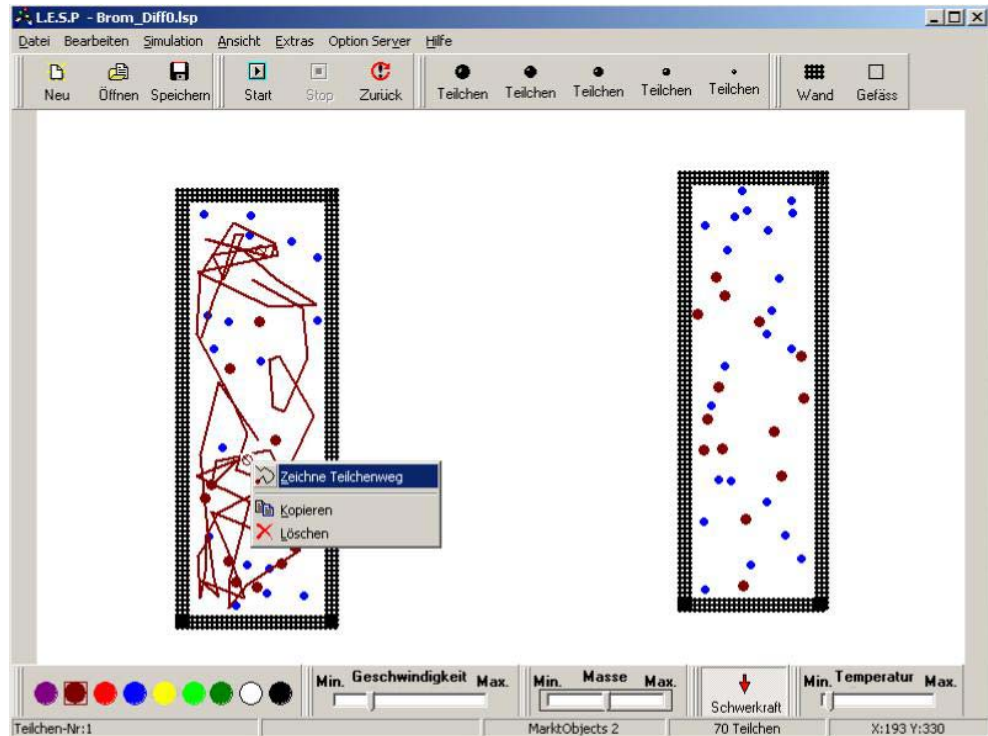


Abb. 7-5: Darstellung der zurückgelegten Strecke eines Teilchens während der Simulation.

Die Teilchen gelangen durch ständige Bewegung von einer Gefäßseite zur anderen. Mit Hilfe der „Teilchenwege“ lässt sich recht einfach die zurückgelegte Strecke eines Teilchens nachzeichnen (Abb. 7-5).

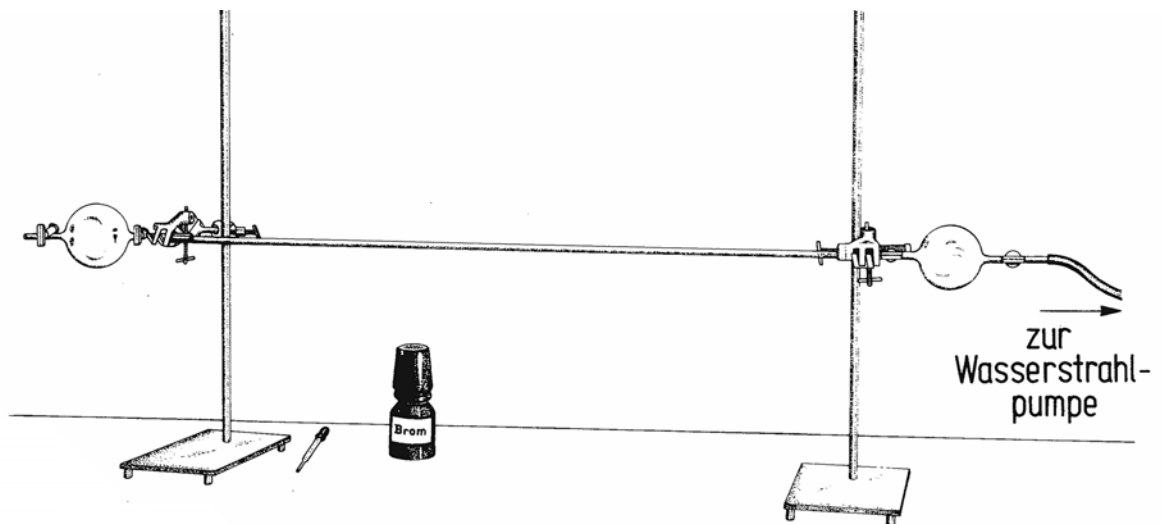


Abb. 7-6: Versuch zur Veranschaulichung der Teilchengeschwindigkeit (nach Pfundt, Dierks & Marcus, 1979).

Verbindet man zwei Gaswägekugeln, die eine mit Brom, die andere mit Luft gefüllt, über ein langes Glasrohr miteinander und öffnet die Hähne beider Kugeln, vermischen sich die Gase. Die Diffusion wird erheblich beschleunigt, wenn statt der luftgefüllten eine evakuierte Kugel benutzt wird (Abb. 7-6).

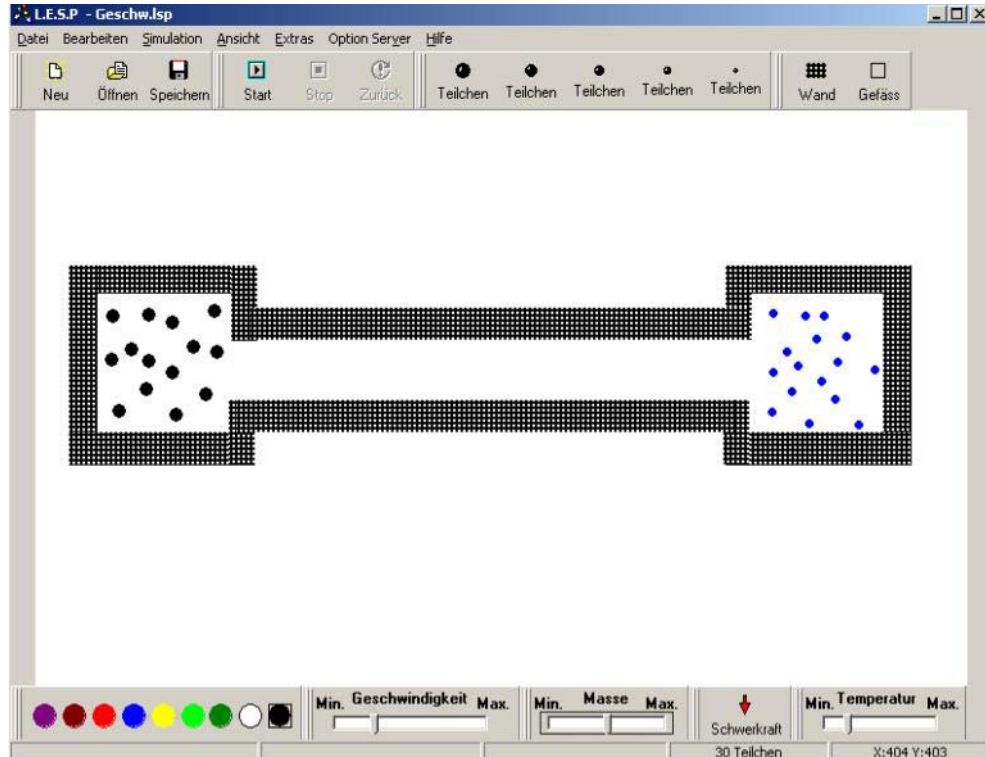


Abb. 7-7: Simulation zur Veranschaulichung der Teilchengeschwindigkeit mit „L.E.S.P.“

Der Grund hierfür liegt in den ständigen Zusammenstößen der Bromteilchen mit den „Luftteilchen“ auf dem Weg von einer in die andere Gaswägekugel. In einem weitgehend gasleeren Gefäß können sich die Bromteilchen nahezu ungehindert bewegen. In einer Simulation mit „L.E.S.P.“ lässt sich dies verdeutlichen (Abb. 7-7).

Ein weiteres alternatives Experiment zu diesem Themenkomplex ist das Lösen von Kaliumpermanganat oder anderen Salzen in Wasser. Möglich ist in diesem Zusammenhang auch der Gebrauch von Teebeuteln. Die Diffusion in Flüssigkeiten ist aber schwerer zu simulieren, weil die Darstellung der Flüssigkeit komplexer ist.

7.4 Brownschen Bewegung

Der englische Botaniker Robert Brown entdeckte 1827 bei der mikroskopischen Untersuchung aufgeschwemmter Pollenkörner, dass diese sich in ständiger Unruhe und Bewegung befanden (Lützner, 1973). Die Bewegung der aufgeschwemmten Pollenkörner kann auf die Bewegungen der nicht sichtbaren Wassermoleküle zurückgeführt werden. Dabei stoßen die erheblich größeren Pollenkörner ständig mit den Wassermolekülen zusammen und geraten dadurch in unkoordinierte, unvorhersehbare Bewegungen.

Die Brownsche Bewegung kann zur Erweiterung und Festigung, aber ebenso zur Einführung (Wagenschein & Buck, 1984) des Teilchenmodells verwendet werden. Die Schüler haben im Laufe der Einführung und während der Arbeit mit dem Teilchenmodell feststellen können, dass sich Teilchen in einer ständigen Eigenbewegung befinden. Der experimentelle Nachweis und die Simulation der Brownschen Bewegung kann diese Hypothese und Annahme des Teilchenmodells bestätigen.

Die Brownsche Bewegung wird zuerst durch praktische Experimente eingeführt. Anschließend lassen sich die erhaltenen Ergebnisse durch das Computerprogramm „L.E.S.P.“ darstellen und modellieren. In Anlehnung an Robert Brown wird ein Experiment zum Nachweis der Teilchenbewegung in einer Flüssigkeitssuspension durchgeführt. Dazu wird auf einen Objektträger ein Wassertropfen gegeben, der mit ein wenig Tusche vermischt und durch ein Deckglas abgedeckt wird. Durch ein Mikroskop wird die Suspension bei mindestens 100facher Vergrößerung betrachtet (Stiegler, 1977). Die Schülerinnen und Schüler erkennen die unkoordinierten Bewegungen der Tuschekörner unter dem Mikroskop. Solange sich Wasser auf dem Objektträger befindet, hören die Bewegungen nicht auf.

Die Schwierigkeiten bei diesem Experiment liegen in der Übertragung eines dreidimensionalen Oberflächenexperiments, auf die zweidimensionale Modelldarstellungsebene, in der die eigentliche Oberfläche nur noch eindimensional ist. Die Darstellung würde damit eher der Diffusion zweier Gase entsprechen (siehe „Simulation zur Brownschen Bewegungen mit Simula-T“, bei Sumfleth & Hollstein, 1999).

Leichter zu modellieren ist in diesem Sinne das „Rauchkammer“-Experiment. In diesem Experiment wird in eine „Rauchkammer“ Zigarettenrauch geblasen (Abb. 7-8).

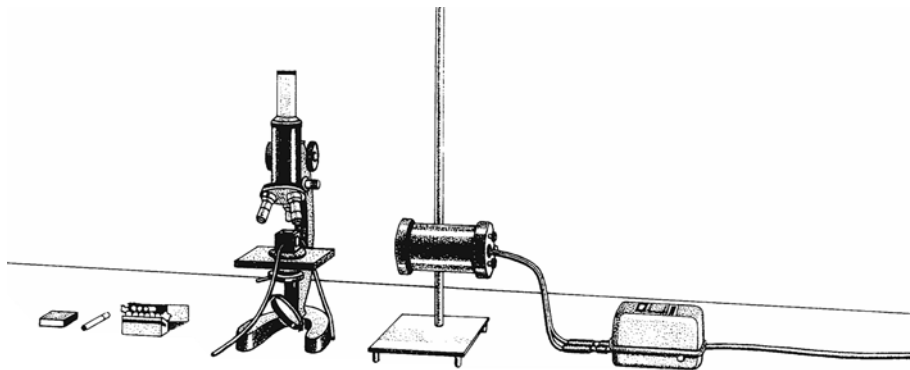


Abb. 7-8: Mikroskop mit Rauchkammer (Pfundt, Dierks & Marcus, 1979).

Bei seitlicher Beleuchtung können die Teerpartikel des Tabakrauchs als kleine leuchtende Punkte unter dem Mikroskop beobachtet werden. Dieses Phänomen sollten die Schülerinnen und Schüler von in der Sonne tanzenden Staubpartikeln kennen. Die Teerteilchen bewegen sich im Gegensatz zu den Tuschekörnern heftiger. Durch die Bewegungen kann auf die Gasteilchenbewegungen geschlossen werden. Aus den heftigeren Bewegungen der Teerpartikel kann zudem gefolgert werden, dass sich die Gasteilchen stärker bewegen als die Wasserteilchen. Es lässt sich für die Bewegung der Teilchen in den einzelnen Aggregatzuständen schließen, dass in Gasen und Flüssigkeiten die Teilchen in einer ständigen Bewegung sind und ihre Positionen wechseln. Auf Grund der größeren kinetischen Energie geschieht dies bei Gasen schneller als bei Flüssigkeiten. Teilchen in festen Körpern sind hingegen ortsfest.

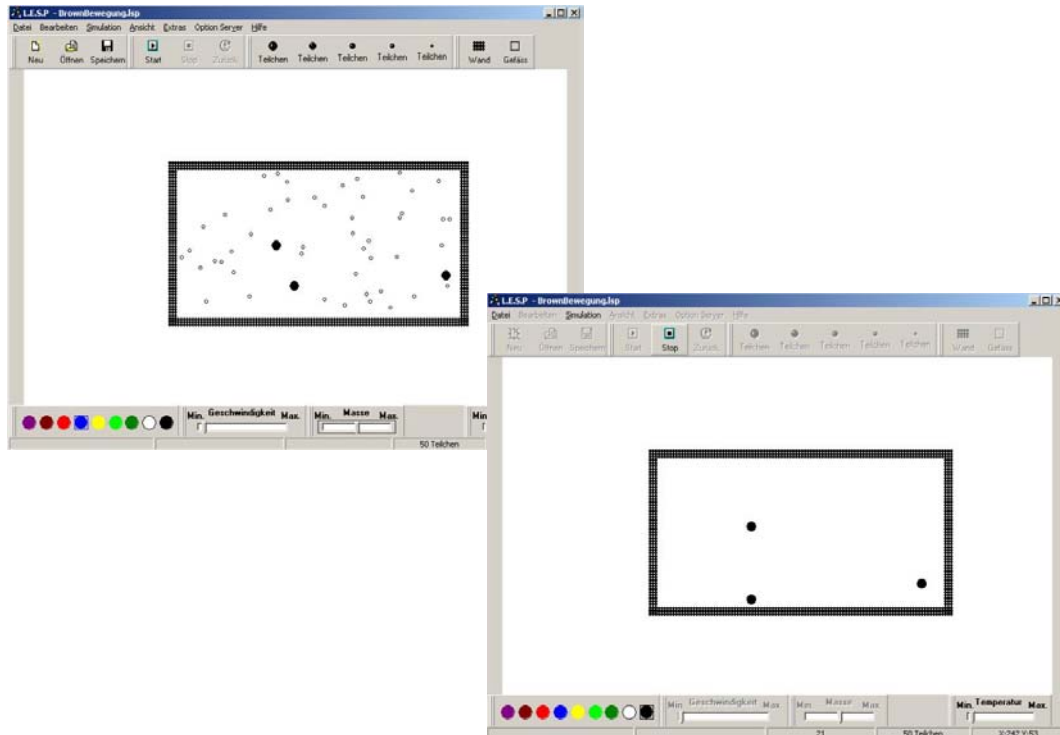


Abb. 7-9: Simulation Brownsche Bewegung mit „L.E.S.P.“ Links während der Konstruktion, rechts während der Simulation (Schwarz: Staub, Weiß: Luft).

Bei der Veranschaulichung mit Hilfe von „L.E.S.P.“ konstruieren die Schülerinnen und Schüler ein Gefäß, in dem eine Reihe von kleinen weißen (bei der Simulation farblosen) Teilchen und mehrere große farbige (z. B. schwarze) Teilchen vorhanden sind (siehe Abb. 7-9). Diese Teilchen stehen für die Staub- oder Pollenkörner, die sich zitternd und wirr bewegen. Nur selten gelingt es, die Bewegung im Voraus zu errahnen, analog dem Rauch- oder Tuscheexperiment. Eine Einschränkung erfährt das Modell durch die Verwendung von großen Teilchen als analoge Objekte zu den realen Staub- oder Teerpartikeln, da die Teilchen nach Kollisionen eine Eigenbewegung entwickeln. In der praktischen Unterrichtsdurchführung hat sich gezeigt, dass auch der Bromdiffusionsversuch eine gute Alternative zum Tusche- oder Rauchkammerexperiment darstellt.

7.5 Aggregatzustände und das Teilchenmodell

Die Deutung der Aggregatzustände der Stoffe ist ein wesentlicher Aspekt bei der Einführung des Teilchenmodells. Die Darstellung der verschiedenen Aggregatzustände und deren Übergänge lassen sich auf einer qualitativen Ebene recht einfach simulieren (Abb. 7-10, S.57).

Sinnvoll erscheint die Einführung und Erarbeitung der Aggregatzustände am Beispiel „Wasser“, weil es den Lernenden vertraut ist und Vorteil hat, dass die verschiedenen Aggregatzustände experimentell leicht zu demonstrieren sind. Zudem ermöglicht die Auseinandersetzung mit den Aggregatzuständen des Wassers die Diskussion fachübergreifender Aspekte (Biologie, Geographie).

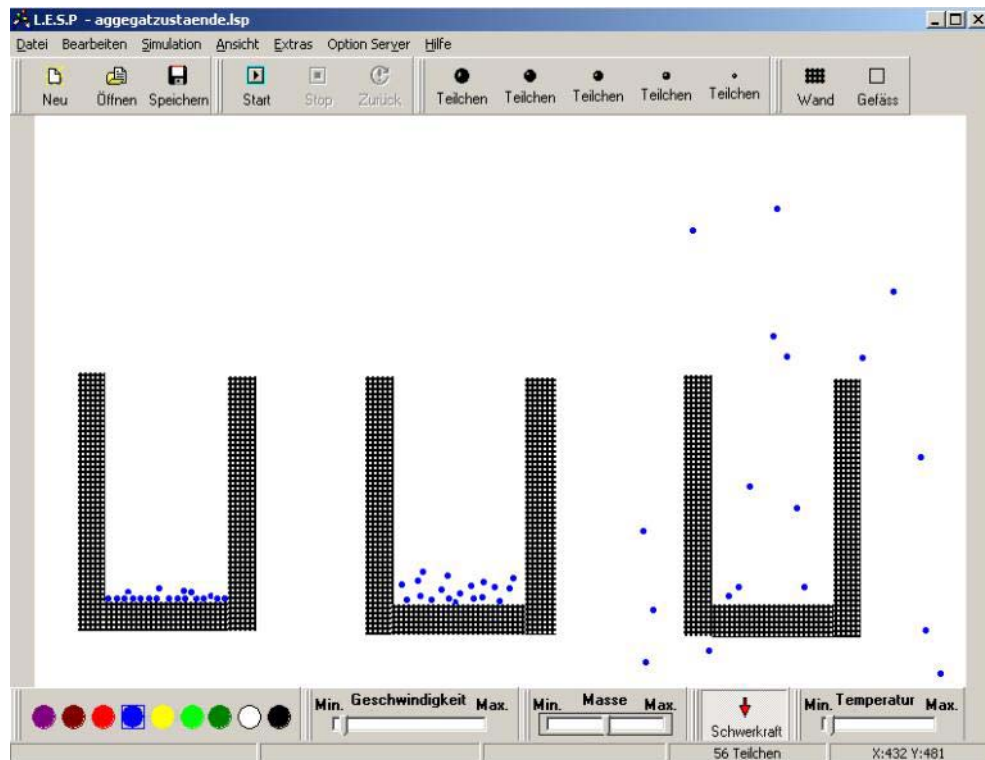


Abb. 7-10: Darstellung des festen, flüssigen und gasförmigen Zustands eines Stoffes während einer Simulation.

Als einführendes (Schüler-) Experiment kann Eis geschmolzen und das entstandene Wasser verdampft werden. Als Ergebnis soll festgestellt werden, dass Eis, flüssiges Wasser und Wasserdampf derselbe Stoff in unterschiedlichen, temperaturabhängigen Zustandsformen ist. Die Lernenden sollen erkennen, dass die Übergänge von Eis zu flüssigem Wasser und von flüssigem Wasser zu Wasserdampf durch Energiezufuhr erreicht werden und sich der Vorgang umkehren lässt. Diese physikalischen Vorgänge lassen sich mit Hilfe des Teilchenmodells interpretieren.

Die Schwierigkeit der Umsetzung von fest und flüssigen Zuständen auf der Basis eines Massemodells besteht darin, dass das Modell keine Wechselwirkungen oder Anziehungskräfte zwischen den Teilchen berücksichtigt. Daher müssen die unterschiedlichen Aggregatzustände auf die Geschwindigkeit der Teilchen, in Abhängigkeit von der Schwerkraft, reduziert werden. Zur Darstellung der Aggregatzustände in „L.E.S.P.“ bieten sich zwei Möglichkeiten an, entweder werden alle drei Zustände nebeneinander simuliert (siehe Abb. 7-10) oder in einem Gefäß, in dem während der Simulation dem System über die Gefäßwand Energie zu oder abgeführt wird.

7.6 Hinführung zu den atomaren Dimensionen

Unter dem Mikroskop lässt sich leicht zeigen, dass kleinste Teilchen nicht zu erkennen sind. Wie aber kann ihre Größe bestimmt werden (möglich sind vorher auch Siebversuche z.B. mit Holzkohle, Erde und Salz)? Zuerst wird ein Modellversuch durchgeführt (z.B. Jansen, 1982; Fischer & Rothenhagen, 1997):

In einem Messzylinder befinden sich kleine Erbsen (Sand, Salz) eines bestimmten Volumens (z.B. $V=60\text{cm}^3$), die dann zu einer einlagigen Schicht auf einem Blattpapier ausgebreitet werden. Die bedeckte Fläche A lässt sich ausmessen. Das Volumen V der einlagigen Schicht ist $V=A*h$, wobei h die Höhe der Schicht ist. Das Volumen der Erbsen im Messzylinder hat sich beim Ausbreiten nicht verändert. Daraus lässt sich die Höhe der Schicht und damit der Durchmesser der Erbse berechnen.

Danach wird in Analogie zu diesem Versuch ein Öltröpfchenversuch durchgeführt.

8 Untersuchungsschwerpunkt und -design

8.1 Hypothesen zum Lernen mit selbstkonstruierten Simulationen

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Gewinnung von Erkenntnissen zum Lernen mit selbstkonstruierten Simulationen im Kontext einer computerunterstützten Einführung in das Kugelteilchenmodell. Der Arbeit liegt die Annahme zu Grunde, dass eine aktive, konstruktive Nutzung eines Computersimulationsprogramms zu einer verbesserten Behaltensleistung und einer ausgeprägteren Problemlösefähigkeit führt als konventioneller Unterricht und es damit zur Entwicklung eines stabilen und naturwissenschaftlich akzeptierbaren Teilchenkonzepts bei den Lernenden kommt.

Die folgenden Forschungsfragen sollen in der vorliegenden Arbeit beantwortet werden:

Die größten Schwierigkeiten beim Erlernen des Teilchenkonzepts liegen in der Differenzierung von makroskopischen und submikroskopischen Eigenschaften (Ben-Zvi, Eylon & Silberstein, 1986; Benson, Wittrock & Baur, 1993). In diesem Kontext stellt sich die Frage, inwieweit Lernende durch die computerunterstützte Visualisierung submikroskopischer Prozesse bestimmte Inhalte besser Erlernen als im konventionellen Unterricht.

Lernende benötigen ein spezifisches Hintergrundwissen um mit Computersimulationen effektiv lernen zu können (Wedekind, 1981). In diesem Zusammenhang spielt das fachspezifische Vorwissen der Lernenden eine entscheidende Rolle. Es stellt sich die Frage, ob Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlichem Vorwissen im gleichen Maße vom konstruktiven Arbeiten mit dem Computersimulationsprogramm profitieren. Sind beispielsweise Lernende mit geringem Vorwissen in der Lage adäquate Modellrepräsentationen trotz der Komplexität des Programms zu erzeugen (Nußbaum & Leutner, 1986)? Die analoge Frage stellt sich mit Blick auf das computerspezifische Vorwissen. Hier kann zudem davon ausgegangen werden, dass Schülerinnen und Schüler, die in ihrer Freizeit viel mit einem Computer arbeiten, eine höhere Motivation zeigen.

Außerdem wird die Vorgehensweise der Lernenden beim Modellbildungsprozess mit „L.E.S.P.“ analysiert. Hier soll untersucht werden, nach welchen Prinzipien die Lernenden bei ihrer Modellentwicklung vorgehen. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Vorgehensweise beim Arbeiten mit dem Programm und den Ergebnissen eines Konstruktionsprozesses?

8.2 Untersuchungsdesign

Die Schwierigkeiten beim Erlernen und Anwenden des Teilchenkonzepts werden in zahlreichen Untersuchungen dargestellt. Um die Schülerinnen und Schüler im Sinne eines proaktiven Lerners in eine aktive, selbstbestimmte Rolle zu bringen, wurde eine computerunterstützte Unterrichtsreihe zur Einführung in das Kugelteilchenmodell konzipiert. Im Mittelpunkt steht dabei die Nutzung des Computersimulationsprogramms „L.E.S.P.“, welches den Lernenden die Chance bietet, dynamische Teilchenmodelle nach eigenen Vorstellungen zu konstruieren. Der initiative Handlungsprozess bei der Nutzung des Programms „L.E.S.P.“ bewirkt, dass die Lernenden über ihre Vorstellungen nachdenken müssen und damit nicht nur ein tieferes Verständnis für das

zu Grunde liegende Modell entwickeln, sondern auch eine engere Verknüpfung zum vorhandenen Wissen aufbauen. Gleichzeitig wird den Lehrerinnen und Lehrern durch die entstehenden externen Repräsentate ein Einblick in die individuellen Schülervorstellungen geboten. Solche Modelle bilden einen konkreten Anknüpfungspunkt für eine Modelldiskussion auf Kleingruppen- und Klassenebene.

Das Computerprogramm „L.E.S.P.“ und die sechs Unterrichtsstunden umfassende Unterrichtsreihe zur Einführung in das Kugelteilchenmodell wurden in zwei Studien evaluiert (siehe Abb. 8-1).

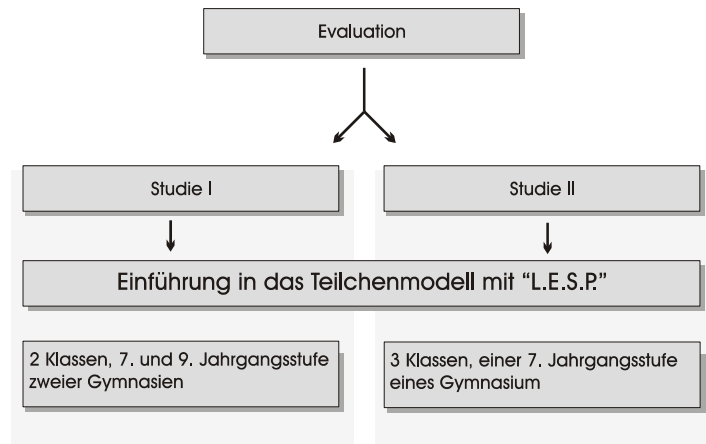


Abb. 8-1: Vergleich der Evaluationsstudien I & II.

Die Studie I entspricht der deutschen Teilstudie im europäischen Forschungsprojekt „CoSim“. In diesem Rahmen wurden zwei Klassen, je eine 7. und eine 9. Klasse zweier verschiedener Gymnasien, nach dem entwickelten Unterrichtskonzept unterrichtet. Das Ziel dieser Studie war es, Aufschluss darüber zu erhalten, ob die entwickelte computerunterstützte Unterrichtsreihe unter Nutzung des Programms „L.E.S.P.“ zu einem messbaren Lernerfolg führt. Zudem sollte die Arbeitsweise der Schülerinnen und Schüler mit dem Programm analysiert werden.

Auf der Basis der Ergebnisse der Studie I wurde die Studie II konzipiert, in der der Lernerfolg zwischen einer computerunterstützten, auf „L.E.S.P.“ basierenden und einer konventionellen Unterrichtsreihe ohne Computerprogramm untersucht wurde.

9 Studie I

Die Untersuchung wurde im Rahmen des Europäischen Sokrates-Projekt „CoSim“ an fünf europäischen Schulen (England, Polen und Deutschland) durchgeführt. Jedoch wurden nur die zwei deutschen Klassen dieser Studie nach dem in dieser Arbeit vorgestellten Unterrichtskonzept unterrichtet und der Lernerfolg durch Pre-, Post- und Follow-Up-Tests erhoben. Nachfolgend werden die Ergebnisse dieser beiden Klassen, die zur Vereinfachung als Klasse A (7. Klasse eines Gymnasiums) und als Klasse B (9. Klasse eines Gymnasiums) bezeichnet werden, dargestellt.

9.1 Untersuchungsdesign, -methoden und Probandengruppen

Um die dargelegte Hypothese zur Behaltens- und Problemlösefähigkeit mit Hilfe selbstkonstruierter Simulationen am Beispiel des Teilchenmodells zu untersuchen, wurde eine Studie mit einer 7. und 9. Klasse im Pre-, Post- und Follow-Up-Design durchgeführt. Die Pre- und Post-Tests wurden zwei Wochen vor bzw. nach der Unterrichtsintervention durchgeführt, der Follow-Up-Test etwa vier Monate später. Weiterhin wurden für die Analyse der Arbeitsprozesse mit dem Programm „L.E.S.P.“ Protokolldateien („Logfiles“) aufgezeichnet.

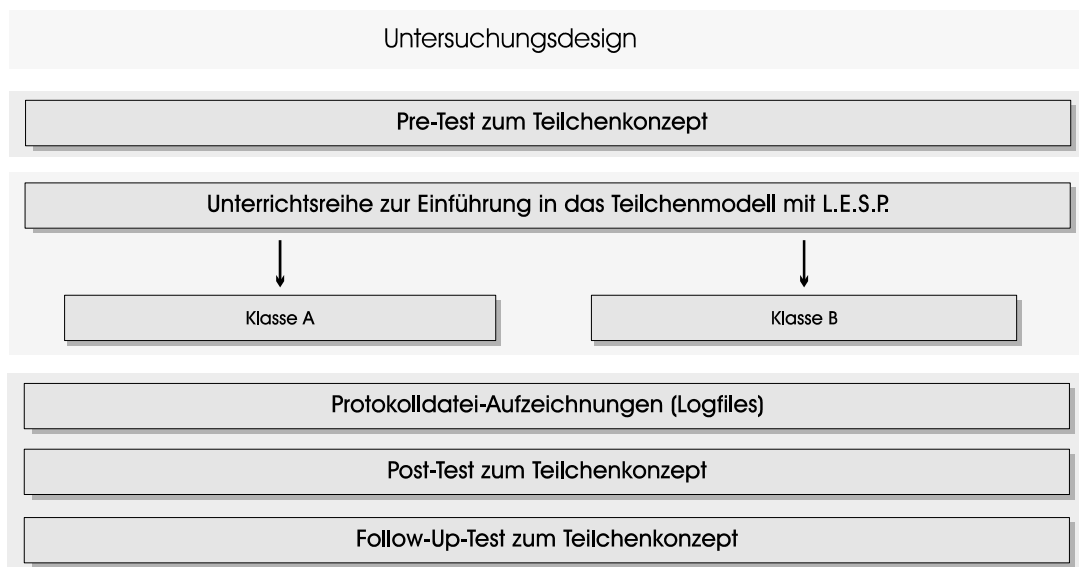


Abb. 9-1: Untersuchungsdesign der Studie I.

Der für die Erhebung verwendete Fragebogen wurde im Rahmen der CoSim-Studie entwickelt und orientiert sich an bekannten Schülervorstellungen zum Teilchenkonzept (siehe Anhang D: Lernleistungstest der Studie I, S.117). Er umfasst insgesamt 26 Aufgaben, von denen 24 als Multiple-Choice-Aufgaben und zwei als Zeichenaufgaben konzipiert wurden. Die Multiple-Choice-Aufgaben verlangen die Beurteilung des Wahrheitsgehalts von Aussagen durch die Antwortmöglichkeiten „Ist richtig“, „Ist falsch“ und „Ich weiß nicht“. Die gewählten Aussagen entsprechen bekannten vorunterrichtlichen Schülerkonzepten zum Aufbau und Verhalten von Stoffen. Die Kategorie „Ich weiß nicht“ soll ein unreflektiertes Raten von Antworten zurückdrängen. Die verwendeten Zeichenaufgaben entsprechen denen von Novick und Nussbaum (1978, 1981), die sie in ihren Studien zur Darstellung von gasförmigen, flüssigen und festen Substanzen verwendet haben. Hier sollten die Lernenden eine Darstellung ihrer

Vorstellungen zu einem bestimmten Aggregatzustand anfertigen. Insgesamt konnten die Probanden 28 Punkte bei richtiger Beantwortung aller Fragen erreichen und zwar jeweils einen Punkt durch die richtige Beantwortung einer Multiple-Choice-Aufgabe sowie jeweils zwei Punkte für eine korrekt gelöste Zeichenaufgabe.

Um einen Einblick in die Arbeitsweise der Lernenden beim Umgang mit dem Programm „L.E.S.P.“ zu erhalten und daraus Aussagen über den Prozess der Konstruktionsentwicklungen, den zeitlichen Rahmen der Entwicklungsprozesse sowie einen Langzeiteinblick in die Arbeitsweise mit dem Programm ableiten zu können, wurden während der Computerarbeitsphasen Dokumentationsdateien erzeugt. Diese Protokolldateien beinhalten eine Auflistung der Programmgrundeinstellungen sowie der einzelnen, durch Schülerinnen und Schüler mit dem Programm ausgeführten Arbeitsschritte.

Die beiden untersuchten Klassen hatten zur Zeit der Pre-Test Erhebung zusammen 49 Schülerinnen und Schüler (29 in der Klasse A und 20 in der Klasse B). Am Post-Test nahmen jedoch nur noch 47 Probanden, am Follow-Up-Test, vier Monate später, nur noch 41 Probanden teil. Für die Ergebnisauswertung werden nur die Lernenden betrachtet, die an allen Tests teilgenommen haben, insgesamt 40. Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl der Schülerinnen und Schüler der einzelnen Klassen, die an den Tests teilgenommen haben:

| Klasse | Pre-Test | Post-Test | Follow-Up-Test | Gewertet |
|--------------|-----------|-----------|----------------|-----------|
| A | 29 | 28 | 23 | 22 |
| B | 20 | 19 | 18 | 18 |
| Summe | 49 | 47 | 41 | 40 |

Tab. 9-1: Liste der teilgenommenen Probanden.

Auf Grund der unterschiedlichen Jahrgangsstufen reicht das Altersspektrum der Schülerinnen und Schüler von 12 bis 15 Jahre. In der Klasse A sind die Probanden zur Zeit des Pre-Tests im Durchschnitt etwa 13 Jahre alt, in der Klasse B im Durchschnitt etwa 14,7 Jahre.

Das Geschlechterverhältnis ist in den beiden untersuchten Klassen unausgewogen. In der Klasse A (Mädchen: 12; Jungen: 10) und in der Klasse B (Mädchen: 11; Jungen: 7) sind mehr Mädchen in den ausgewerteten Gruppen.

Für die Unterrichtsintervention wurden die Schülerinnen und Schüler der beiden Klassen in 8 Computerarbeitsgruppen aufgeteilt (zwei bis vier Lernende pro Gruppe).

9.2 Untersuchungsergebnisse

Zunächst werden die nach Klassen getrennten Gesamtergebnisse des Pre-, Post- und Follow-Up-Tests zum Teilchenkonzept dargestellt und diskutiert. Es folgen klassenübergreifende Erörterungen, inhaltliche Ergebnisse sowie die Darstellung der Protokolldatei-Analysen.

9.2.1 Gesamtergebnisse der Pre-, Post- und Follow-Up-Erhebung

Die Ergebnisse des Lernleistungstests zeigen bei beiden Klassen eine Steigerung vom Pre-Test zum Post-Test. Vom Post-Test zum Follow-Up-Test sind nur geringe Veränderungen festzustellen (siehe Abb. 9-2, S.64 und Tab. 9-2).

| | | Pre-Test | Post-Test | Follow-Up-Test |
|-----------------|----------|-------------|-------------|----------------|
| Klasse A | M | 11,7 | 20,0 | 19,1 |
| (n=22) | SD | 3,4 | 3,3 | 3,8 |
| Klasse B | M | 15,3 | 21,7 | 22,9 |
| (n=18) | SD | 3,1 | 2,9 | 2,2 |

Zeichenerklärung: M=Mittelwert; SD=Standardabweichung

Tab. 9-2: Mittelwerte und Standardabweichungen der zwei untersuchten Klassen für die Gesamtleistung der Lerntests.

Auffällig sind die Unterschiede der Pre-Test-Ergebnisse zwischen der Klasse A und B. Im Mittel erzielte die Klasse B fast 4 Punkte mehr im Pre-Test als die Klasse A. Dies ist auf die unterschiedlichen Jahrgangsstufen (7 und 9) zurückzuführen. Zwar hatten die Schülerinnen und Schüler der Klasse B bis zum Zeitpunkt der Untersuchung noch keine explizite Einführung in das Teilchenmodell erfahren, vermutlich sind jedoch gewisse Vorkenntnisse durch den Chemieunterricht der Klasse 7 und den Physikunterricht der Klasse 8 vorhanden.

Im Post-Test-Ergebnis gleichen sich die Mittelwerte einander an. Zwar sind die Ergebnisse der Klasse B immer noch besser, der prozentuale Unterschied in den Mittelwerten verringert sich aber um etwa 1,7 Punkte. In dem vier Monate später durchgeführten Follow-Up-Test zeigt sich, dass die Ergebnisse denen des Post-Tests relativ ähnlich sind. In der Klasse A ist ein Rückgang von etwa einem Punkt zu verzeichnen, während sich die Klasse B um etwas mehr als einem Punkt steigert (siehe Tab. 9-2).

Der Anstieg der Lernleistungen in der Klasse B zwischen Post- und Follow-Up-Test überrascht ein wenig, da in dem Zeitraum zwischen den Tests das Teilchenmodell nicht explizit thematisiert worden ist. Anscheinend wird es dennoch wiederholt angewendet und in Überlegungen einbezogen.

Ein weiteres interessantes Ergebnis zeigt sich bei der Betrachtung der Follow-Up-Test-Ergebnisse der Klassen im Vergleich zum Pre-Test. Die Differenzen im Mittelwert des Lernleistungstests im Pre-Test finden sich nach fast vier Monaten in gleicher Weise im Follow-Up-Test wieder. Mit dem Beginn der Unterrichtsreihe betrug die Punktedifferenz zwischen den Klassen im Mittelwert 3,6 Punkte, nach dem Follow-Up-Test vier Monate später ist dieser mit 3,8 Punkten auf einer ähnlichen Stufe, jedoch auf einem höheren Gesamtpunktniveau (siehe Abb. 9-2, S.64).

Die dargestellten Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass eine computerunterstützte Einführung in das Kugelteilchenmodell unter Nutzung der Lernumgebung „L.E.S.P.“ eine lernfördernde Wirkung in Bezug auf das Teilchenkonzept besitzt. Die Ergebnisse des Follow-Up-Tests legen die Vermutung nahe, dass die Art der durchgeführten Intervention zu einer dauerhaften Steigerung der Behaltensleistung führt.

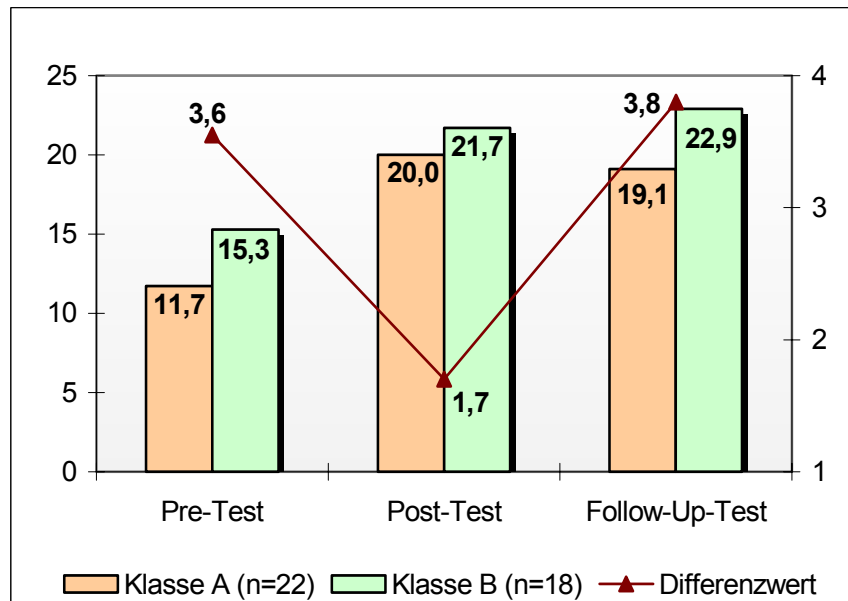


Abb. 9-2: Mittelwerte und Mittelwertdifferenzen der beiden untersuchten Klassen in Bezug auf den Leistungstest zum Teilchenkonzept.

9.2.2 Ergebnisse der einzelnen Aufgaben

9.2.2.1 Zeichnerische Darstellung von Teilchenzuständen

Der Einsatz eines offenen, konstruktiven Computersimulationsprogramms wie „L.E.S.P.“ hat neben der initiativ handelnden Komponente für den Lernenden vor allem den Vorteil, dass durch die Simulation der dynamischen Teilchenbewegung komplexe Prozessabläufe visuell erfassbar werden. In diesem Sinne sollte ein Lernerfolg insbesondere dort zu messen sein, wo eine visuelle, dynamische Repräsentation des Modells von Nutzen ist, z.B. bei zeichnerischen Darstellungen von Teilchenzuständen oder bei Beschreibungen dynamischer Prozesse. Ein typisches Beispiel ist die symbolische Darstellung der Aggregatzustände.

Die zeichnerische Abbildung des Verhaltens von Gasen in einer vollen und einer halbvollen Flasche (Aufgabe 1 des Lernleistungstests, siehe Anhang D, S.117), verlangt die Fähigkeit dynamische Prozesse im Diskontinuum auf statische Formen abzubilden.

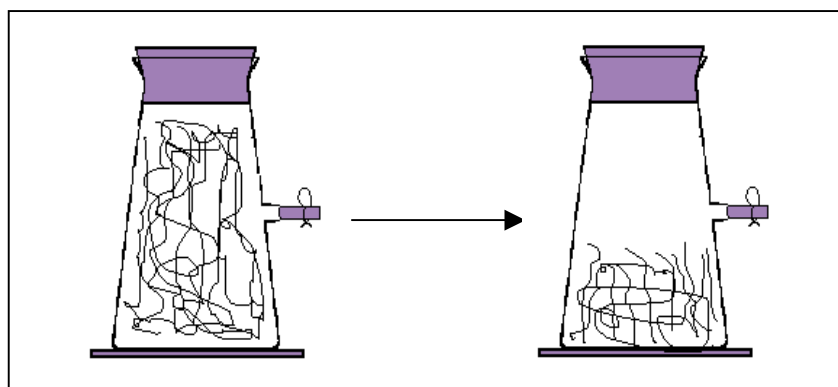


Abb. 9-3: Beispiel für eine Schülerzeichnung zur Kontinuumvorstellung von Gasen.
Links: Vollständig mit Luft gefüllte Flasche; Rechts: Halbvoll Flasche.

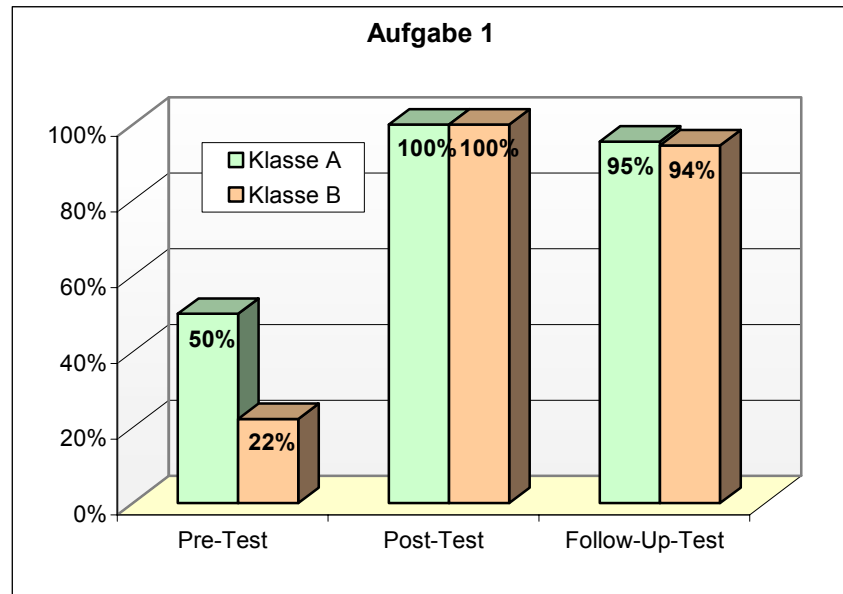


Abb. 9-4: Anteil der Schülerinnen und Schüler mit korrekter Teilchendarstellung.

Vor der Intervention verwenden die Lernenden vielfach kontinuierliche Stoffkonzepte zur Darstellung von Gasen, z.B. wird die Luft in der Flasche als kontinuierliche Fläche gezeichnet (siehe Abb. 9-3, S.64) oder gar nicht abgebildet. Nach der Intervention hat sich die Darstellungsart verändert. Während in der Klasse A bereits vor der Nutzung von „L.E.S.P.“ die Hälfte aller Zeichnungen korrekt ist, ist dies in der Klasse B nur bei weniger als einem Viertel der Fall. Nach der Intervention sind alle Darstellungen korrekt. Die Ergebnisse des Follow-Up-Tests bestätigen die Beständigkeit des Konzepts. Auch nach vier Monaten sind nahezu alle Teilchendarstellungen angemessen (siehe Abb. 9-4).

Gasförmige Stoffe werden von den Schülerinnen und Schülern im Gegensatz zu flüssigen oder festen Stoffen relativ häufig diskontinuierlich dargestellt (siehe Tab. 9-3). Es scheint, als würde das Alltagskonzept „Kontinuum“ mit zunehmender Formkontinuität das Erlernte naturwissenschaftliche Teilchenkonzept dominieren, denn flüssige und feste Stoffe werden häufig durch kontinuierliche Symbolisierungen abgebildet.

| | Klasse A | | | Klasse B | | |
|-----------------------|-----------|---------|------|-----------|---------|------|
| | Gasförmig | Flüssig | Fest | Gasförmig | Flüssig | Fest |
| Pre-Test | 50% | 5% | 0% | 22% | 50% | 39% |
| Post-Test | 100% | 50% | 27% | 100% | 78% | 78% |
| Follow-Up-Test | 95% | 41% | 27% | 94% | 50% | 50% |

Tab. 9-3: Anteil der Lernenden mit Teilchenzeichnungen bei den Aggregatzuständen.

Die Dominanz und Stabilität des Kontinuumkonzepts gegenüber dem Teilchenkonzept zeigt sich gut am Beispiel der Klasse A (siehe Tab. 9-3). In dieser Klasse übernehmen die Lernenden problemlos für gasförmige Stoffe die naturwissenschaftliche Vorstellung. Alle Probanden verwenden nach der Unterrichtseinheit und auch nach einem längeren

Zeitraum zur Darstellung von Gasen gleichmäßig verteilte Teilchen. Bei flüssigen Stoffen benutzt aber nur die Hälfte der Schülerinnen und Schüler nach der Unterrichtsreihe Teilchen zur Darstellung von Flüssigkeiten. Im Follow-Up-Test nimmt diese Zahl noch einmal ab. Der Anteil der Lernenden mit Teilchendarstellungen von Feststoffen ist mit 27% in der Klasse A und 50% in der Klasse B noch geringer.

Bei der Betrachtung der Schülerzeichnungen zeigt sich, dass nahezu alle Darstellungen in drei Kategorien eingeteilt werden können (siehe Abb. 9-5).

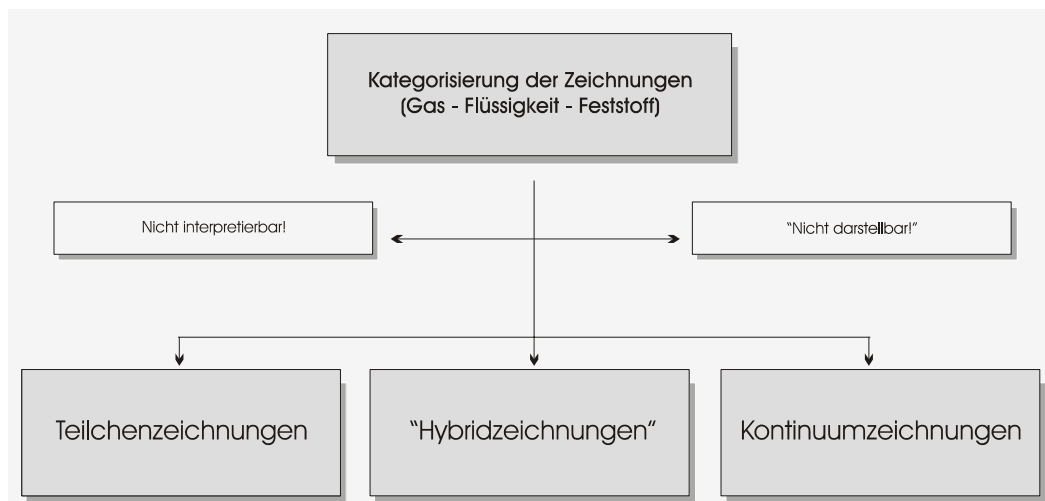


Abb. 9-5: Stoffkonzepte von Schülerinnen und Schülern in Zeichnungen zu den Aggregatzuständen.

Neben Teilchen werden häufig kontinuierliche Darstellungen und Hybriddarstellungen verwendet. Hybriddarstellungen kombinieren naturwissenschaftliche Teilchenkonzepte mit kontinuierlichen Alltagsvorstellungen, z.B. bei Flüssigkeitsdarstellungen durch Teilchenansammlungen, die von einer kontinuierlichen Wasseroberfläche eingeschlossen werden (siehe Abb. 9-6). Solche „Mischdarstellungen“ finden sich vor allem bei Flüssigkeits- und Feststoffdarstellungen. Gasförmige Stoffe werden häufig überhaupt nicht dargestellt, da den Lernenden aus der Alltagswelt der direkte, visuelle Zugang fehlt. Kommentare der Lernenden bestätigen dies, z.B. „Ich kann Luft nicht zeichnen, ich sehe sie ja nicht!“.

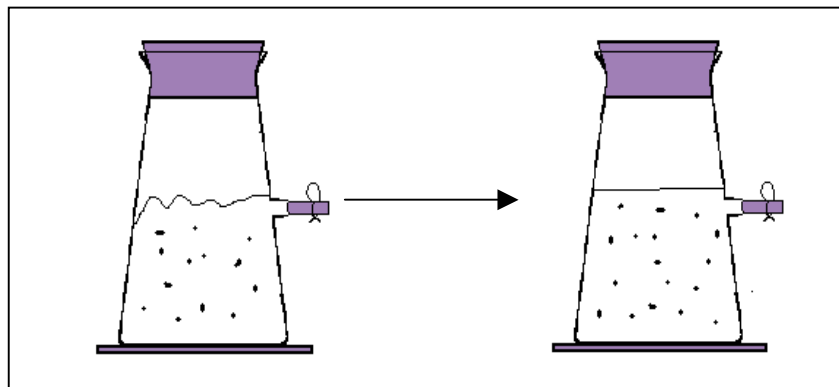


Abb. 9-6: Beispiel für eine Hybriddarstellung von Kontinuums- und Teilchenkonzept. Links: flüssigkeitsgefüllte Flasche; Rechts: die Flüssigkeit nach dem Abkühlen als Feststoff.

Für eine genauere Betrachtung dieses Phänomens werden die Zeichnungen beider Klasse (n=40) aus dem Pre-, Post- und Follow-Up-Test verglichen. Im Vortest zeigen bei der Darstellung von Flüssigkeiten fast drei Viertel aller Probanden ein ausgeprägtes Kontinuumverständnis (siehe Tab. 9-4). Nach der Unterrichtsreihe befinden sich unter den Zeichnungen 25 Teilchendarstellungen und 9 Hybriddarstellungen, die die Elemente eines kontinuierlichen und diskontinuierlichen Stoffkonzepts beinhalten. Im Follow-Up-Test vier Monate später verwenden nur noch 18 Probanden Teilchen und 9 Hybriddarstellungen .

| Kategorie (n=40) | Pre-Test | Post-Test | Follow-Up-Test |
|----------------------|----------|-----------|----------------|
| Teilchendarstellung | 10 | 25 | 18 |
| Hybriddarstellung | 1 | 9 | 9 |
| Kontinuumdarstellung | 28 | 5 | 10 |
| Sonstige | 1 | 1 | 3 |

Tab. 9-4: Zeichnungen der Schülerinnen und Schüler zum Thema Flüssigkeiten

Bei genauerem Vergleich der Zeichnungen der einzelnen Probanden im Post- und Follow-Up-Test zeigt sich ein charakteristisches „Wechselverhalten“ von einer Darstellungsform zur anderen. 40% aller Probanden wechseln bzw. verändern ihre Darstellungen vom Post- zum Follow-Up-Test. Dabei ist der primär beschrittene Weg der von der Teilchen- zur Hybriddarstellung bzw. von der Hybrid- zur Kontinuumdarstellung. Zwei Probanden wechseln „direkt“ von der Teilchen- zur Kontinuumdarstellung. Drei Lernende wechseln in der Darstellungsform von der Kontinuum- bzw. Hybrid- zur Teilchendarstellung.

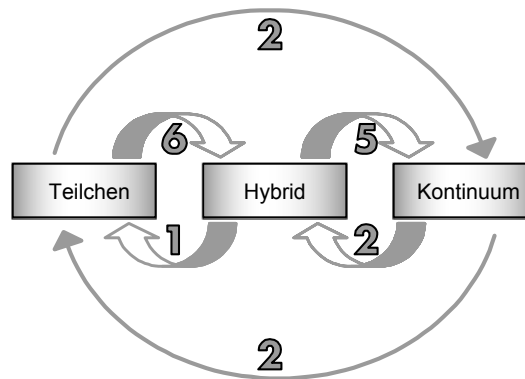


Abb. 9-7: Wechselprozesse in der Darstellung von Flüssigkeiten
(Pfeile zeigen Wanderungsrichtung an).

Bei den Feststoffdarstellungen finden sich ähnliche Wechselprozesse, jedoch in kleinerer Anzahl, da im Post-Test weniger Teilchen- und Mischdarstellungen gefunden wurden. Der Wechsel findet primär von der Teilchen- über die Misch- zur Kontinuumvorstellung statt. Die Schwierigkeiten der Lernenden zeigen sich vor allem daran, dass sie das Teilchenkonzept inkonsistent anwenden. Sie verwenden für verschiedene Aggregatzustände verschiedene Darstellungsformen.

Die in der Untersuchung gefundenen Mischdarstellungen weisen darauf hin, dass die Lernenden Übergangskonzepte zwischen naturwissenschaftlichen und Alltagsvorstellungen bilden. Ähnliche Zwischenvorstellungen finden Galili, Bendall und Goldberg (1993) bei der bildhaften Beschreibung von Vorstellungen zur Optik. Sie beschreiben „hybrid knowledge“ als einen intermediären Wissensstatus. Niedderer (1996; s.a. Niedderer & Goldberg, 1995) bezeichnet diese von Lernenden themenunspezifisch entwickelten Zwischenzustände daher auch als „intermediate conceptions“. Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass solche Konzepte zeitlich bedingten Veränderungen unterliegen.

9.2.2.2 Ergebnisse der Auswertungen der Multiple-Choice-Aufgaben

Im Pre-Test erreichen die Probanden im Mittel 11 von 24 möglichen Punkten, im Post-Test und im Follow-Up-Test 17 Punkte (siehe Tab. 9-5).

Die Auswertung der Fragebögen zeigt, dass das „Ausweichitem“ „Ich weiß nicht“ besonders im Pre-Test von vielen Lernenden genutzt wird. Dieses Item wird insgesamt 223 mal (fast 25%) im Vortest angekreuzt. Im Post-Test hat sich die Anzahl auf 91 reduziert, also mehr als halbiert. Im Follow-up-Test sind es nur noch 72 Antworten dieser Art. Dies spricht dafür, dass die Schülerinnen und Schüler die Aussagen nur dann mit „Richtig“ oder „Falsch“ beurteilt haben, wenn sie von der Korrektheit ihrer Wahl überzeugt waren.

| | Korrekte Antworten | „Ich weiß nicht“ |
|-----------------------|--------------------|------------------|
| Pre-Test | 11 | 6 |
| Post-Test | 17 | 2 |
| Follow-Up-Test | 17 | 2 |

Tab. 9-5: Mittelwert der erreichten Punkte der Lernenden (Multiple-Choice-Aufgaben).

Die Daten zeigen, eine Häufung von „Ich weiß nicht“ Items bei den Aufgaben, in denen nach submikroskopischen Konzepten gefragt wird (siehe Tab. 9-6).

| Aufgabe | Aufgabentext (Kurzform) | Σ Item3 |
|---------|--|----------------|
| 14 | Die Bewegungen eines Teilchens werden immer schneller. | 26 |
| 10 | Die Bewegungen eines Teilchens werden immer langsamer. | 21 |
| 23 | Teilchen können sich auflösen. | 17 |
| 25 | Luft übt einen Druck auf Gegenstände aus. | 16 |

Tab. 9-6: Aufgabenbeispiele für Häufungen von „Ich weiß nicht“- Antworten.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse einzelner Multiple-Choice-Aufgaben zeigt sich, dass bestimmte Fragen nach der Unterrichtsreihe von mehr als 80% aller Schülerinnen und Schüler erfolgreich gelöst werden, während es bei anderen Aufgaben weniger als 50% sind. Zu der ersten Gruppe gehören primär Aufgaben, die den Teilchenaufbau von Stoffen, den Aggregatzustand, die Veränderungen bei Erwärmung und bei Abkühlung sowie Lösungsprozesse problematisieren. Hierbei handelt es sich um Inhalte, die im

Rahmen der Nutzung des Computerprogramms „L.E.S.P.“ bearbeitet und zumeist in Gruppen- und Klassendiskussionen explizit behandelt wurden.

Eine typische Vorstellung von Schülerinnen und Schülern ist die Annahme, dass die Ausdehnung eines Stoffes beim Erwärmen auf die Ausdehnung der Teilchen zurückgeführt werden kann und nicht auf eine zunehmende Bewegung der Teilchen. Diese Problematik wird in den Fragen 9 (Wenn die kleinsten Teilchen eines Gases erwärmt werden, vergrößern sie sich.) und 15 (Wenn die kleinsten Teilchen eines Gases abgekühlt werden, werden sie kleiner.) thematisiert (siehe Abb. 9-8).

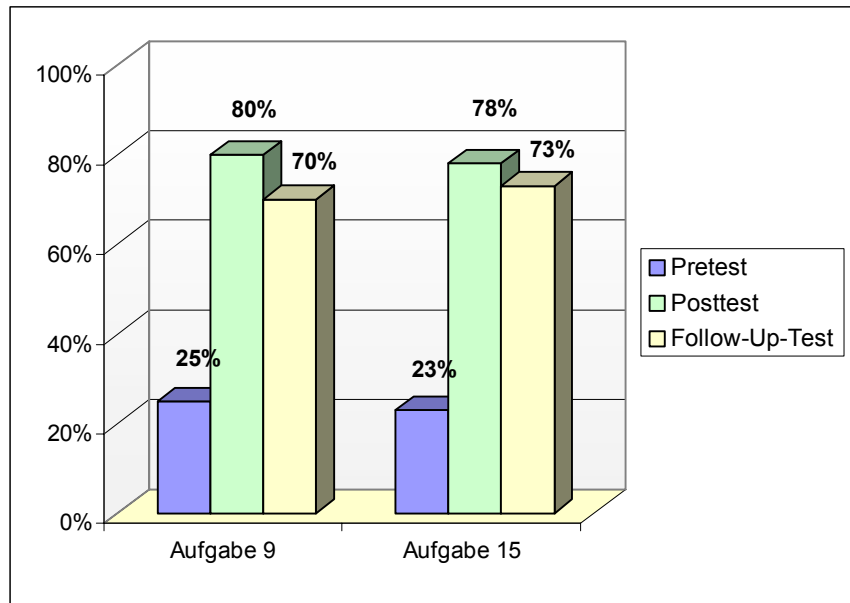


Abb. 9-8: Anteil der Lernenden mit korrekt beantworteten Fragen (Aufgabe 9 und 15).

Es gibt aber auch eine Reihe von Fragen, die im Unterricht nicht direkt thematisiert werden (implizit vermitteltes Wissen) und trotzdem von einem Großteil der Schülerinnen und Schülern korrekt beantwortet werden. Hier zu zählen beispielsweise die Fragen 4 (Wenn die kleinsten Teilchen eines Gases gegen ein Hindernis treffen, zerbrechen sie.), 5 (Die kleinsten Teilchen eines Gases bewegen sich unabhängig voneinander.) und 11 (Prallen zwei Teilchen eines Gases aufeinander, so verändern sie ihre Form.) (siehe Abb. 9-9, S.70).

Der Follow-Up-Test zeigt, dass die implizit aufgenommenen Informationen sehr beständig und dauerhaft sind. Diese Resultate decken sich mit Ergebnissen von Rieber (1991), der für die Erinnerbarkeit einen wesentlichen Vorteil von Animationen gegenüber anderen Medien (z.B. Bilder oder Texten) in der Dynamik sieht. Ein solcher Prozess wird bei dem Programm „L.E.S.P.“ noch dadurch verstärkt, dass die Lernenden über die konstruktive, nachhaltige Auseinandersetzung mit den Modellen zu einer Reflexion der jeweiligen Inhalte angehalten werden. Diese konstruktiven Modellbildungsprozesse verringern die von Rieber (1991) vermutete Bildung wissenschaftlicher „Fehlkonzepte“ durch implizit vermittelte Informationen. Die Ergebnisse unterscheiden sich auch deutlich von denen von Schnotz (1998), nach denen exploratives Handeln mit Animationen lediglich eine bessere Einprägung von Detailinformationen fördert, jedoch keine positive Auswirkung auf die Lernergebnisse

besitzt. Konstruktive Modellentwicklungsprozesse führen über die intensive Auseinandersetzung mit dem Material zu einem besseren Lernerfolg.

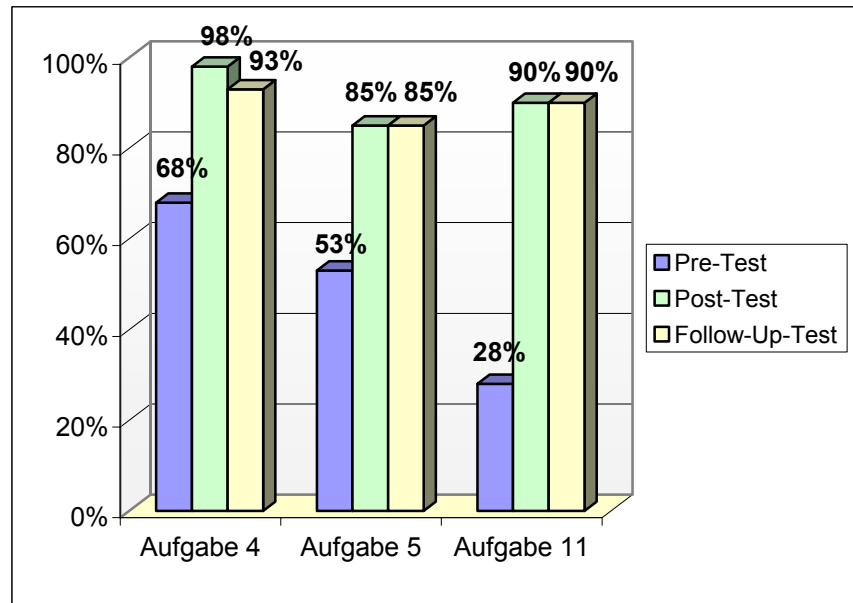


Abb. 9-9: Anteil der Lernenden mit korrekt beantworteten Fragen (Aufgabe 4, 9 und 11).

9.3 Konstruktive Modellentwicklungsprozesse mit „L.E.S.P.“

9.3.1 Protokolldateianalyse mit „L.E.S.P.“-LogViewer

Um einen Einblick in die Arbeitsweise der Lernenden im Umgang mit dem Programm „L.E.S.P.“ zu erhalten und daraus Aussagen über den Prozess der Konstruktionsentwicklungen, den zeitlichen Rahmen der Entwicklungsprozesse sowie einen Langzeiteindruck in die Arbeitsweise mit dem Programm ableiten zu können, wurden „L.E.S.P.“ Dokumentationsdateien erzeugt. Diese Protokolldateien, auch Logfiles genannt, beinhalten eine Auflistung der Programmgrundeinstellungen sowie der einzelnen, durch Schülerinnen und Schüler mit dem Programm ausgeführten Arbeitsschritte.

Bei der Betrachtung der Konstruktionsphasen ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der durch die Lehrperson zur Verfügung gestellten und damit nutzbaren Programmfunktionen auf Grund der Adaptierbarkeit des Programms um einen bestimmten Wert schwankt. Die Konzeption der Unterrichtsreihe, in deren Verlauf den Schülerinnen und Schülern von der Einführung in das Teilchenmodell bis hin zu den Aggregatzuständen eine zunehmend komplexere Benutzeroberfläche zur Verfügung gestellt wird, bedingt einen Anstieg nutzbarer Funktionen (siehe Kapitel 6.4, S.44).

Für die Auswertung der „L.E.S.P.“-Protokolldateien wurde das speziell für diesen Zweck entwickelte Programm „L.E.S.P.“-LogViewer verwendet (siehe Abb. 9-10, S.71). Neben einer Reihe von Darstellungs- und Auswertungsfunktionen, wie z.B. einem „Construction Recaper“, stellt das Programm verschiedene Exportfunktionen zur Weiterbearbeitung der Daten in anderen Programmen zur Verfügung. So ist es möglich aus einer Protokolldatei zu jedem Zeitpunkt der Modellkonstruktion eine „L.E.S.P.“-Datei zu generieren, die das Verhalten des Modells während der Simulation visualisiert.

Ebenso stehen statistische Auswertungen sowie Kategorisierungsmöglichkeiten zur Verfügung.

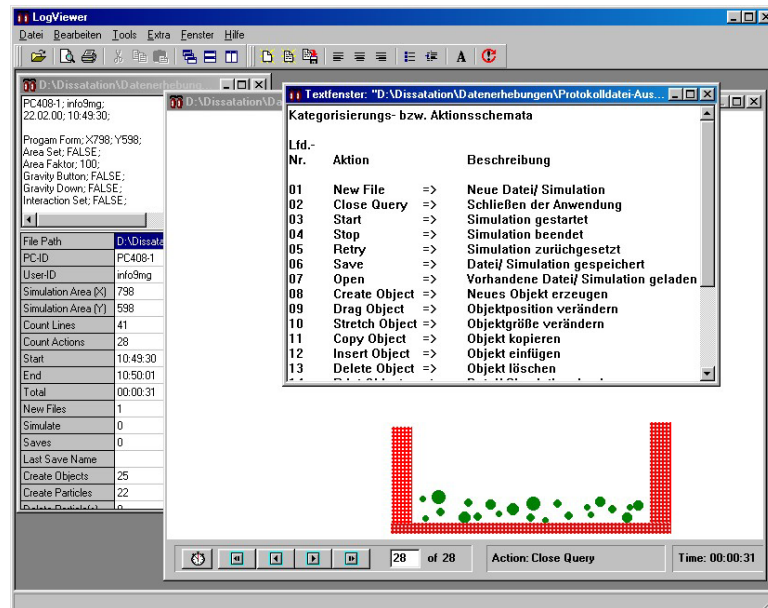


Abb. 9-10: Screen-Shot des Programms „L.E.S.P.“-LogViewer.

Die Protokolldatei-Aufzeichnungen wurden in beiden untersuchten Klassen durchgeführt. Insgesamt wurden dabei mehr als 130 Protokolldateien erzeugt. Der größte Teil der Aufzeichnungsdaten stammt aus der Klasse B. In der Klasse A konnten auf Grund technischer Probleme nach der zweiten Unterrichtsstunde keine weiteren Aufzeichnungen mehr durchgeführt werden.

9.3.2 Kategorisierung

Vor Beginn der Auswertungen wurde ein Kategorisierungsschema auf der Basis möglicher Programmaktionen entwickelt, anhand dessen die Auswertungen der Protokolldateien durchgeführt wurden (Abb. 9-11, S.72). Im Programm „L.E.S.P.“ können insgesamt 48 verschiedene Grundhandlungs- oder Grundaktionstypen unterschieden werden. Eine Handlung oder Aktion bezeichnet eine benutzerkontrollierte Programmoperation, wie beispielsweise das Erzeugen einer neuen Datei, das Einfügen oder Löschen eines Objekts (Teilchen, Wand- und Gefäßelemente) oder das Verändern von Eigenschaften ausgewählter Objekte. Um vergleichbare Aussagen über die einzelnen Konstruktionsprozesse zu erhalten, wurden auf der Basis der 48 Grundaktionstypen drei Hauptaktionskategorien mit sechs Unteraktionskategorien gebildet, die ähnliche oder gleiche Handlungen verschiedener Programmfunktionen zusammenfassen:

Die drei Hauptkategorien setzen sich aus additiven Programmfunktionen, Simulationsfunktionen und Objektaktionen zusammen. Die additiven Programmfunktionen fassen Operationen zusammen, die keinen Einfluss auf die eigentliche Simulation ausüben, sondern lediglich die Programmnutzung unterstützen. Hierzu zählen die Dateioperationen (z.B. Erzeugen, Schließen und Speichern von Dateien usw.), Information und Kommunikation (z.B. Hilfe-, Video- und Emailfunktionen usw.) sowie Auswertungsfunktionen. Die Simulationssteuerfunktionen verbinden Programmoperationen, die im Kontext der Wechselbeziehung zwischen

Konstruktions- und Simulationsmodus eine Rolle spielen. Die Hauptkategorie Objektaktionen vereint alle simulationsobjektbezogenen Funktionen und gliedert sich in drei Unterkategorien, die die Aktionen Erzeugen, Löschen sowie Manipulieren von Objekten beinhalten.

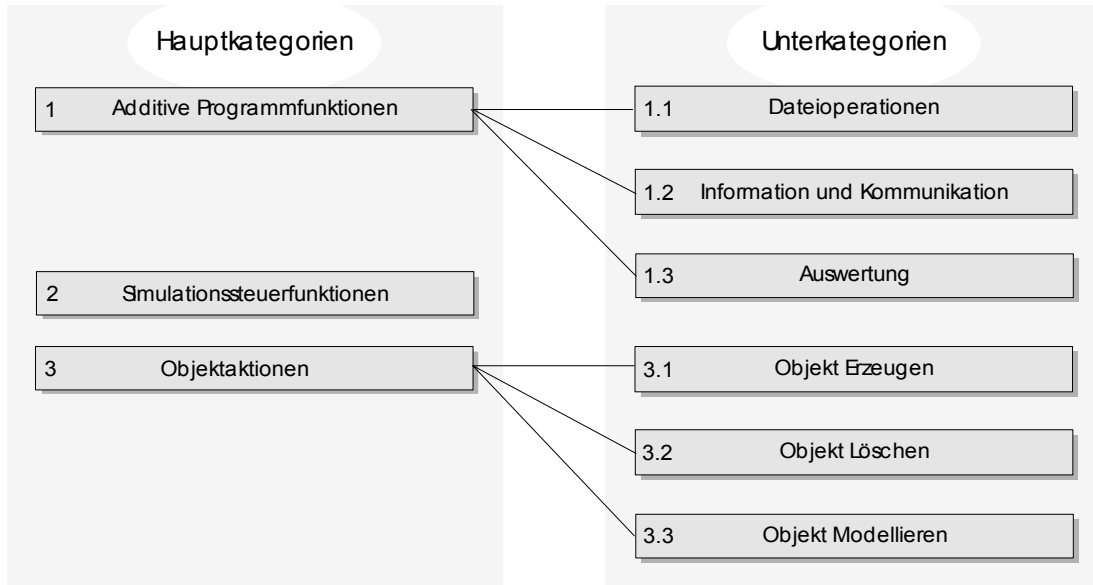


Abb. 9-11: Gebildete Haupt- und Unteraktionskategorien für die Auswertung der Protokolldateien.

Neben der Einteilung möglicher Aktionen in ein Kategorisierungsschema ist auch der Zeitpunkt der Ausführung für die Analyse von Interesse, da dieser Anhaltspunkte über den zeitlichen Ablauf eines Modellkonstruktionsprozesses liefern kann.

9.3.3 Ergebnisse und Interpretationen der Protokolldatei-Analysen am Beispiel des Ether-Luft-Diffusionsversuchs

Im Vordergrund der Analyse steht die Frage nach dem Verlauf eines Modellkonstruktionsprozesses. Welche Konstruktionsschritte werden von den Schülergruppen ausgeführt, um zu einem vorgegebenen Ziel zu gelangen? Führen gleiche „Konstruktionsmuster“ zu gleichen Konstruktionsergebnissen? Kann von den jeweiligen Handlungsmustern auf die „Korrektheit“ der Konstruktionsergebnisse geschlossen werden? Wie verändern sich die Konstruktionen mit Zunahme der Kenntnisse über die zu Grunde liegende Modellvorstellung?

Diese Protokolldateien stammen aus der ersten Unterrichtsstunde mit dem Programm „L.E.S.P.“, in der das Teilchenmodell mit Hilfe eines Ether-Luft-Diffusionsversuchs eingeführt wird (siehe Kapitel 7: Computerunterstützte Einführung in das Kugelteilchenmodell, S.46). Von jeder Schülergruppe existiert mindestens eine Log-Datei pro computerunterstützter Unterrichtsstunde, da mit jedem Programmstart in der Regel mit Beginn der Computerarbeitsphase, eine neue Protokolldatei erzeugt wird. Von einigen Gruppen existieren mehrere Dateien pro Unterrichtsstunde, da in diesen Gruppen das Programm mehrfach gestartet worden ist, z.B. durch eine Neukonstruktion.

Die Analyse der Protokolldateien lässt die Einteilung der Schülerkonstruktionen in zwei Gruppen zu. Die Modelle der ersten Gruppe, zu der sechs der acht Konstrukte gezählt werden können, stellen eine genaue Abbildung der im Experiment verwendeten makroskopisch wahrnehmbaren Dinge, wie des flüssigen Ethers, der Petri-Schale sowie weiterer Elemente, z.B. einer Tischplatte oder einer „abstrahierten“ Nase dar (siehe Abb. 9-12, Bild A&B). Die zweite Gruppe unterscheidet sich von der ersten durch die zusätzliche Abbildung der nicht sichtbaren Luft in Form von „Luftteilchen“ (siehe Abb. 9-12, Bild C&D).

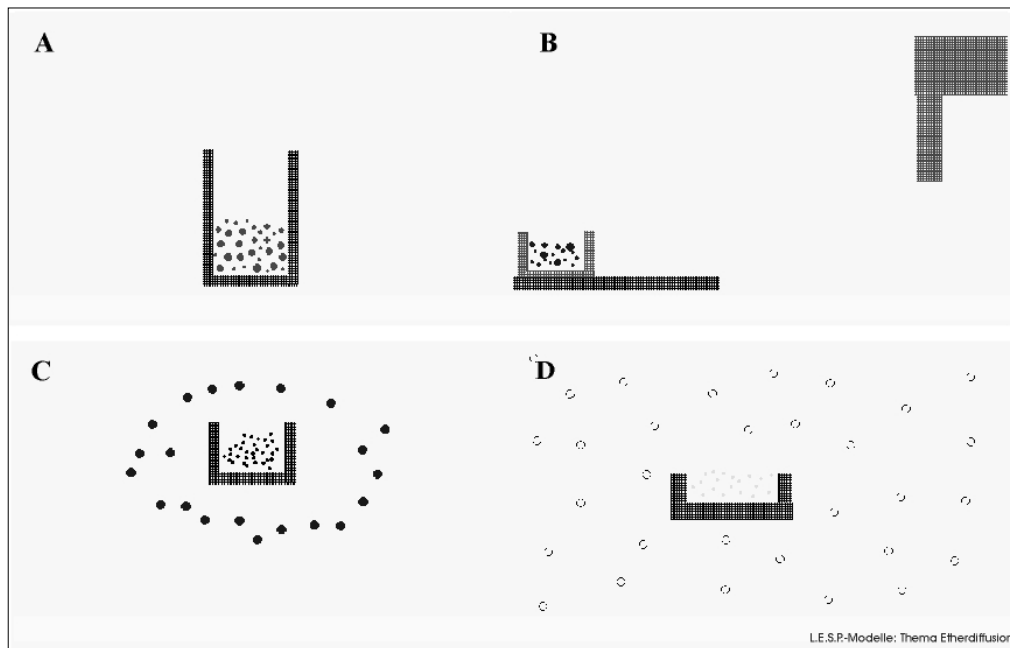


Abb. 9-12: Schüler-Konstruktionen zum Thema Ether-Diffusion.

Der zeitliche Rahmen für die Entwicklung der Konstruktionen wird durch den Lehrer auf etwa 15 Minuten begrenzt. Zu Beginn war jedoch etwas mehr Zeit notwendig, da die Schülerinnen und Schüler das erste Mal mit dem Programm gearbeitet haben und dadurch Fragen auftraten, z.B. nach dem Speichern der Konstruktionen. Die meisten Gruppen beenden aber schon nach etwa 13-14 Minuten den eigentlichen Modellentwicklungsprozess, wie die Protokolldateien zeigen. Es folgt danach eine Wartephase, in der keine konstruktionsrelevanten Aktionen mehr ausgeführt werden.

Die verwendeten Konstruktionsobjekte variieren bei den meisten Konstruktionen lediglich in der Anzahl der Teilchen. Da alle Gruppen mindestens ein Gefäß konstruiert haben, um die im Realexperiment verwendete Petrischale abzubilden, differiert die Anzahl verwendeter Objekte zwischen den einzelnen Gruppen kaum (siehe Abb. 9-12).

Bei genauerer Betrachtung der dargestellten Konstruktionszeiten in Abhängigkeit von den genutzten Kategorien sind einige Dinge besonders auffällig. Es lässt sich erkennen, dass die Aktionskategorien zwei und drei, also die Bereiche Information und Kommunikation (Hilfe, Video und Email) sowie der Bereich Auswertung (Geschwindigkeits- und Druckauswertung) von allen Gruppen überhaupt nicht genutzt wird, weil zum einen nicht alle in diesen Kategorien enthaltenen Programmfunktionen zur Verfügung gestanden haben, wie beispielsweise das Versenden von Emails oder die

Druckauswertung. Zum anderen sahen die Schülerinnen und Schüler vermutlich keine Veranlassung darin diese Funktionen zu nutzen, weil sie in den angebotenen Funktionen keine Lösungshilfen für das beschriebene Problem sehen oder nicht wissen, dass diese Programmfunktionen existieren.

Die Arbeit mit dem Programm besteht im wesentlichen aus Konstruktionsbildungs- bzw. Modellierungsprozessen, da die Schülerinnen und Schüler den größten Teil der Zeit mit objektbezogenen Programmoperationen (Hauptaktionskategorie 3: Erstellen, Löschen und Verändern von Modellobjekten) verbringen (siehe Tab. 9-7 und Abb. 9-13).

| Haupt-Kategorien | Schülergruppen | | | | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 15,4 | 11,9 | 12,9 | 15,9 | 10,5 | 11,4 | 19,1 | 9,7 |
| 2 | 28,4 | 23,1 | 22,7 | 23,7 | 21,3 | 15,4 | 1,3 | 55,1 |
| 3 | 56,2 | 65,0 | 64,3 | 60,4 | 68,2 | 73,2 | 79,6 | 35,2 |

Tab. 9-7: Darstellung der prozentualen Konstruktionszeiten in Abhängigkeit von den verschiedenen Kategorien, bezogen auf die Gesamtzeit.

Mit Ausnahme der Gruppe acht verbringen alle Gruppen mehr als die Hälfte der Zeit mit dem Konstruktionsaufbau (Hauptkategorie „Objektaktionen“). Im Durchschnitt sind dies 63% der Entwicklungszeit. Die Gruppen sechs und sieben verbringen sogar mehr als 70% der Gesamtzeit mit Modellierungsprozessen. Innerhalb dieser Hauptkategorie entfallen nahezu gleiche Zeitanteile auf das Erstellen und das Modellieren von Objekten. Die verwendete Zeit für die eigentliche Simulation der erstellten Konstruktionen beträgt im Mittel 24%.

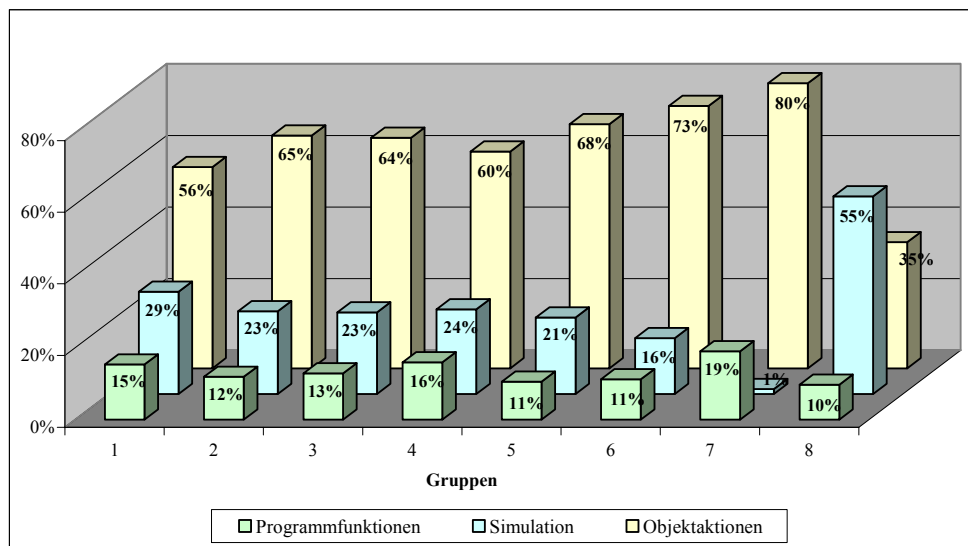


Abb. 9-13: Kategorisierte Modellbildungszeit beim Ether-Versuch (vgl. Tab. 9-7).

Die Protokolldaten zeigen deutlich, dass die Abbildung des vorgegebenen Experiments bzw. Phänomens durch die Darstellung des Gefäßes (Petrischale) und der als Teilchen angeordneten Flüssigkeit (Ether) im Vordergrund steht. Im Rahmen des

Entwicklungsprozesses spielen die visuell wahrgenommenen Elemente eine entscheidende Rolle. Daher wird sehr viel Zeit auf das Erzeugen, Löschen und Verändern der Konstruktionen verwandt. Außerdem werden nicht-modellrelevante Elemente wie „Tischplatten“ oder „Nasen“ dargestellt (siehe Abb. 9-12, B, S.73). In diesem Sinne hat für die Lernenden der Entwicklungs- bzw. Abbildungsprozess zunächst eine größere Bedeutung als der eigentliche Simulationsprozess, d.h. die „sichtbare“ Abbildungsgenauigkeit hat einen höheren Stellenwert als die Funktionalität der Konstruktion in Bezug auf das zugrundeliegende Modell. Dies widerspricht Überlegungen, nach denen der Erkenntnisprozess beim Lernen mit Modellen aus einer Wechselbeziehung von Modellentwicklungs- und Modellvalidierungsprozessen erwächst (Wedekind, 1981).

Die Bedeutung des Sichtbaren wird auch daran deutlich, dass nur zwei der acht untersuchten Gruppen die nicht visuell wahrnehmbare Luft als „Luftteilchen“ in ihre Konstruktionen integrieren (siehe Abb. 9-12, C&D, S.73). Alle anderen Gruppen verzichten auf Teilchen zur Darstellung der Luft (siehe Abb. 9-12, A&B, S.73).

Eine Erklärung für diese Ergebnisse könnte im fehlenden Teilchenmodellverständnis liegen. Wie die Untersuchungsergebnisse von Brook et al. (1989) zeigen, ist die Luft für Schülerinnen und Schüler nur dann vorhanden, wenn sie diese in Form von Wind oder Luftströmungen wahrnehmen können. Da die Luft nicht sichtbar ist, wird sie auch nicht in die Konstruktion integriert. Eine Abbildungsweise, die sich bereits nach der ersten Unterrichtsstunde verändert. Im Verlaufe der Unterrichtsreihe verwenden immer mehr Lernende Teilchen für die Darstellung der Luft oder anderen gasförmigen Stoffen.

Auch die Annahme von Pfundt (1981), dass die Einführung in das Teilchenmodell über einen Etherdiffusionsversuch schwierig ist, da sich in den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler Ether nicht zwangsläufig als Teilchen, sondern auch als homogene Masse durch die Luft bewegen kann, vergleichbar einem Stein durch Wasser, könnte für das Ergebnis mitverantwortlich sein. Die Konstruktionen der Schülerinnen und Schüler legen die Vermutung nahe, dass die Vorstellung von der Existenz einer „teilchenartigen Luft“ viel unverständlicher ist als die Vorstellung eines „teilchenartigen Ethers“. Die Luft besitzt für die Lernenden keinen funktionalen Aspekt im Experiment. Sie wird, wenn überhaupt, als homogene Masse wahrgenommen. Es wird eine auf die visuelle Wahrnehmung reduzierte, strukturelle Analogie zwischen realen Objekten und dem Modell geschaffen. Die Übertragung wichtiger funktioneller Analogien zum Etherdiffusionsversuch bleibt zumeist unberücksichtigt. Das Fehlen eines naturwissenschaftlichen Modellverständnisses kann nur durch den Einsatz des Programms „L.E.S.P.“ nicht behoben werden. Nur die Intervention der Lehrperson in Kombination mit gemeinsamen Klassendiskussionen, in denen die erstellten Modelle miteinander und mit den realen Objekten verglichen werden, kann dazu beitragen die Schwierigkeiten zu lösen. In diesem Sinne leistet das Programm für die Lehrperson einen bedeutenden Beitrag zum Erkennen der Verständnisprobleme.

9.3.4 Deskriptive Betrachtung des Entwicklungsprozesses eines Modells mit „L.E.S.P.“

Im folgenden Abschnitt wird exemplarisch der Modellbildungsprozess einer Schülergruppe mit „L.E.S.P.“ nachgezeichnet. Die Schritte vom realen Objekt zur struktur- und funktionsanalogen Abbildung eines Experiments können in Form eines

dreistufigen Modellbildungsprozesses beschrieben werden (siehe Abb. 9-14, S.76; siehe auch Kapitel 5: Computersimulationen dynamischer Systeme, S. 37).

Im Vordergrund steht zunächst, ausgehend vom Phänomen, die Problemformulierung, die aus der Phänomenanalyse resultiert und die die Beschreibung von Grenzen, Objekten und ihre Relationen beinhaltet (Wedekind, 1981).

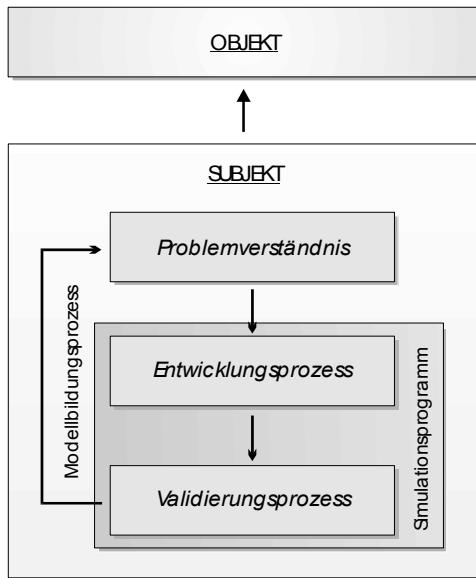


Abb. 9-14: Darstellung des Modellbildungsprozesses mit „L.E.S.P.“

Es entsteht ein konzeptionelles Modell, welches als Datenbasis die Ansicht der Schülerinnen und Schüler reflektiert und zu einer schrittweisen Reduktion des Realitätsbereichs führt.

Gekoppelt an einen Modellvalidierungsprozess, der die Prüfung von Funktionalität und Abbildungsgenauigkeit gegenüber dem realen System und damit auch den eigentlichen Simulationsprozess im Programm beinhaltet, entsteht eine Wechselbeziehung aus Problemverständnis-, Entwicklungs- und Validierungsprozess. Zur Validitätsprüfung gehört jedoch nicht nur die korrekte Erfassung von Systemobjekten, -attributen und -beziehungen, sondern auch die Ermittlung der Modell- und Abbildungsgrenzen. Die beschriebene Wechselbeziehung von Entwicklungs- und Validierungsprozess stellt

einen wesentlichen Aspekt für die Erkenntnisgewinnung und den Modellverständnisprozess dar.

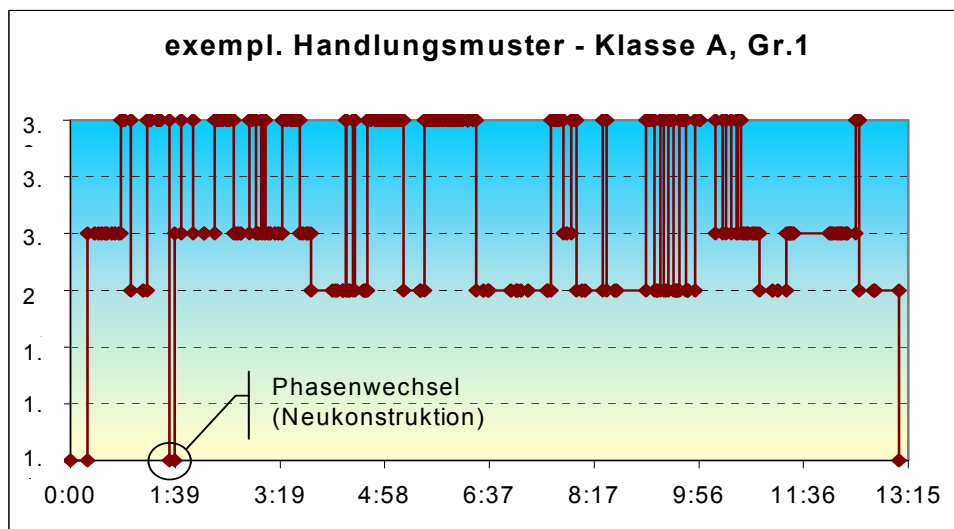


Abb. 9-15: Darstellung des zeitlichen Verlaufs eines alternierenden Entwicklungsprozesses einer Konstruktion mit dem Programm „L.E.S.P.“.

Die im folgenden betrachteten Daten stammen ebenfalls aus der ersten Unterrichtsstunde zum Thema „Einführung in das Teilchenmodell“ mit Hilfe des bereits angesprochenen Ether-Diffusionsversuchs.

Um zunächst einen Überblick über die Protokolldaten zu erhalten, wird der zeitliche Verlauf des Entwicklungsprozesses auf Basis der kategorisierten Programmoperationen betrachtet (siehe Abb. 9-15, S.76).

Das entstandene gruppenbezogene Handlungs- bzw. Aktionsmuster illustriert die einzelnen Handlungsschritte unter Berücksichtigung des dafür benötigten Zeitraums. Sehr deutlich fällt der Wechsel zwischen den verschiedenen Kategorien auf, insbesondere zwischen den Kategorien 2 (Simulationsprozesse), 3.1 (Erzeugen von Objekten) und 3.3 (Modellieren von Objekten). Im Gegensatz dazu kommen die Kategorien 1.2 (Information und Kommunikation), 1.3 (Auswertung) und 3.2 (Löschen von Objekten) in diesem Beispiel nicht vor.

Der mehrfache Wechsel zur Kategorie 2 und von dieser Kategorie zurück zur Kategorie 3 weist auf einen intensiven Validierungsprozess hin, in welchem die entwickelten Konstrukte durch Simulationsprozesse auf ihre Funktionalität überprüft werden. Ein solcher Wechsel zwischen Objektoperationen und Simulationen bzw. Entwicklungs- und Validierungsprozess kann als ein „alternierender“ Modellbildungsprozess bezeichnet werden. Im Gegenteil dazu stehen „stetige“ Modellbildungsprozesse, in denen überwiegend am Anfang und Ende des Entwicklungsprozesses die Konstrukte validiert werden.

Das Aktionsmuster der dargestellten Gruppe A zeigt zudem, dass der beschriebene Wechselprozess an einen zweiphasigen Entwicklungsverlauf gekoppelt ist (siehe Tab. 9-8). Die beiden Phasen sind gekoppelt an zwei unabhängige Systementwicklungen.

| | Dauer | Anzahl der Simulationsphase | Anzahl eingefügter Objekte: | | |
|-----------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|----------|
| | | | Teilchen | Wand | Gefäß |
| Phase I | 1:39 | 1 | 8 | 0 | 1 |
| Phase II | 11:27 | 17 | 44 | 3 | 0 |
| Gesamt | 13:06 | 18 | 52 | 3 | 1 |

Tab. 9-8: Auflistung der aus der Protokolldatei entnommenen relevanten Eckdaten für den zweiphasigen Modellbildungsprozess.

Die Lernenden verwerfen im Verlauf des Modellbildungsprozesses ihr erstes Modell, da es keine adäquate Analogie zum Grunde liegenden realen Systems darstellt. Die zweite Phase liefert ein für die Schülergruppe zufriedenstellendes Modell des Ether-Experiments, das sowohl strukturelle wie funktionelle Analogien zum Original berücksichtigt.

In der ersten Phase entwickeln die Lernenden ein Modell, das aus einem geschlossenen Gefäß- und acht Teilchenobjekten gleicher Größe, Farbe und Masse besteht (siehe Abb. 9-16, Phase I). Diese Phase umfasst 25 Entwicklungsschritte. Nach der Modellsimulation stellen die Lernenden jedoch fest, dass ein geschlossenes Gefäß das Ausbreiten der Teilchen verhindert und dass damit eine Reihe von essentiellen strukturellen und funktionellen Abbildungsaspekten des realen Experiments nicht

übertragen worden sind. Dieses Modell wird darauf hin verworfen. Diese Entwicklungsphase dauert etwa anderthalb Minuten und beinhaltet lediglich eine Simulationsphase (siehe Abb. 9-15, S.76: Nach etwa 1:39 Minute beginnen die Lernenden ein neues Modell zu entwickeln.)

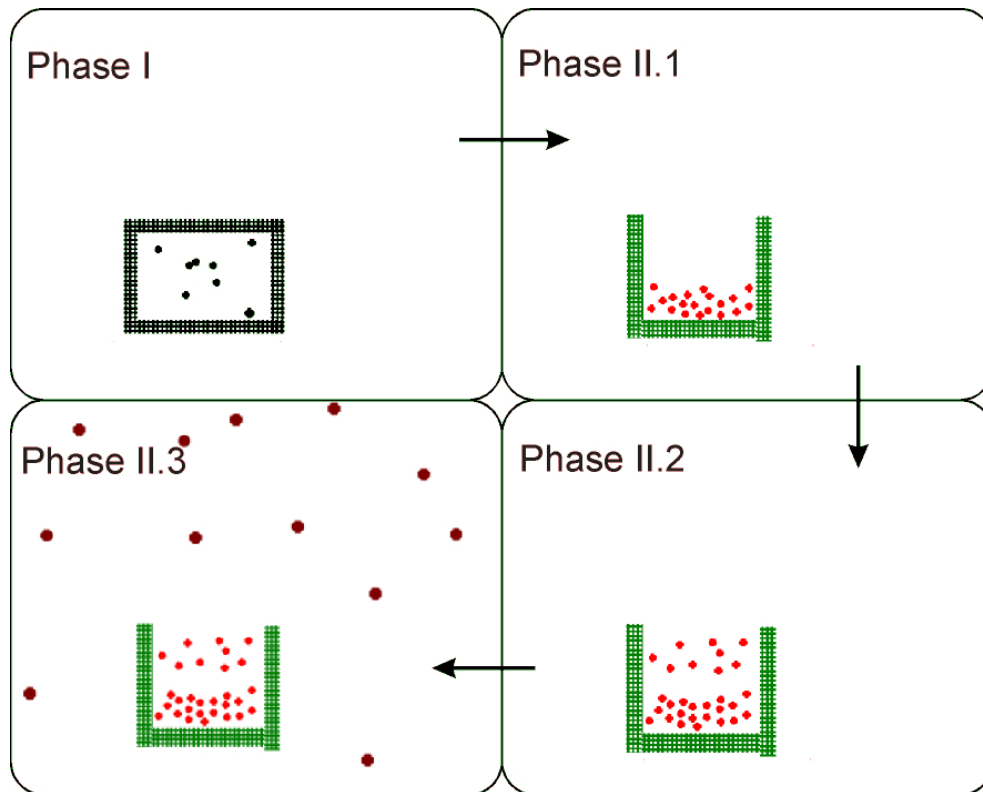


Abb. 9-16: Darstellung des zweiphasigen Modellbildungsprozesses.

Ein wichtiges Handlungsmuster für die korrekte Entwicklung eines Modells scheint der wiederholte Wechsel von Objektaktionen (Erstellen und Modellieren von Objekten) und Simulationen zu sein. Insgesamt gibt es in der zweiten Phase 17 Wechsel zwischen dieser Kategorie und anderen. Nach einigen Kategoriewechseln werden wichtige strukturelle und funktionelle Aspekte des entwickelten Modells erzeugt oder modifiziert. Es zeigt sich deutlich, dass der Wechsel zwischen Entwicklungs- und Validierungsprozess ein wesentlicher Gesichtspunkt für das Modellverständnis ist. Letztlich resultiert auch der Wechsel von der ersten zur zweiten Konstruktionsphase aus den gewonnenen Erkenntnissen des Validierungsprozesses am Ende der ersten Phase.

Betrachtet man die zweite Phase genauer, so kann diese in drei weitere Entwicklungsstufen zerlegt werden, die jedoch fließend ineinander übergehen. In der ersten Stufe erstellen die Schülerinnen und Schüler ein Modell, das aus einem offenen Gefäß und 19 Teilchen gleicher Eigenschaften besteht. Sowohl das Gefäß als auch die Teilchen werden modifiziert. Die zweite Stufe beginnt damit, dass die Schülergruppe eine zusätzliche Teilchengruppe in das Modell integriert, die zur analogen Darstellung der Ethergasphase im realen Experiment dient. In der dritten Stufe fügen die Lernenden zusätzliche Teilchen zur Darstellung der Luft in das Modell ein. Dazu verwenden sie größere, andersfarbige Teilchen, die um das Gefäß herum verteilt werden. Mit dieser letzten Entwicklungsstufe ist ein für die Gruppe tragfähiges Modell entstanden, welches weitreichende strukturelle und funktionelle Aspekte des Realexperiments berück-

sichtigt. Mit dessen Hilfe kann die Diffusion des Ethers auf Teilchenebene erklärt werden. Die Bedeutung der Simulation für den Entwicklungsprozess wird dabei nicht so deutlich wie in der Phase I. Da jedoch die Entwicklungsphasen immer wieder von längeren Simulationsphasen unterbrochen werden, liegt die Vermutung nahe, dass die Simulation der Modelle eine wesentliche Funktion für den Modellbildungsprozess in allen drei Stufen der zweiten Phase besitzt.

Es stellt sich die Frage, ob die Vorgehensweise, d.h. die Art und Weise wie Modelle von den Schülerinnen und Schülern entwickelt werden, eine Aussage darüber zulässt, ob das Entwicklungsergebnis als ein adäquates Modell zu einem bestimmten Thema betrachtet werden kann und ob die Vorgehensweise Aussagen zum Lernprozess erlaubt.

Zur Prüfung dieser Annahme werden die einzelnen Kategorien auf einem Zeitstrahl aufgetragen, der die zeitlichen Verhältnisse berücksichtigt unter dem diese Daten während der Computerarbeitsphase im Unterricht aufgezeichnet wurden. Es entsteht ein individuelles „Aktionsmuster“ von Entwicklungs- (Hauptkategorie 3) und Validierungsprozessen (Hauptkategorie 2) (siehe Abb. 9-17).

Zunächst lassen sich unterschiedliche Vorgehensweisen erkennen. Der überwiegende Teil der Schülergruppen arbeitet mit dem Programm wie oben beschriebene. Der Verlauf ist durch häufige Wechsel von Objektoperationen und Simulationen gekennzeichnet (siehe Abb. 9-17, rechts). Einige der Schülergruppen entwickeln jedoch zunächst ihre Modelle. Simulationsphasen finden sich überwiegend am Anfang und am Ende des Entwicklungsprozesses (siehe Abb. 9-17, links). Bei solchen Gruppen finden sich konstante Entwicklungsphasen von mehr als zehn Minuten. Trotz dieser unterschiedlichen Vorgehensweisen und der verschieden hohen Anzahl von Simulationsschritten, deutlich sichtbar am Beispiel der Gruppen 2 (28 Schritte) und 5 (106 Schritte), gleichen sich die generierten Modelle. Sie entsprechen dem dargestellten Modell A in Abb. 9-12 (S.73). Ein solch ungleiches Modellbildungsverhalten zeigen auch Gruppen, die zu adäquaten Modellen kommen (z.B. in Abb. 9-12, C oder D, S. S.73). Hier können ebenfalls Gruppen mit „stetigen“ und „alternierenden“ Vorgehensweisen unterschieden werden.

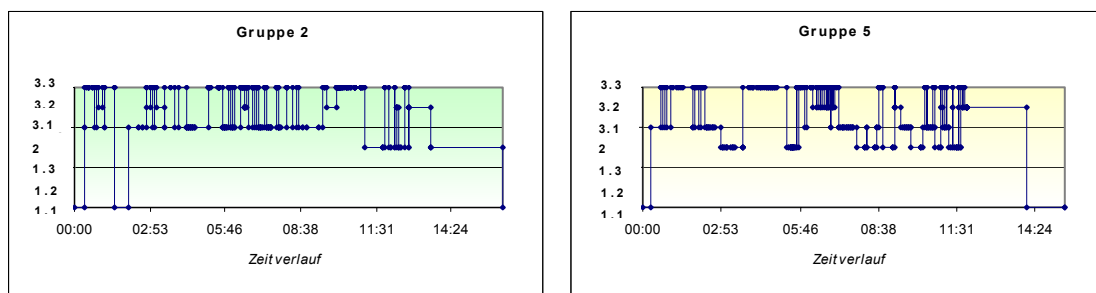


Abb. 9-17: Darstellung des zeitlichen Verlaufs eines „stetigen“ (links) und „alternierenden“ Modellbildungsprozesses (rechts).

Wie diese Beispiele zeigen, kann von einem Handlungsmuster nicht auf die Angemessenheit der Konstruktionen geschlossen werden. Die Annahme, dass ein verstärkter Wechsel zwischen Konstruktions- und Simulationsphase zu einem strukturell und funktional besseren Modell führt, lässt sich damit zunächst nicht bestätigen. Der Vergleich der Handlungsmuster verschiedener Gruppen lässt

offensichtlich keine Aussage darüber zu, ob die entwickelten Modelle strukturell und funktional analog gegenüber dem Realexperiment sind. Anhand eines bestimmten Handlungsablaufs kann auch keine Aussage darüber getroffen werden, ob die Schülerinnen und Schüler durch ihre Vorgehensweise etwas gelernt haben oder nicht, da der Lernprozess mit dem Modell nicht abschließt, sondern zu einer vertiefenden Reflexionsphase führt, in der die Modelle im Rahmen einer Klassendiskussion besprochen werden.

9.3.5 Einfluss der Kenntnisse zum Teilchenmodell auf die Modellbildungsprozesse

Die bislang im Rahmen der Protokolldateianalysen betrachteten Modelle stammen aus der ersten computerunterstützten Unterrichtsstunde mit „L.E.S.P.“. Die Schülerinnen und Schüler sind zu diesem Zeitpunkt noch wenig mit dem Programm und der zugrundeliegenden Modellvorstellung vertraut. Über den Zeitraum der Unterrichtsreihe kann eine intensive Nutzung des Programms und des Teilchenmodells zu einer Veränderung der Handlungsphasen führen. Ein Indiz für solche neu strukturierten Arbeitsprozesse könnte beispielsweise die Reduzierung von Modellierungsprozessen oder Simulationsphasen sein.

Es fällt auf, dass mit der Komplexität des betrachteten Phänomens und einer damit verbundenen adaptiven Steigerung des Programmfunktionsumfangs die Anzahl der Simulationsphasen zunimmt. Die grafische Darstellung der Simulationsphasen im Zusammenhang mit den verschiedenen Unterrichtsthemen zeigt deutlich die themenbedingten Unterschiede in den Handlungsmustern (siehe Abb. 9-18).

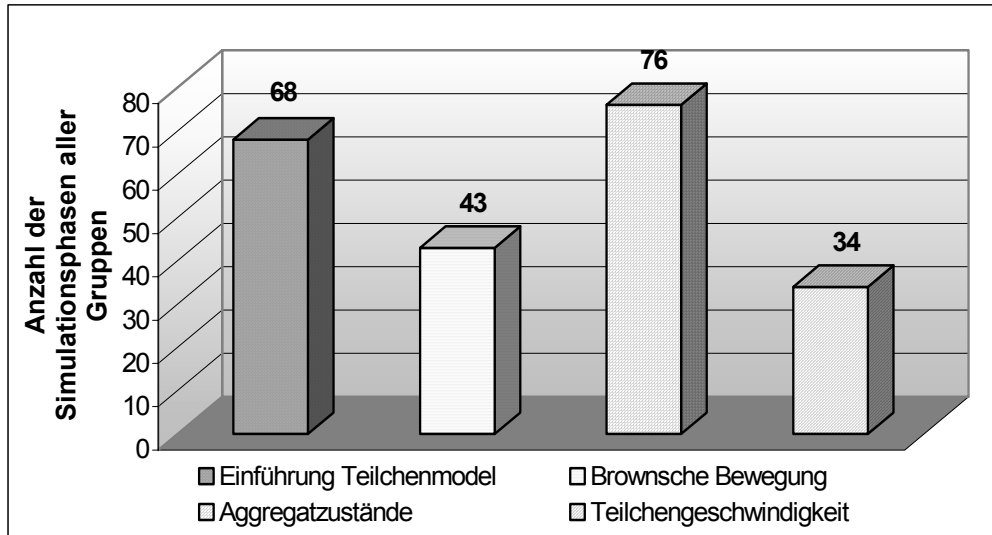


Abb. 9-18: Diagramm zur Darstellung des Zusammenhangs von Animationsphase und Unterrichtsthema der gesamten Klassen.

In der ersten Unterrichtsstunde ist die Anzahl der durchgeführten Simulationen am zweithöchsten. Die Lernenden kommen zum ersten Mal mit dem Programm und dem Teilchenmodell in Berührung. Mit der Behandlung der „Brownschen Bewegung“ sinkt die Anzahl der Simulationsphasen auf 43 innerhalb der Klasse ab. Bei der Thematisierung der Aggregatzustände steigt die Anzahl der Simulationsphasen pro Gruppe wieder auf mehr als neun, insgesamt 76. Hier wird zum ersten Mal die Teilchengeschwindigkeit thematisiert. Das anschließende Thema ist wiederum eine

Wiederholung und damit sinkt die Anzahl der Simulationsaktionen erneut. Dies legt die Vermutung nahe, dass das Handlungsmuster, insbesondere die Anzahl der Simulationssequenzen, mit der Unbekanntheit und subjektiv empfundenen Komplexität des behandelten Phänomens steigt.

Kann diese Veränderung der Handlungsstrategien als ein Resultat mentaler Modellbildungsfähigkeiten betrachtet werden? Ohne Zweifel besitzen analoge mentale Repräsentationen eine essentielle Bedeutung für modellunterstützte Lernprozesse. Sie bilden Relationen zu den wahrgenommenen realen Objekten mit der Fähigkeit diese zu manipulieren und zu transformieren. Es stellt sich die Frage, ob die Veränderungen des Arbeitsverhaltens der Schülerinnen und Schüler als Lernprozess interpretiert werden kann, in dem die Lernenden die Fähigkeiten und Kenntnisse erwerben, den computergestützten Modellbildungsprozess durch mentale Modellierungsprozesse zu ersetzen. Wird ein solcher mentaler Modellierungsprozess jedoch ausgeschlossen, so ließe sich nur schwer die Fähigkeit von Schülerinnen und Schüler begründen, ohne Modellierung und Simulation ein korrektes Modell zu erzeugen. Gleichzeitig liegt die Vermutung nahe, dass die Fähigkeit eines Lernenden zu einem solch komplexen mentalen Prozess auf einem tiefgehenden Modellverständnis beruht. Ähnliche Fähigkeiten benötigen Lernende bei statischen Darstellungen von Aggregatzuständen im Lernleistungstest.

Der Lernprozess, der im Verlauf des Unterrichts stattfindet, führt dazu, dass die Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt werden, durch die Bildung von dynamischen mentalen Modellen auf der Basis präsentierter Phänomene, Aussagen zu treffen, die die Nutzung des Computersimulationsprogramms effektiver gestaltet. Je ähnlicher ein neu zu konstruierendes Modell gegenüber einem bereits bekannten Modell ist, desto weniger Simulationssequenzen sind notwendig. Dies erklärt die abnehmende Anzahl der Simulationsschritte im Verlauf der Unterrichtsreihe. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Generierung von mentalen Modellen nicht allein den piktoralen Informationen obliegt (Schnotz, 1998), sondern auch aus propositionalen Informationen, die zum Beispiel durch Klassendiskussionen eingebracht werden, erfolgen kann.

9.3.6 Zusammenfassung

Auf der Basis der Ergebnisse zu den Konstruktionsprozessanalysen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Die während des Arbeitsprozesses mit dem Programm „L.E.S.P.“ aufgezeichneten Handlungs- bzw. Aktionsmuster stellen individuelle, subjektive Modellentwicklungsprozesse dar. Diese sind abhängig vom Lernenden und vom Inhalt. Ein bestimmtes Handlungsmuster gibt keinen Aufschluss über die Abbildungsqualität des Konstrukts gegenüber dem Realexperiment. Die Häufigkeit der Simulationssequenzen während des Modellbildungsprozesses, kann ein mögliches Indiz für die Komplexität des zu erstellenden Modells sein. Eine zunehmende Verkürzung der Programmnutzung kann ein Indiz für eine durch das Programm erlernte Fähigkeit sein, dynamische mentale Modelle bilden zu können. Umfangreiche Modellbildungsprozesse können damit überflüssig werden bzw. auf kognitive Prozesse reduziert bleiben.

10 Studie II

10.1 Untersuchungsdesign, -methoden und Probandengruppen

Die Studie II ist eine Vergleichsstudie mit drei Klassen einer 7. Jahrgangsstufe im Pre- und Post-Test-Design, die alle von einer Lehrperson unterrichtet wurden.

Insgesamt haben 90 Schülerinnen und Schüler an den Tests teilgenommen. Für die Gesamtauswertung wurden jedoch nur die Daten der 82 Schülerinnen und Schüler herangezogen, die sowohl am Pre- wie auch am Posttest teilgenommen haben.

Zunächst werden mit Schülerinnen und Schülern aller Klassen Pre-Test zum Teilchenkonzept, zur allgemeinen Computernutzung und zu -kenntnissen durchgeführt (siehe Abb. 10-2, S.83). Die erste Gruppe, im folgenden als Klasse A bezeichnet, wird computerunterstützt unterrichtet. Die Schülerinnen und Schüler dieser Klasse nutzen „L.E.S.P.“ als Konstruktionswerkzeug für ihre Modellvorstellungen. Die zweite Gruppe, im folgenden als Klasse B bezeichnet, wird mit „L.E.S.P.“ auf einer rein „präsentativen“ Ebene unterrichtet. Diese Schülerinnen und Schüler erhalten animierbare Modelle der Klasse A ohne diese verändern oder manipulieren zu können. Die dritte Gruppe, die im folgenden als Klasse C bezeichnet wird, wird nach dem gleichen Unterrichtskonzept wie die anderen Klassen unterrichtet, jedoch ohne Computernutzung. Die Klasse C verwendet als Diskussionsgrundlage Abbildungen der von der Klasse A erzeugten Modelle. Durch diese Gliederung erhalten alle Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, unabhängig von der Klassenzugehörigkeit auf der gleichen Basis über Modelle zu diskutieren. Die in den Klassen durchgeführten Interventionen unterscheiden sich lediglich, im Grad der Eigenaktivität beim Konstruieren des Modells bzw. der zu Grunde gelegten Darstellungsformen (siehe Abb. 10-1). Am Ende der Unterrichtsreihe wird ein Nachtest zum Teilchenkonzept durchgeführt.

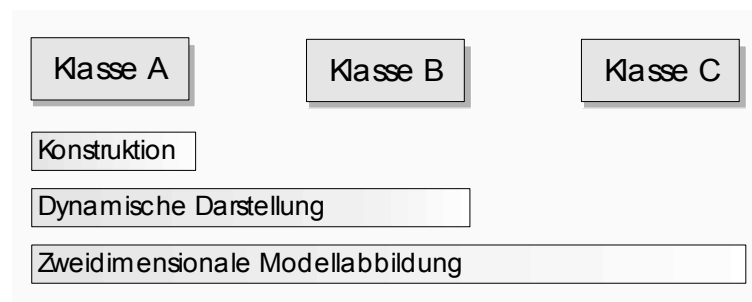


Abb. 10-1: Darstellung des Konstruktions- und Darstellungsanteils in den intervenierten Klassen.

Der Pre-Test dient dazu grundlegende Informationen über die individuellen Leistungsmerkmale der Schülerinnen und Schüler zu erhalten. Als Testinstrument für die Untersuchung wird eine von Kircher und Heinrich (1984) ins deutsche übersetzte Version des von Novick und Nussbaum (1978, 1981) entwickelten Tests zur Teilchenvorstellung von Gasen verwendet (siehe Anhang E: Lernleistungstest der Studie II, S.126). Dieser Test besteht aus insgesamt acht Fragen zur Teilchenstruktur von Gasen und Flüssigkeiten. Ergänzt wird dieser Test durch eine Aufgabe, die die Aggregatzustände thematisiert. Von den verwendeten neun Aufgaben sind jeweils drei

als Zeichenaufgaben, drei als offene Antwortaufgaben und als drei als Multiple-Choice-Aufgaben konzipiert. Die themenspezifischen Aufgaben wurden von Novick und Nussbaum so konstruiert, dass bekannte Alltagsvorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Aufbau und zum Verhalten von Materie untersucht werden. Dabei handelt es sich um Konzepte, die nach einer Unterrichtseinheit zur Teilchenvorstellung durch adäquate naturwissenschaftliche Konzepte ergänzt bzw. erweitert werden. Die verwendeten Aufgaben beinhalten die Darstellung der verschiedenen Aggregatzustände (Teilchenzeichnungen zu festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen), deren Veränderung und Verhalten durch Erwärmung und Abkühlung, Darstellungen und Erklärungen zur Eigenbewegung der Teilchen bis hin zur Beschreibung der Teilchenzwischenräume.

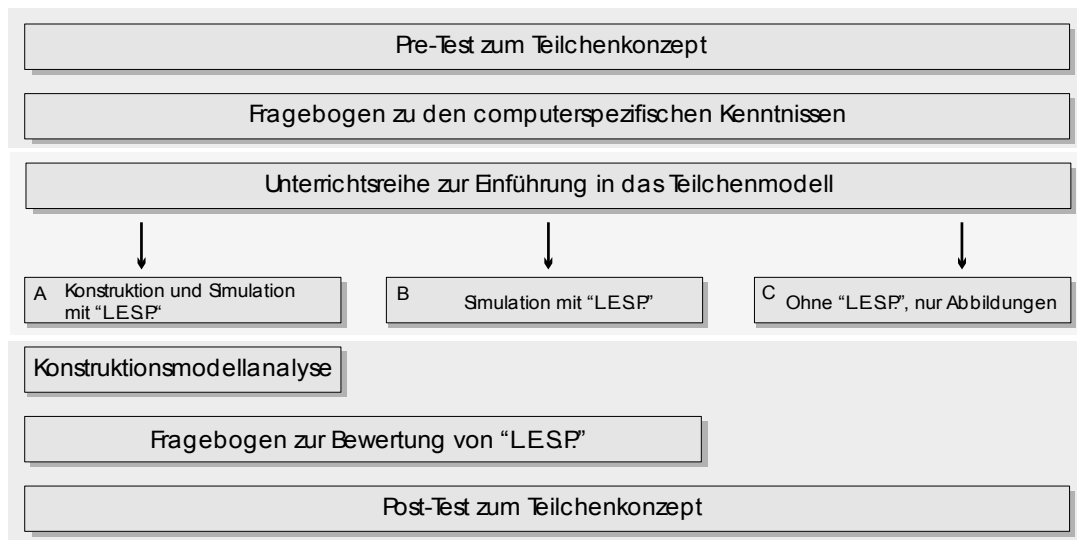


Abb. 10-2: Untersuchungsdesign der Studie II.

Für die Bearbeitung des Tests wurde kein Zeitlimit vorgesehen. Die Schülerinnen und Schüler benötigen, abhängig von den angefertigten Zeichnungen, im Schnitt zwischen 15 bis 20 Minuten.

Die Pre-Tests wurde etwa drei Monate vor der Durchführung der Unterrichtsreihe von den Schülerinnen und Schülern der einzelnen Klassen bearbeitet. Der Nachtest, der identisch zu den Aufgaben des Vortests ist, wird im Zeitraum von ein bis zwei Wochen nach der Unterrichtsreihe durchgeführt. Auf Grund des großen Zeitraums von 5 Monaten zwischen Pre- und Post-Test, etwa 5 Monate, kann ein eventueller Lerneffekt durch den Test selbst als irrelevant angesehen werden. Außerdem wäre dieser Effekt in allen drei Gruppen gleich.

Um zu prüfen, ob die ermittelten Lernleistungsunterschiede signifikant sind, wird der Student-Test (t-Test) durchgeführt. Mit diesem kann geprüft werden, ob sich die unabhängigen Mittelwerte zweier Stichproben charakteristisch voneinander unterscheiden. Dem Student-Test geht der F-Test voraus, der die Zufälligkeit der Varianzunterschiede zwei Stichproben prüft. Beim Vergleich der Lerntestergebnisse beider Klassen wird ein beidseitiges Signifikanzniveau von 95 Prozent angenommen.

Der Test zum computerspezifischen Vorwissen, der parallel zum themenspezifischen Vorwissenstest durchgeführt wird, dient der Erfassung des subjektiven Interesses an Computern, der Computerkenntnisse und der Nutzungshäufigkeiten in Freizeit und

Schule. Es wird damit geprüft, ob sich die Klassen in der Anzahl an Schülerinnen und Schülern mit geringen Computerkenntnissen und –erfahrungen unterscheiden und ob die individuellen Unterschiede so groß sind, dass sie bei der Einarbeitung in das Programm „L.E.S.P.“ berücksichtigt werden müssen.

Die insgesamt sechs Fragen des Fragebogens beziehen sich auf die Häufigkeit der Computernutzung in der Freizeit, auf die dabei bevorzugt verwendeten Programme, die Selbsteinschätzung in Bezug auf das Computerwissen, eine frühere Nutzung von Computern in der Schule sowie das Interesse eines häufigeren schulischen Computereinsatzes.

10.2 Erhebung der computerspezifischen Kompetenz

Die Erhebung des Computerwissens und der Computerwochennutzungszeit ist das primäre Ziel dieser Untersuchung, um im weiteren Verlauf der Studie Aussagen über den Einfluss dieser Komponenten auf den Lernerfolg im Zusammenhang mit dem Einsatz des Computersimulationsprogramms „L.E.S.P.“ machen zu können (Fragebogen, siehe Anhang F: Computerfragebogen der Studie II, S.133). Es soll dadurch geklärt werden, ob die untersuchten Schülerinnen und Schüler durch die Computernutzung in der Freizeit eine ihrer Meinung nach nennenswerte Kompetenz im Umgang mit dem Gerät erworben haben.

Diesem Untersuchungsabschnitt liegt die Überlegung zu Grunde, dass Lernende, die kein Interesse an Computern haben und damit auch nur geringe Kenntnisse, keine Motivation besitzen in der Schule mit Computern zu arbeiten. Denkbar wäre sogar, dass für solche Schülerinnen und Schüler der Gebrauch eines Computers kontraproduktiv wirkt, da sie ihre volle Aufmerksamkeit für die korrekte Benutzung des Computers benötigen. Die eigentliche Nutzungsabsicht könnte damit in den Hintergrund rücken.

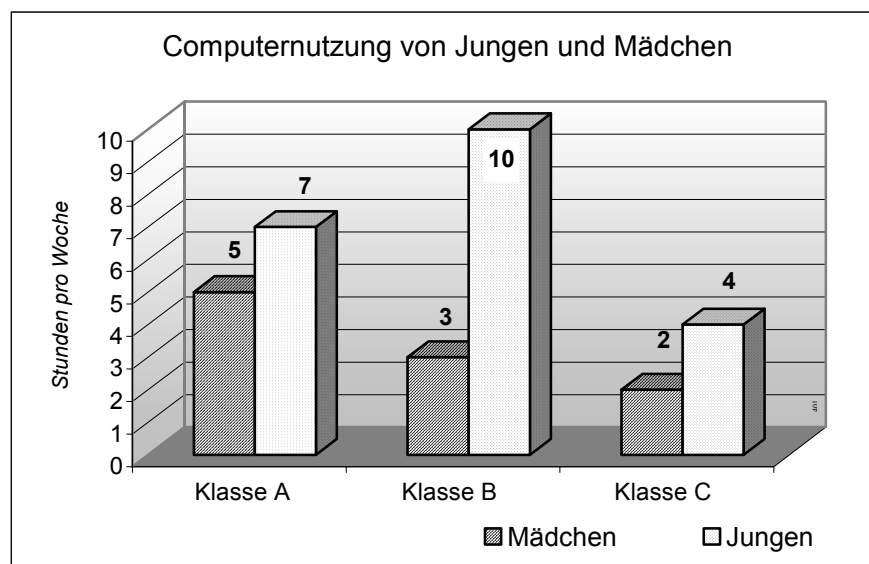


Abb. 10-3: Säulendiagramm zur Darstellung der Nutzungshäufigkeit von Computern, nach Geschlechtern getrennt.

Im Sinne des Untersuchungsdesigns fungieren die erhobenen Daten als zusätzliches Zuweisungskriterium der verschiedenen Klassen zu den Lernarrangements. Die

Klassen, die im Mittelwert die höchsten Computerkenntnisse aufweisen, werden auch computerunterstützt unterrichtet werden.

Die Erhebungsdaten zeigen ein breites Spektrum auf, das von 0 Stunden bis einem Spitzenwert von 20 Stunden pro Woche reicht. Unterschiede zeigen sich nicht nur bei den einzelnen Personen, sondern auch bei den Klassen. Während die Schülerinnen und Schüler der Klasse C den Computer im Durchschnitt gut 3 Stunden pro Woche nutzen, verbringen die Lernenden der Klassen A und B mit mehr als 6 Stunden pro Woche doppelt so viel Zeit vor dem Computer. Im Durchschnitt aller Klassen verbringen die Lernende etwa 5 Stunden pro Woche vor dem Computer (siehe Abb. 10-3, S.84).

Große Unterschiede sind zwischen Mädchen und Jungen erkennbar. Während die Mädchen etwa 3 Stunden pro Woche vor dem Computer verbringen, sitzen die Jungen mit 7 Stunden mehr als doppelt so lange davor. Dieses Resultat reproduziert die Ergebnisse einer acht Jahre alten Studie von Leu (1993). Damals zeigte sich ebenfalls, dass der Computer eher die Freizeit von Jungen dominiert, während Mädchen diesem Medium distanzierter gegenüberstehen.

Im Mittel verbringen weniger als ein Drittel aller Lernenden (28%) mehr als eine Stunde pro Tag und weniger als 7% mehr als zwei Stunden pro Tag am Computer. Das zeigt, dass es nur einige wenige „Vielnutzer“ gibt. Bei den meisten untersuchten Schülerinnen und Schülern bleibt der Umgang mit Computern auf ein sinnvolles Maß beschränkt.

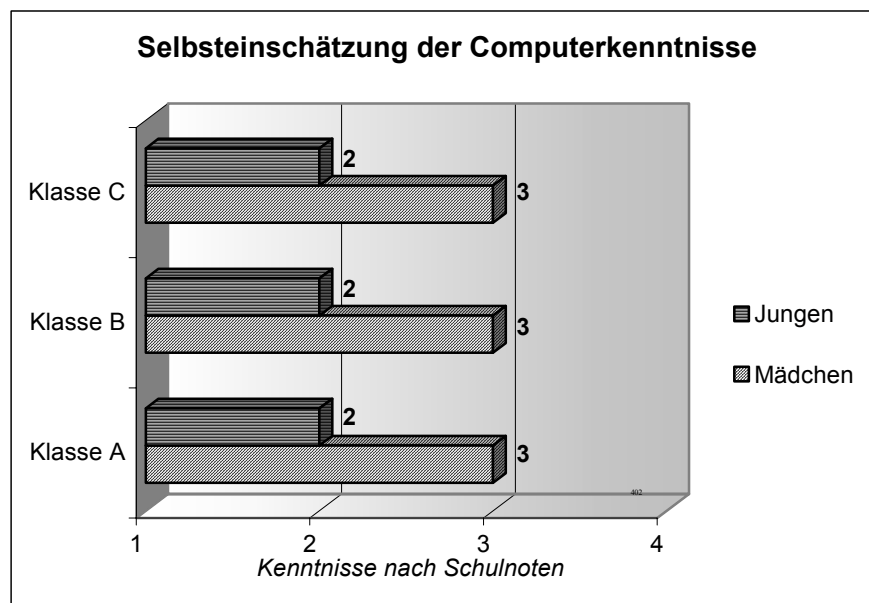


Abb. 10-4: Grafische Darstellung der Computerkenntnisse.

Neben den Angaben zur Dauer der wöchentlichen Computernutzung sollten die Schülerinnen und Schüler eine Selbsteinschätzung über ihre Computerkenntnisse nach dem schulischen Notensystem abgeben. Ähnlich der Frage zum Computerwissen findet sich auch hier eine große Varianz in den abgegebenen Beurteilungen. Das Notenspektrum reicht von der Bestnote 1 bis zur Note 6. Die Durchschnittsnote liegt bei etwa 2,5. Dabei schätzen Jungen klassenübergreifend ihre Kenntnisse gegenüber Mädchen im Mittelwert um eine Note höher ein (siehe Abb. 10-4).

In einer offenen Fragestellung sollten die Lernenden die Programme angeben, die sie in der Freizeit nutzen. Aus der Vielzahl der angegebenen Software konnten sieben Kategorien gebildet werden (siehe Tab. 10-1). Sechs der Kategorien beziehen sich auf Programme (Office- und Grafik-Anwendungen, Programmiersprachen, Lernsoftware, Lexika und Spiele), in die siebte Kategorie fallen alle Angaben rund um die Nutzung des Internets und der dazugehörigen Anwendungen, wie z.B. eines Browsers oder eines E-Mail-Programms.

| | Office | Grafik | Programmierung | Spiele | Lernsoftware | Lexika | Internet |
|---------|--------|--------|----------------|--------|--------------|--------|----------|
| Jungen | 36% | 11% | 9% | 92% | 32% | 9% | 17% |
| Mädchen | 11% | 5% | 0% | 84% | 30% | 8% | 11% |

Tab. 10-1: Darstellung der Nutzungsnennungen nach Kategorien geordnet.

Die Auswertungen der gesammelten Antworten zeigen ein ähnliches Bild wie bereits in früheren Untersuchungen dargestellt wurden (z.B. Leu, 1993). In erster Linie wird der Computer zum Spielen verwendet (siehe Tab. 10-1).

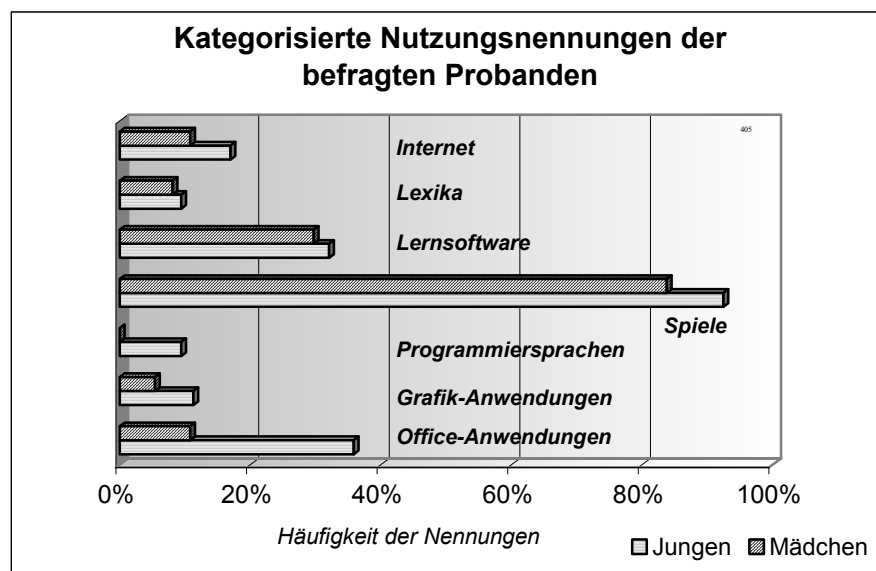


Abb. 10-5: Diagramm zur Darstellung der Computernutzungen in der Freizeit (Werte siehe Tab. 10-1).

88% aller Schülerinnen und Schüler (92% der Jungen und 84% der Mädchen) erwähnen mindestens ein Computerspiel. Spiele nehmen mit großem Abstand die Spitzenposition ein. Ihnen folgen Lernsoftware und Office-Anwendungen. Während Lernsoftware von jeweils einem Drittel der Jungen und Mädchen genannt wurden (siehe Tab. 10-1 und Abb. 10-5), sind die Office-Programme, die hauptsächlich Textverarbeitungsprogramme beinhalten, vor allem bei Jungen beliebt (36%). Office-Programme werden nur von 11% der Mädchen genannt, genauso häufig wie die Internetnutzung. Die Kategorie „Programmiersprachen“ wird von 9% der Jungen genannt, jedoch von keinem Mädchen.

Zusammenfassung

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die untersuchten Schülerinnen und Schüler der 7. Jahrgangsstufe teilweise bereits umfassende Erfahrungen im Umgang mit Computern haben. Auffällig sind die großen Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen. Die subjektiv bessere Einschätzung der Jungen bezüglich des Computerwissens gegenüber den Mädchen spiegelt sich in seiner entsprechend häufigeren Nutzung wider (Abb. 10-6).

Immerhin ein Drittel aller Schülerinnen und Schüler nutzen den Computer nicht ausschließlich zum Spielen, sondern auch als Lernmedium. Im Hinblick auf das Untersuchungsdesign besitzen die meisten Schülerinnen und Schüler genügend Erfahrungen im Umgang mit einem Computer um ohne große Einarbeitungsphase mit dem in der Untersuchung verwendeten Computersimulationsprogramm „L.E.S.P.“ arbeiten zu können. Im Hinblick auf die Wissens einschätzung und Computernutzung bieten sich vor allem die Klasse A und B an.

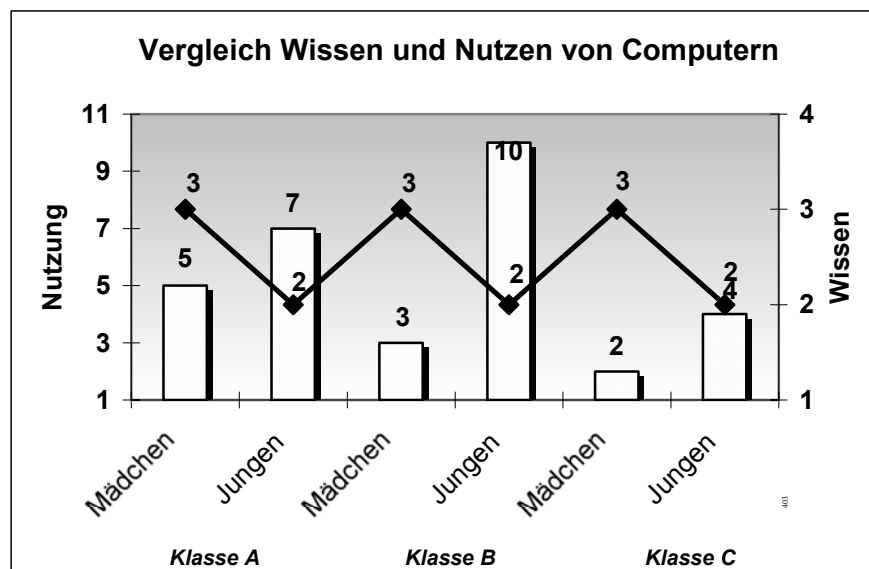


Abb. 10-6: Gegenüberstellung der Angaben zum Wissen und Nutzen von Computern.

10.3 Untersuchungsergebnisse

10.3.1 Aktive versus passive Computernutzung

Die grundlegende Fragestellung dieser Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss der aktiven gegenüber der passiven Nutzung dynamischer und statischer Modellabbildungen auf die Lernleistung.

Ausgehend von den Hypothesen, dass ein selbstbestimmtes, konstruktives Vorgehen zu einer nachhaltigeren Erarbeitung von Inhalten führt und dass gleichzeitig die Veranschaulichung von dynamischen Prozessen, die Bildung dynamischer mentaler Modelle erleichtert (Schnotz, 1998), sollen die Schülerinnen und Schüler der Klasse A mit einer konstruktiven Nutzung des Computersimulationsprogramm „L.E.S.P.“ die besten Leistungen beim Erlernen des Teilchenmodells erzielen. Der Vorteil dynamischer Modellrepräsentationen sollte die Lernenden der Klasse B, die mit einer dynamischen Modelldarstellung arbeiten gegenüber denen der Klasse C, welche statische Modellabbildungen verwenden begünstigen.

Die Ergebnisse des Leistungstests zum Teilchenkonzept nach Novick und Nussbaum (1978) zeigen diese erwarteten Tendenzen. Hierbei erreichen die Lernenden der Klasse A im Mittel die höchste Punktzahl, gefolgt von den Schülerinnen und Schülern der Klasse B und der Klasse C.

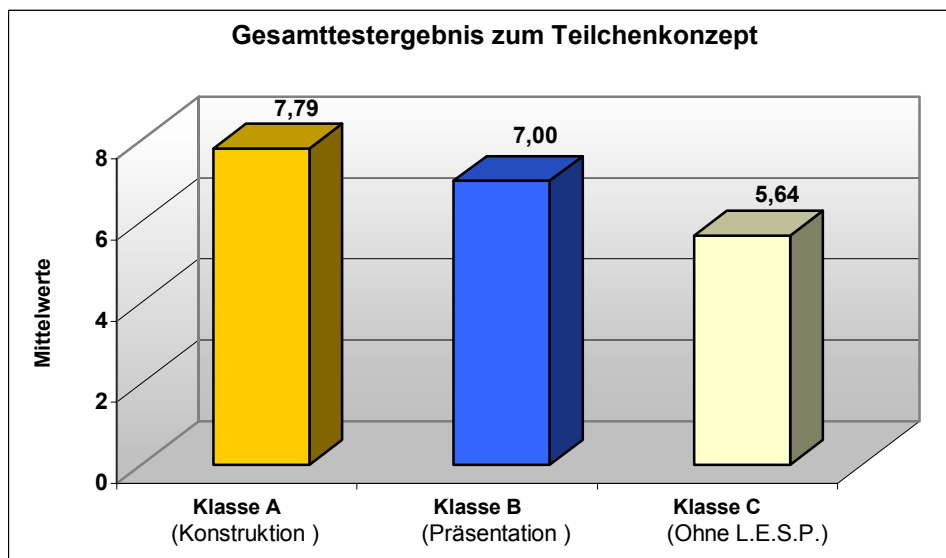


Abb. 10-7: Mittelwerte der drei Versuchsklassen für die Gesamtleistung des Teilchenkonzepttests.

Die Auswertung der Mittelwertunterschiede auf Basis der statistischen Methoden des F- und t-Tests ergibt einen signifikanten Unterschied ($<.001$) zwischen den Lernenden mit konstruktiver Nutzung von „L.E.S.P.“ und den Schülerinnen und Schülern, die mit statischen Abbildungen im Unterricht gelernt haben. Die Auswertungen zeigen ebenfalls einen signifikanten Unterschied ($<.05$) zwischen den Lernenden, die mit dynamischen Abbildungen und jenen, die mit statischen Abbildungen gelernt haben. Keinen signifikanten Leistungsunterschied ergibt der Vergleich der Ergebnisse zwischen den Lernenden der beiden Klassen mit dynamischen Modellrepräsentationen.

Tendenziell erzielen aber die Lernenden der Klasse A bessere Ergebnisse (siehe Tab. 10-2).

| Klasse | Mittelwerte | F-Test | t-Test | Signifikanz |
|--------|-------------|--------|--------|-------------|
| A | 7,79 | 1,14 | 1,25 | n.s. |
| B | 7,00 | | | |
| A | 7,79 | 1,67 | 3,78 | <.001 |
| C | 5,64 | | | |
| B | 7,00 | 1,47 | 2,37 | <.05 |
| C | 5,64 | | | |

Tab. 10-2: Mittelwert-, F- und t-Testergebnisse der Gesamtleistung des Lerntests zum Teilchenkonzept.

Die erhaltenen Ergebnisse entsprechen damit den Erwartungen der Hypothese. Es zeigt sich, dass die Lernenden mit selbstkonstruierten, dynamischen Modellen bessere Lernleistungen erzielen als Lernende mit einfachen dynamischen oder statischen Abbildungen. Die Bedeutung der Dynamik für den Lernprozess mit Modellen zeigt sich in den besseren Lernleistungen der Klasse B im Unterschied zur Klasse C.

10.3.2 Leistungsunterschiede bei den illustrativen Lerntestaufgaben

Die in der Studie verwendete erweiterte Form des Lerntestfragebogens zum Teilchenkonzept von Novick und Nussbaum (1978) beinhaltet insgesamt drei Aufgaben mit fünf Teilaufgaben, die zeichnerisch zu lösen sind. Diese Aufgaben erfordern eine teilchenartige Darstellung der verschiedenen Aggregatzustände.

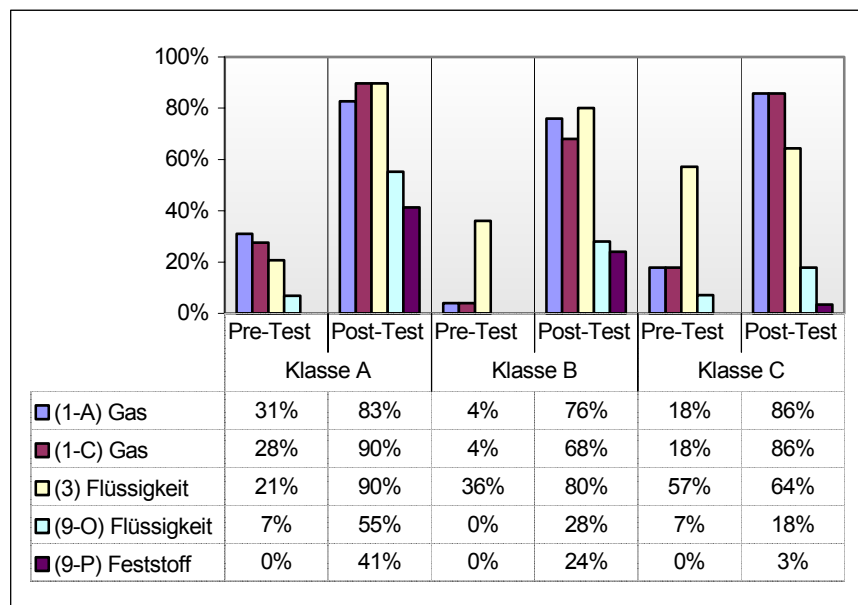


Abb. 10-8: Prozentualer Anteil der Lernenden mit korrekter Teilchendarstellung bei den verschiedenen Illustrationsaufgaben im Pre- und Post-Test-Vergleich.

Der statistische Vergleich der Mittelwertunterschiede der drei Untersuchungsklassen in Bezug auf die Zeichenaufgaben ergibt einen signifikanten Unterschied (<.001)

zwischen den Lernenden der Klasse A mit konstruktiver Nutzung von „L.E.S.P.“ und denen der Klasse C, mit statischen Abbildungen. Nicht signifikant, sondern lediglich tendenziell besser schneiden die Schülerinnen und Schüler der Klasse A gegenüber denen der Klasse B ab. Die Lernleistungsunterschiede zwischen der Klasse B und C sind nur gering (siehe Tab. 10-3).

| Klasse | M | F-Test | t-Test | Signifikanz |
|--------|------|--------|--------|-------------|
| A | 3,69 | 0,95 | 1,36 | n.s. |
| B | 2,96 | | | |
| A | 3,69 | 1,85 | 3,66 | <.01 |
| C | 2,75 | | | |
| B | 2,96 | 1,93 | 0,61 | n.s. |
| C | 2,75 | | | |

Tab. 10-3: Mittelwert-, F- und t-Testergebnisse der illustrativen Lerntestaufgaben zum Teilchenkonzept.

Die Analyse der Zeichenaufgaben zeigt zudem, dass sich die Lerngruppen primär bei der Darstellung der Flüssigkeits- und Feststoffdarstellung unterscheiden (Aufgaben 3 und 9). Bei den Testergebnissen der Zeichnungen gasförmiger Substanzen (Aufgabe 1) liegen die erzielten Ergebnisse der einzelnen Klassen auf einem ähnlichen Niveau (siehe Abb. 10-9). Die Lernenden der Klasse A schneiden jedoch bei allen Aufgaben dieses Typs am besten ab. Aus der nachfolgenden Abbildung ist ebenfalls erkennbar, dass bei der Darstellung von Gasen die Lernenden der Klasse C mit statischen Abbildungen bessere Ergebnisse erzielen als die Lernenden der Klasse B mit dynamischen Darstellungen.

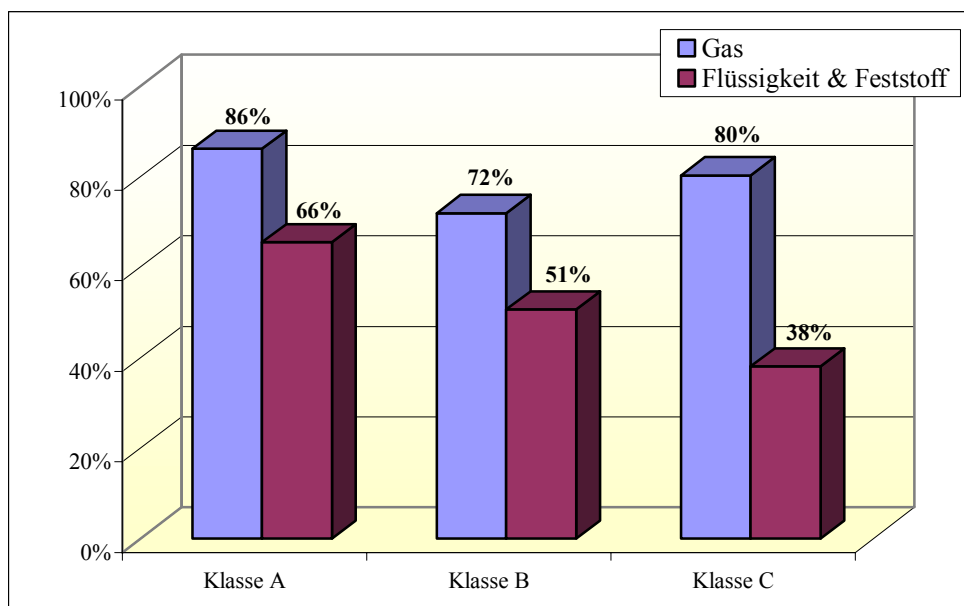


Abb. 10-9: Prozentualer Anteil der maximal erreichbaren Punktzahl bei den Zeichenaufgaben zu den Aggregatzuständen.

Die erhobenen Daten veranschaulichen deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler der Klasse A und B im wesentlichen bei der Darstellung von flüssigen und festen Stoffen von der Programmnutzung profitieren. Ein Ergebnis, das jedoch nicht erstaunt, da das Programm den Lernenden ermöglicht, die Übergänge zwischen den Aggregatzuständen fließend zu simulieren, während die Lernenden der Klasse C lediglich „Momentaufnahmen“ der jeweiligen Übergänge und Zustände zusehen bekommen.

Die von den Schülerinnen und Schülern im Rahmen der Erhebung angefertigten Zeichnungen bestätigen die Ergebnisse früherer Untersuchungen von Pfundt (1981), Harrison und Treagust (1994) und anderen Autoren. Die Lernenden neigen dazu, Alltagskonzepte und erlernte naturwissenschaftliche Konzepte abhängig von der jeweiligen Situation wechselnd zu verwenden. Bei Erklärungsansätzen zum Aufbau von Stoffen unterschiedlicher Aggregatzustände werden solche „Konzeptinkonstanzen“ sehr deutlich. Die Analyse der Post-Test-Zeichnungen offenbaren jedoch deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen. So verwenden immerhin fast die Hälfte aller Schülerinnen und Schüler der Klasse A, die eine Teilchendarstellung bei Gasen wählten, diese auch bei der Flüssigkeits- und Feststoffdarstellung (siehe Tab. 10-4). In der Klasse B hingegen zeigt nur ein Viertel aller Lernenden eine Konstanz in der Darstellung, in der Klasse C niemand.

| Klasse (Gesamtzahl) | A (n=29) | B (n=25) | C (n=28) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Unbeständige Nutzung | 12 | 12 | 22 |
| Konstante Nutzung | 12 | 6 | 0 |
| Keine Nutzung | 5 | 7 | 6 |

Tab. 10-4: Anzahl der Lernenden mit konstanter, unbeständiger und keiner Nutzung des Teilchenkonzepts bei der Darstellung von Aggregatzuständen.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein aktiver Modellentwicklungsprozess sowie die dynamische Darstellung dieser Modelle die Verwendung eines konsistenten Teilchenkonzepts bei allen Aggregatzuständen begünstigt.

10.3.3 Einfluss des Vorwissens und der Darstellungsform auf den Lernerfolg

In der didaktischen und lernpsychologischen Forschung zum Bild-Textverständnis der letzten Jahre wurde häufig der Einfluss des themenspezifischen Vorwissens und der Form der Inhaltspräsentation auf den Lernerfolg diskutiert. Die Verwendung von dynamischen und statischen Illustrationsformen, wie sie im Rahmen dieser Studie im Unterricht eingesetzt werden, machen die Analyse dieses Einflusses auch für die vorliegende Arbeit interessant.

In der Untersuchung von Mayer und Gallini (1990) zum Lernen mit Texten und Bildern zeigt sich, dass Lernende mit nur geringem Vorwissen von Illustrationen kaum profitieren und zusätzliche Informationsquellen benötigen, da sie auf Grund ihres defizitären Vorwissens nicht in der Lage sind, adäquate mentale Modelle aufzubauen. Lernende mit mittlerem Vorwissen können am meisten von Illustrationen profitieren, da sie genügend Information besitzen, um die Inhalte stimmig zu verarbeiten. Lernende mit hohem Vorwissen wiederum sind auch ohne umfangreiches Bildmaterial fähig, spontan

„lauffähige“ mentale Modelle zu bilden, die für Problemlöseprozesse eingesetzt werden können.

Demgegenüber fand Lewalter (1997) bei Lernenden mit geringen und mittleren Vorwissen keine Leistungsunterschiede in Abhängigkeit von der Illustrationsform, egal ob es statische oder dynamische Darstellungen sind. Lediglich Lernende mit hohem Vorwissen erzielen mit dynamischen Darstellungen die besten Lernleistungen, während sie mit statischen Abbildungen zu schlechteren Ergebnissen kommen als mit Texten.

Sumfleth und Telgenbüscher (2000a) konnten zeigen, dass die Wechselbeziehung des Vorwissens (Lernermerkmale) und die Struktur eines Bildes (Bildmerkmale) einen wesentlichen Einfluss auf das Lernergebnis besitzen. Die Lernleistungen können jedoch gesteigert werden, indem die Lernenden die Möglichkeit erhalten aus einem umfangreichen Angebot Bilder selbst zu generieren (Sumfleth & Telgenbüscher, 2000b).

Das Vorwissensniveau wird auf Basis der Pre-Test-Ergebnisse festgelegt. Die Gesamtheit aller erhobenen Probanden (n=82) erreicht im Mittelwert 2,6 Punkte im Pre-Test. Hiernach werden die Schülerinnen und Schüler, die die Punktezahl 0 oder 1 erreichen der Kategorie „niedriges Vorwissen“, diejenigen mit 2 oder 3 Punkten der Kategorie „mittleres Vorwissen“ und alle über 3 Punkte der Kategorie „hohes Vorwissen“ zugeordnet.

Die Ergebnisse bestätigen die erwartete Tendenz, wonach das Vorwissen einen positiven Einfluss auf die Lernleistung hat. Es zeigt sich, dass mit zunehmendem Pre-Test auch die Post-Test-Ergebnisse steigen, d.h. je höher das Vorwissen ist desto höher sind die Post-Test-Ergebnisse in den Leistungstests (siehe Tab. 10-5).

| Ø | niedr. Vorwissen | | mittl. Vorwissen | | hohes Vorwissen | |
|-----------------|------------------|-----------|------------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Pre-Test | Post-Test | Pre-Test | Post-Test | Pre-Test | Post-Test |
| Klasse A | 1,0 | 6,4 | 2,5 | 7,3 | 5,3 | 10,0 |
| Klasse B | 0,8 | 5,8 | 2,4 | 7,1 | 4,6 | 7,8 |
| Klasse C | 0,9 | 5,2 | 2,4 | 5,6 | 4,9 | 6,3 |

Tab. 10-5: Mittelwerte der Leistungstests in Abhängigkeit vom Vorwissen.

Unabhängig von der Darstellungsform erzielen alle Lerngruppen im Post-Test bessere Ergebnisse als im Pre-Test. Prozentual und absolut verbessern vor allem die Lernenden mit niedrigem Vorwissen ihre Leistung, ohne denselben maximalen Wert wie die übrigen zu erreichen (siehe Abb. 10-10). Ein defizitäres Vorwissen führt damit nicht zwangsläufig zu einer inadäquaten Nutzung von Abbildungen. Dabei profitieren vor allem Lernende, die die dynamischen Modelldarstellungen selbst konstruieren. Diese Gruppe der Lernenden erreicht im Post-Test sogar mehr Punkte als diejenigen mit statischen Abbildungen und hohem Vorwissen. Dieses Resultat zeigt deutlich die Bedeutung der Abbildungsform für den Lernerfolg.

Die Testergebnisse der nach Vorwissen und nach Art der Unterrichtsintervention gruppierten Schülerinnen und Schüler bilden letztlich ein Spiegelbild der Gesamtergebnisse des Leistungstests, d.h. die Lernenden der Klasse A (mit konstruktiver Verwendung des Simulationsprogramms) erzielen die besten Ergebnisse.

Es folgen die Lernenden der Klasse B (ohne konstruktive Nutzung des Simulationsprogramms) und der Klasse C (mit statischen Abbildungen). Während sich die Lernenden mit hohem Vorwissen und statischen Abbildungen gegenüber dem Pre-Test nur um 1,4 Punkte steigern, erreichen die Lernenden der Klasse A 4,7 und die der Klasse B 3,2 Punkte mehr (siehe Abb. 10-10). Der statistische Mittelwertvergleich unter Nutzung des t-Tests zeigt bei den Gruppen mit hohem Vorwissen einen hochsignifikanten Leistungsunterschied zwischen allen drei Gruppen ($<.001$, siehe Anhang B, S.114). Einen signifikanten Leistungsunterschied findet sich bei den Lerngruppen mit mittlerem Vorwissen, jedoch nur zwischen den Gruppen mit dynamischen (Klasse A und B) und statischen Abbildungen (Klasse C). In Bezug auf die Lernenden mit geringem Vorwissen kann ein signifikanter Leistungsunterschied ($<.05$) zwischen den Lernenden mit konstruktiver, dynamischer Darstellungsform (Klasse A) und denen mit statischen Abbildungen (Klasse C) nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zur Verwendung von statischen Abbildungen schaffen selbstkonstruierte dynamische Darstellungen die Möglichkeit, Lernende mit unterschiedlichen Vorwissensniveaus gleichermaßen anzuregen. Dies belegt den hohen Lernwirkungsgrad, den die Lernumgebung für alle Lerngruppen besitzt. Selbst die Lernenden mit einem vergleichbar niedrigem Vorwissen und konstruktiver Lernumgebung erreichen bessere Lernestergebnisse als diejenigen mit hohem Vorwissen und statischen Modellabbildungen.

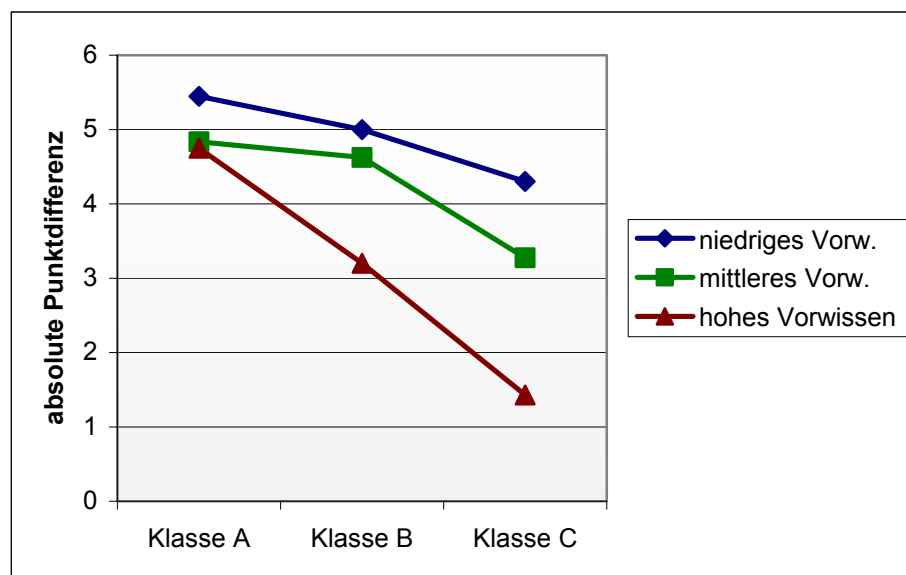


Abb. 10-10: Punktezuwachs gegenüber dem Pre-Test in Abhängigkeit vom Vorwissensniveau (vgl. Tab. 10-5, S.92).

Lernende mit hohem Vorwissen erzielen unabhängig von der Darstellungsform bessere Ergebnisse als die übrigen. Vermutlich erleichtert zunehmendes Vorwissen den Aufbau wissensrelevanter kognitiver Strukturen. Ergebnisse, die sich mit den Resultaten der „Studie I“ decken. Auch hier schneiden Lernende mit einem höheren Vorwissen im Post- und Follow-up-Test besser ab, als die Lernenden mit niedrigerem Vorwissen.

10.3.4 Einfluss der Computerkenntnisse und Computernutzungszeiten auf den Lernerfolg

Die effiziente Nutzung eines Computerprogramms wie etwa „L.E.S.P.“ erfordert neben dem Wissen zur Benutzung der Software auch eine grundlegende Kompetenz im Umgang mit dem Computer bzw. den angeschlossenen Peripheriegeräten wie Tastatur und Maus. Zudem ist es denkbar, dass Lernende mit geringen Kenntnissen im Umgang mit dem Computer weniger an einem aktiven Konstruktionsprozess am Computer interessiert sind.

Solche Schülerinnen und Schüler haben den Status von Lernenden, die nur passiv mit dynamischen Abbildungen gelernt haben. Sie entsprechen also den Lernenden der Klasse B. Wichtig für die Analyse sind nur die Daten des Computerfragebogens der Klasse A, da diese Schülerinnen und Schüler mit dem Programm eigenständig arbeiten.

In der Klasse A gibt es keine Probanden, die ihr Wissen nach dem Schulnotensystem schlechter als vier einschätzen. Daher werden die Lernenden, die ihre Computerkenntnisse mit zwei und besser einschätzen der Kategorie hohe Kenntnisse, alle anderen Schülerinnen und Schüler der Kategorie niedrige Kenntnisse zugeordnet.

Der Vergleich der Erhebungsdaten aus dem Computerfragebogen mit den Leistungstestergebnissen zeigt keine einheitlichen Tendenzen. Im Test schneiden die Lernenden mit hohen Computerkenntnissen zwar tendenziell schlechter ab als Lernende mit geringen Kenntnissen, bezogen auf die Computernutzungsdauer zeigt sich jedoch ein umgekehrtes Bild. Hier schneiden die Lernenden mit einer hohen wöchentlichen Computernutzung besser ab, als die mit einer niedrigen Nutzungsdauer (siehe Tab. 10-6). Da jedoch die Computerkenntnisse und Nutzungsdauer der untersuchten Schülerinnen und Schülern miteinander korreliert, kann kein Einfluss der betrachteten Faktoren auf den Lernerfolg angenommen werden.

| | Kenntnisse | | Nutzung | |
|-------------|------------|------|---------|------|
| | niedrig | hoch | niedrig | hoch |
| Anzahl | 14 | 15 | 8 | 21 |
| Mittelwert | 8 | 7,6 | 7,13 | 8,05 |
| Varianz | 6,31 | 5,26 | 7,84 | 4,85 |
| F-Test | 1,2 | | 0,62 | |
| t-Test | 0,4311 | | 0,7904 | |
| Signifikanz | n.s. | | n.s. | |

Tab. 10-6: Mittelwerte im Leistungstest in Abhängigkeit von Computerkenntnissen und Computernutzungsdauer.

10.3.5 Darstellungsform und Alltagskonzepte

Ein wesentliches Element des Teilchenkonzepts ist die Annahme eigenständiger Bewegungen der Teilchen. Alltagskonzepte zu diesem Thema sind in der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur kaum dargestellt. Dies mag unter anderem daran liegen, dass es im Alltag kaum Situationen gibt, in denen Erklärungsansätze für ein solches Phänomen generiert werden müssen. In Konstellationen, in denen eine Auseinandersetzung mit solchen Phänomenen von Interesse wäre, beispielsweise bei

Diffusionsvorgängen in Flüssigkeiten, wird die Verteilung auf mechanische Einflüsse wie Rühr- oder Schüttelbewegungen zurückgeführt.

Die Verwendung des Computerprogramms „L.E.S.P.“ zur Simulation von Teilchenbewegungen soll Schülerinnen und Schülern bei der Entwicklung des Teilchenbewegungskonzept unterstützen, um z.B. das Verhalten von Stoffen bei Lösungsvorgängen erklären zu können. Statische Abbildungen sollten demgegenüber den Lernprozess in ungleich schlechterer Art unterstützen, da den Lernenden die Visualisierung der dynamischen Teilchenbewegungen fehlt.

Im Rahmen des Leistungstests mussten die Lernenden eine Multiple-Choice-Aufgabe (Aufgabe 6) bearbeiten, in welcher eine Erklärung dafür gesucht wurde, warum „Luftteilchen“ in einer Flasche nicht auf den Boden fallen, sondern sich gleichmäßig in dem zur Verfügung stehenden Raum verteilen. Es sind fünf Antwortmöglichkeiten vorgegeben, hier in Kurzform dargestellt:

- a) Weil es zwischen den Teilchen noch mehr Teilchen gibt.
- b) Weil Teilchen eine eigene gleichmäßige Bewegung haben.
- c) Weil im Raum zwischen den Teilchen Luft ist.
- d) Weil Teilchen weit auseinander liegen.
- e) Weil es zwischen den Teilchen abstoßende Kräfte gibt.
- f) Alternativ können die Lernenden eine individuelle Erklärung formulieren.

Die Ergebnisse liefern keinen Hinweis, die für einen Vorteil von einer dynamischen Abbildung gegenüber einer statischen sprechen (Tab. 10-7). Ein Teil der Lernenden wählt mehrere Erklärungsansätze für das beschriebene Phänomen. Als alleinige Antwort wählen ein Fünftel aller Lernenden der Klassen A und B die Alternative „b“. Tendenziell sind das zwar mehr Lernende als in der mit statischen Illustrationen unterrichteten Klasse, jedoch gibt es in dieser Klasse, unter Berücksichtigung aller Antwortkombinationen genauso viele Lernende, die die gleichmäßige Bewegung der Teilchen wählen (39%) wie in den beiden anderen Klassen (A: 31%; B: 40%). Hinzu kommt, dass kein Lernzuwachs gegenüber dem Pre-Test deutlich wird.

| Aufgabe 6 | | a | b | c | d | e | f | nur b |
|-----------|-----------|-----|------------|-----|----|-----|-----|------------|
| Klasse A | Pre-Test | 24% | 34% | - | - | 31% | 14% | 21% |
| | Post-Test | 14% | 31% | 3% | - | 41% | 24% | 21% |
| Klasse B | Pre-Test | 32% | 40% | 24% | 8% | 36% | 8% | 12% |
| | Post-Test | 4% | 40% | 8% | - | 36% | 24% | 20% |
| Klasse C | Pre-Test | 25% | 18% | 46% | - | 43% | 7% | 4% |
| | Post-Test | 25% | 39% | 18% | 4% | 46% | - | 11% |

Anmerkung: Eine Reihe von Probanden hatten mehr als eine Antworten angekreuzt.

Tab. 10-7: Prozentualer Anteil der von den Lernenden angekreuzten Antworten bei der Aufgabe 6.

Es liegt die Vermutung nahe, dass der ständige Wechsel zwischen statischen Entwicklungs- und dynamischen Simulationsprozessen nachteilig ist. Für die

Schülerinnen und Schüler bewegen sich die Teilchen nicht dauerhaft, sondern nur dann, wenn sie dies durch den Wechsel vom Konstruktions- zum Simulationsmodus auslösen. Andererseits ist aus der physikdidaktischen Forschung bekannt, dass der Kraftbegriff für Schülerinnen und Schüler häufig als universeller Erklärungsansatz für Phänomene verwendet wird, ohne die Bedeutung dieses Begriffs erfasst zu haben.

Die Vorstellung, dass Teilchen von einem „leeren Raum“ umgeben sind, ist für die Lernenden eine nur schwer verständliche Annahme. Daher wird der Inhalt des Raums zwischen zwei Teilchen häufig auf der Basis makroskopischer Phänomene mit Begriffen wie Luft, Staub oder Schadstoffe umschrieben. Die Schülerinnen und Schüler realisieren dabei nicht, dass Staub oder Schadstoffe selbst aus Teilchen aufgebaut sind. Ein Phänomen, das in der Literatur auch als „horror vakuii“ umschrieben wird.

Die Aufgabe 5 des Leistungstests greift dieses Problem auf. Die Lernenden müssen entscheiden, was sich in den Räumen zwischen den Teilchen befindet. Als mögliche Antworten sind die Begriffe Luft, Schadstoffe, Sauerstoff, keine Materie, Dampf und Staub vorgegeben. Die Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass die Form der Darstellung in diesem Fall einen Einfluss auf das Verständnis der Lernenden hat (Tab. 10-8). Außerdem ist ein erheblicher Lernzuwachs zu verzeichnen.

| Aufgabe 5 | | Luft | Schadstoffe | Sauerstoff | keine Materie | Dampf | Staub |
|-----------------|----------|------|-------------|------------|------------------|-------|-------|
| Klasse A | Pretest | 31% | 14% | 31% | 21%/ 17%* | - | 14% |
| | Posttest | - | - | 17% | 72%/ 69%* | 7% | 7% |
| Klasse B | Pretest | 32% | 8% | 12% | 52%/ 44%* | - | 4% |
| | Posttest | 12% | 4% | 4% | 92%/ 84%* | - | - |
| Klasse C | Pretest | 36% | - | 50% | 18%/ 18%* | - | 11% |
| | Posttest | 25% | 11% | 29% | 41%/ 34%* | - | - |

*Gibt den Anteil der Lernenden an, die nur die Auswahlmöglichkeit „keine Materie“ angekreuzt haben. Anmerkung: Mehrfachnennungen waren möglich gewesen.

Tab. 10-8: Prozentualer Anteil der Nennungen zu den jeweiligen Antwortmöglichkeiten bei der Aufgabe 5.

Dabei erzielen die Lernenden der Klasse B absolut betrachtet bessere Ergebnisse als die der Klasse A. In diesem Falle besitzt der konstruktive Nutzungsaspekt des Programms keine übergeordnete Bedeutung. Der Vergleich mit den Ergebnissen der Klasse C unterstützt die Hypothese, dass es mit statischen Abbildungen nicht möglich ist, den angestrebten Inhalt adäquat zu vermitteln. In dieser Klasse wählen nur halb so viele Schülerinnen und Schüler die Antwortmöglichkeit „keine Materie“. Im Bereich der alternativen Lösungsmöglichkeit dominieren im wesentlichen die Distraktoren „Luft“ und „Sauerstoff“ als Antworten.

10.4 Zusammenfassung der Ergebnis der Studie II

Die dargestellten Ergebnisse zeigen den Vorteil eines konstruktiven, selbstbestimmten Umgangs mit den Simulationen deutlich. Analog zu den Ergebnissen von Sumfleth und

Telgenbüscher (2000a), wonach sich die aktive Teilnahme der Lernenden an der Entwicklung des Lernmaterials positiv auf die Lernleistung auswirkt, zeigen in der vorliegenden Studie die Lernenden mit selbstentwickelten Modellabbildungen die besten Leistungen. Leistungseinbußen durch „Interferenzeffekte“, wie sie von nicht adäquaten Bild- Textkombinationen bekannt sind (Levie & Lentz, 1982; Schnotz, 1998), treten bei der Nutzung eines solchen konstruktiven „Werkzeugs“ nicht auf, da die Lernenden selbst bestimmen können, welche Elemente sie für adäquate Problemlösungen wählen. Das explorative Vorgehen beim Lernen mit Modellbildungswerkzeugen führt nicht nur zur besseren Einprägung von Detailinformationen, sondern erleichtert durch die intensive Auseinandersetzung mit den Modellgrundlagen das Verständnis.

Neben dem konstruktiven Aspekt spielen die dynamischen Darstellungen der Modellentwicklungen eine wichtige Rolle. Ihnen wird eine aufmerksamkeitslenkende Wirkung zugesprochen. Durch die sich verändernden Bildelemente, wie z.B. bewegende Teilchen, wird die Aufmerksamkeit des Betrachters gezielt auf diese Änderungen gelenkt. Diese Veranschaulichung von dynamischen Prozessen vereinfacht die Bildung adäquater, dynamischer mentaler Modelle (Schnotz, 1998) und erklärt vor allem bei der nicht konstruktiv arbeitenden Computerklasse B die besseren Testergebnisse gegenüber der Klasse C, die mit statischen Bildern gearbeitet hat.

Die Ergebnisse bestätigen nicht die Ergebnisse von Schnotz und Grondziel (in Schnotz, 1998), die in ihren Untersuchungen keine Unterschiede zwischen Lerngruppen mit dynamischen Darstellungen bzw. mit statischen Bildern oder Texten gefunden haben. Schnotz führt seine Ergebnis darauf zurück, dass Lernende häufig den Informationsgehalt von Darstellungen unterschätzen. Diese subjektive Fehleinschätzung der Betrachter begründet er mit fehlenden metakognitiven Verstehensstandards in Bezug auf die dargestellten Inhalte.

Die vorliegende Untersuchung legt dar, dass Schülerinnen und Schüler, die mit dynamischen Darstellungen gelernt haben, sehr wohl in der Lage sind, Illustrationen für ihren Lernprozess zu nutzen, wenn die Inhalte der Darstellung mit konkreten Fragestellungen im Unterricht verknüpft sind. Die kommunikative Wissensaneignung der Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen- bzw. Klassendiskussionen, die als ein zusätzlicher Faktor beim Aufbau relevanter kognitiver Strukturen zu betrachten ist, ermöglicht das Aufgreifen von Wissensdefiziten und den expliziten Hinweis auf den Inhalt der Bildinformationen. Damit wird auch die fehlende Übung kompensiert, die von Scaife und Rogers (1996) als nachteilig für den Lernprozess mit Animationen und virtuellen Realitäten gegenüber konventionellen Bildern angesehen wird.

11 Zusammenfassung und Ausblick der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Erkenntnisse über das Lernen mit selbstkonstruierten Simulationen im Kontext einer offenen, computerunterstützten Einführung in das Kugelteilchenmodell im Chemieunterricht zu gewinnen.

Zu diesem Zweck wurde das modellbildende Computersimulationsprogramm „L.E.S.P.“ entwickelt und dessen Einfluss auf den Lernprozess im Rahmen zweier Untersuchungen evaluiert.

In einer ersten Studie, die im Kontext des Europäischen Sokrates-Projekts „CoSim“ durchgeführt wurde, sollte die Behaltens- und Problemlösefähigkeit von Schülerinnen und Schülern unter Nutzung selbstkonstruierter Simulationen getestet werden. In einer zweiten Studie wurde die computerunterstützte Einführung in das Teilchenmodell mit „L.E.S.P.“ einem auf konventionellen Medien beruhenden Unterricht gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der Studie I wie auch der Studie II bestätigen die Hypothese, dass eine computerunterstützte Einführung in das Kugelteilchenmodell unter Nutzung des konstruktiv verwendbaren Simulationsprogramms „L.E.S.P.“ eine fördernde Wirkung auf das Erlernen des Teilchenkonzepts besitzt. Im Rahmen der Langzeituntersuchungen der Studie I konnte ein dauerhafter Anstieg der Leistungen nachgewiesen werden.

Die Testergebnisse bestätigen frühere Untersuchungen, nach denen Lernende in Alltagskonzepten vor allem kontinuierliche Vorstellungen über den Aufbau von Stoffen generieren. Nach der Intervention zeigt sich, dass ein Großteil der Lernenden die gelehrt Teilchenvorstellung verwendet. Bei Flüssigkeits- und Feststoffdarstellungen finden sich anders als bei gasförmigen Substanzen immer noch erhebliche Tendenzen zu kontinuierlichen Darstellungsformen. Neben dem Gebrauch von Teilchen- und Kontinuumkonzepten werden häufig auch Misch- bzw. Hybridvorstellungen verwendet. Diese Darstellungen kombinieren naturwissenschaftliche Teilchenvorstellungen mit kontinuierlichen Alltagsvorstellungen und scheinen als Übergangskonzepte („intermediate conceptions“) bedeutsam zu sein. Diese Ergebnisse unterstützen Erkenntnisse früherer Studien von Galili, Bendall und Goldberg (1993) und Niederer und Goldberg (1995).

Die Studie II ist eine Vergleichsstudie zur Abhängigkeit der Lernleistung von Aktivitäts- und Modelldarstellungsformen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass dynamische Abbildungen gegenüber statischen zu signifikant besseren Lernleistungen führen. Im Vergleich zweier Lerngruppen mit animierten Darstellungen wirkt sich der eigenständige, konstruktive Entwicklungsprozess der Abbildungen positiv auf die Lernleistung aus.

Auch in Abhängigkeit vom Vorwissen erzielen die Schülerinnen und Schüler mit selbstentwickelten dynamischen Modelldarstellungen die besten Lerntestergebnisse. Die Lernenden mit niedrigem Vorwissen und selbstentwickelten Modellabbildungen erreichen die höchsten prozentualen Lernzuwachsrate und erzielen damit bessere Testergebnisse als Lernende mit hohem Vorwissen und statischen Abbildungen.

Lerngruppen mit animierten Illustrationen offenbaren erwartungsgemäß dort Lernvorteile, wo die visuelle, dynamische Repräsentation des Modells Rückschlüsse auf die Funktionalität zulässt, z.B. bei der Darstellung der Aggregatzustände oder dem „leeren Raum“ zwischen den Teilchen. Allein die Förderung des Verständnisses zum

Konzept der „Brownschen Bewegung“ kann durch die Nutzung selbstentwickelter, dynamischer Modelle nicht beeinflusst werden. Eine Ursache könnte der durch das Programm implizierte, ständige Wechsel von der statischen Entwicklung zur dynamischen Simulation des Modells sein.

Die Verwendung des Computersimulationsprogramms „L.E.S.P.“ im Unterricht hat gezeigt, dass sowohl Lernende wie Lehrende von einem solchen Werkzeug profitieren können. Aus der Sicht von Schülerinnen und Schülern dient das Programm als Werkzeug zur Visualisierung von Vorstellungen und zur Entwicklung und Validierung von Modellvorstellungen. Aus der Sicht von Lehrerinnen und Lehrern hat sich das Programm bewährt, weil es die Chance bietet Konzepte und Vorstellungen von Lernenden darzulegen, auf die dann im Unterricht reagiert werden kann.

In bezug auf eine effektive Nutzung von Computern im Unterricht hat sich gezeigt, dass Schülerinnen und Schüler der siebten und neunten Klasse ohne große Einarbeitungsphasen in der Lage sind, effektiv in Gruppen mit diesem Medium zu arbeiten. Die für diesen Zweck benötigte Computerkompetenz eignen sich die Lernenden in der Regel durch außerschulische Computeraktivitäten an.

Die vorliegenden Studien zeigen, dass ein wesentlicher Anteil des Lernerfolgs der Schülerinnen und Schüler auf den aktiv konstruktiven Umgang mit dem Programm zurückzuführen ist. Offenheit und Effektivität dieses Konzepts legen nahe, solche Lernumgebungen auch für andere Themenbereiche zu entwickeln. Nicht nur in den Naturwissenschaften, sondern auch in anderen Fächern können Lernende von solchen konstruktiven, visuellen Werkzeugen profitieren.

Die Ergebnisse der Studien unterstreichen die Notwendigkeit der Weiterentwicklung des modellbildenden Computersimulationsprogramms „L.E.S.P.“ für andere Inhaltsbereiche des Chemieunterrichts. Es ist denkbar, durch Funktionserweiterungen die Möglichkeit zu schaffen, komplexere Modelle entwickeln zu können oder Simulationen von chemischen Reaktionen zu ermöglichen. Die Anwendung einer solchen Lernumgebung reduziert sich damit nicht nur allein auf die Einführung des Teilchenmodells in 7. oder 9. Klassen, sondern kann auch in höheren Klassen für andere Themeninhalte verwendet werden. Fächerübergreifende Aspekte, z.B. die Nutzung dieses Programms im Biologie- oder Physikunterricht sind schon jetzt durch Themen wie Diffusion, Osmose oder die Gasgesetze realisierbar.

Auf fehlerhafte Konzepte von Schülerinnen und Schüler kann nur dann adäquat reagiert werden, wenn diese als solche erkannt werden. Zukünftige Arbeiten können sich daher der Frage widmen, inwieweit ein Programm wie „L.E.S.P.“ zur Diagnose und Sensibilisierung von im Unterricht auftretenden Schülervorstellungen durch die Lehrenden genutzt werden kann.

12 Literaturverzeichnis

- Anderson, J.R., Corbetti, A.T., Koedinger, K.R. & Pelletier, R. (1995). Cognitive Tutors: Lessons Learned. *The Journal of the Learning Sciences*. 4(2), 167-207.
- Bar, V., Zinn, B., Goldmuntz, R. & Sneider, C. (1994). Children's Conceptions about Weight and Free Fall. *Science Education*. Vol.78, No.2, 149-169.
- Baumgartner, P. & Payr S. (1999). *Lernen mit Software*. München: Studien-Verlag.
- Becker, H.-J., Glöckner, W., Hoffmann, F. & Jüngel, G. (1992). *Fachdidaktik Chemie*. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG.
- Behnke, Ch. (1995). *Computergestützte Lern- und Arbeitsumgebungen*. Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S. & Silberstein, J. (1986). Is an Atom of Copper Malleable? *Journal of Chemical Education*. Vol.63, 64-66.
- Benson, D. L., Wittrock, M. C. & Baur, M. E. (1993). Students Preconceptions of the Nature of Gases. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol.30, No.6, 587-597.
- Birnie, H.H. (1989). The alternative conceptions of a particle theory of air possessed by year 1-5 primary students, their parents, and their teachers. *Research in Science Education*. 19, 25-36.
- Brook, A., Driver, R. & Hind, D. (1989). *Procession in Science: The Development of Pupils' Understanding of Physical Characteristics of Ais Across the Age Range 5-16 Years*. Material of Centre for Studies in Science and Mathematics Education Leeds.
- Brown, D.E. & Clement, J. (1992). Classroom teaching experiments in mechanics. Duit, R., Goldberg, F. & Niedderer, H. (Eds.): *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN. 380-397.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a Theory of Instruction*. London: Oxford University Press.
- Bruner, J. S. (1971). *Über kognitive Entwicklung*. Bruner, J. S., Olver R. R. & Greenfield, P. M. et al.: *Studien zur kognitiven Entwicklung*. Stuttgart: Klett Verlag.
- Chambers, S. & Andre, T. (1997). Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in Science Teaching*. 34, 2, 107-123.
- Chi, M.T.H., Slotta, J.D. & deLeeuw, N. (1994). From Things to Processes: A Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts Cognition and Instruction. Vol.4, 27-43.
- Clark, R.E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*. 53, 4, 445-449.
- Clark, R.E. (1994). Media will never influence Learning. *Educational Technology Research And Development*. 42, 2, 21-29.

- Clark, R.E. & Salomon, G. (1986). Media in teaching. M. Wittrock (Eds.): Handbook of Research on Teaching. New York: Macmillan.
- Constable, H., Campbell, B. & Brown, R. (1988). Sectional drawings from science textbooks: An experimental investigation into pupils' understanding. *British Journal of Educational Psychology*. 58, 89-102.
- Cram, D. (1966). *Lehrmaschinen – Lehrprogramme*. Weinheim: Beltz Verlag.
- Del Re, G. (2000). Models and analogies in science. *International Journal for the Philosophy of Chemistry (HYLE)*. 6, 1.
- Derry, S. J. & Lajoie, S. P. (1993). A Middle Camp for (Un)Intelligent Instructional Computing: An Introduction. Lajoie, S. P. & Derry, S. J. (Eds.): *Computers as Cognitive Tools*. Hilldale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*. 23, 7, 5-12.
- Duit, R. (1996). Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. Duit, R. & von Rhöneck, Ch. (Hrsg.). *Lernen in den Naturwissenschaften*. Kiel: IPN. 145- 162.
- Engelkamp, J. & Zimmermann, H.D. (1990). Unterschiede der Repräsentation und Verarbeitung von Wissen und Abhängigkeit von Kanal, Reizmodalität, Inhalt und Aufgabenstellung. K. Böhme-Dürr, J. Emig & N. Seel (Hrsg.): *Wissensveränderung durch Medien..* München: Sauer.
- Euler, D. (1992). *Didaktik des computerunterstützten Lernens: Praktische Gestaltung und theoretische Grundlagen*. Nürnberg: Bildung und Wissen Verlag.
- Fischer, H. & Rothenhagen, A. (1997). Experimente zum Teilchenmodell. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*. Vol.8, No.41, S. 27-33.
- Fischer, W. (1977). *Chemie für Gymnasien*. C.C. Buchners Verlag.
- Fladt, R. (1982). *Chemieunterricht in Beispielen*. Stuttgart: Klett Verlag.
- Franik, R. (1997). Teilchen - Struktur - Reaktion: Vorschlag einer strukturorientierten Methodik für den Anfangsunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*. Vol. 8, No. 46, S. 2-6.
- GDCh (1996). *Empfehlungen und Informationen zum Computereinsatz im Chemieunterricht*. Frankfurt a.M..
- Galili, I.; Bendall, S. & Goldberg, F.M. (1993). The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation. *Journal of Research in Science Teaching*. 30, 3, 271-301.
- Genseberger, R. (1987). Entwicklung eines Modellbegriffs bei 15-16 jährigen Schülern. *chimica didactica*. Vol.13, 5-19.
- Gil-Perez, D. & Carrascosa, J. (1990). What to do about science "misconceptions". *Science Education*. 74, 5, 531-540.

- Gilbert, J.K. & Watts, M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*. 10, 61-98.
- Goldkuhle, P. (1997). *Modellbildung und Simulation im Physikunterricht*. Bönen: Verlag für Schule und Weiterbildung.
- Guri-Rozenblit, Sarah (1988). The interrelations between diagrammatic representations and verbal explanations in learning from social science texts. *Instructional Science*. Vol.17, 219-234.
- Gyselinck, V. & Tardieu, H. (1994). Illustrations, mental models, and comprehension of instructional text. W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.): *Comprehension of graphics*. Amsterdam: North-Holland. pp.139-163.
- Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (1994). Science analogies - Avoid misconceptions with this systematic approach. *The Science Teacher*. 61, 4, 40-43.
- Harrison, A. G. & Treagust D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-mode use in grade 11 chemistry. *Science Education*. 84, 3, 352-381.
- Hashweh, M.Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*. 8, 3, 229-249.
- Hewson, P.W. & Thorley, N.R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*. 11, 541-553.
- Hollstein, A. (1998). *Entwicklung eines Computersimulationsprogramms für den Themenbereich Kugelteilchenmodell*. Staatsexamensarbeit, Universität Essen.
- Huddle, P.A. & Pillay, A.E. (1996). An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a south african university. *Journal of Research in Science Teaching*. 33, 1, 65-77.
- Häusler, K. & Schmidkunz, H. (1983). *Natur und Technik – Chemie R*. München: Oldenbourg Verlag.
- Issing, L. J. (1994). Wissenserwerb mit bildlichen Analogien. Weidenmann, B. (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. Bern: Huber. S.149-176.
- Joseph, J. H. & Dwyer, F. M. (1984). The effect of prior knowledge, presentation mode, and visual realism on student achievement. *Journal of Experimental Education*. 52, 110-121.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie*. 34, 13, 2-6.
- Kammerl, R. (2000). *Computerunterstütztes Lernen - Eine Einführung*. Kammler, R. (Hrsg.): *Computerunterstütztes Lernen*. Oldenbourg Verlag, München.
- Keller, F. (1982). *Statistik für naturwissenschaftliche Berufe*. Frankfurt: pmi-pharm-and-medical-inform [ation]- Verlags-GmbH.
- Kemper, A. & Fladt, R. (1980). *Hinweise zur Unterrichtsplanung*. Stuttgart: Ernst Klett.

- Kerres, M. (1998). Multimediale und telemediale Lernumgebungen. München: R. Oldenbourg Verlag.
- Kerres, M. (2000). Computerunterstütztes Lernen als Element hybrider Lernarrangements. Kammler, R. (Hrsg.): Computerunterstütztes Lernen. München: Oldenbourg Verlag.
- Kircher, E., Teßmann, A., Gengelazky, R., Mie, K. & Zelewski, H.-D. v. (1982). Atommodelle im Unterricht. *chimica didactica*. 8, 127
- Kircher, E. & Heinrich, P. (1984). Eine empirische Untersuchung über Atomvorstellungen bei Hauptschülern im 8. und 9. Schuljahr. *Chimica didactica*. 10, 199.
- Klein, J. D. & Doran, M. S. (1999). Implementing Individual and Small Group Learning Structures with a Computer Simulation. *Educational Technology Research And Development*. 40, 4, 27-38.
- Kleinschroth, R. (1996). Neues Lernen mit dem Computer. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Klimesch, W. (1988). Struktur und Aktivierung des Gedächtnisses - Das Vernetzungsmodell: Grundlagen und Elemente einer übergreifenden Theorie. Bern: Verlag Hans Huber.
- Koedinger, K. R. & Anderson J. R. (1993). Reifying Implicit Planning in Geometry: Guidelines for Model-Based Intelligent Tutoring System Design. Lajoie, S. P. & Derry, S. J. (Eds.): *Computers as Cognitive Tools*. Hilldale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kulik, J.A. & Kulik, C.-L.C. (1991). Effectiveness of computer based instruction: An updated analysis. *Computer in Human Behavior*. 7, 75-94.
- Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (1993). Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium - Sek.I - in NRW – Chemie. Verlagsgesell. Ritterbach mbH.
- Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (1993). Richtlinien und Lehrpläne für die Realschule - Sek.I in NRW – Chemie Verlagsgesell. Ritterbach mbH.
- Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (1995). Richtlinien und Lehrpläne für die Gesamtschule - Sek.I in NRW - Lernbereich Naturwissenschaften. Verlagsgesell. Ritterbach mbH.
- Larkin, J. H. & Simon, Herbert A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*. 11, 65-99.
- Laszlo, A. & Castro, K. (1995). Technology And Values: interactive Learning Environments for Future Generations. *Educational Technology Research And Development*. March-April, 1995.
- Lawler, R. W. (1987). Learning Environments: Now, Then, and Someday Lawler R. W. und Yazdani, M. (Eds.): *Artificial Intelligence and Education Volume one*. New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Lefrancois, G. R. (1994). *Psychologie des Lernens*. Berlin: Springer-Verlag.

- Legewie, H. & Ehlers, W. (1992). Knauers moderne Psychologie. München: Droemer Knauer.
- Lehrer, G. (1993). Authors of Knowledge: Patterns of Hypermedia Design Lajoie, S. P. und Derry, S. J. (Eds.): Computers as Cognitive Tools. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Leu, H. R. (1993). Wie Kinder mit Computer umgehen; Studie zur Entzauberung einer neuen Technologie in der Familie. DJI (Deutsches Jungendinstitut). Weinheim: Juventa Verlag,.
- Leutner, D. (1990). Simulation und Modellbildung. Asselborn, W. u.a.: Computereinsatz im Fachunterricht. Nutzung des Computers als Medium und Werkzeug. Tübingen: DIFF. 22-52.
- Leutner, D. (1997). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. Issing, L. & Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Beltz Verlag.
- Levie, W. H. & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review in research. Educational Communication and Technology Journal. 30, 195-232.
- Lewalter, D. (1997). Lernen mit Bildern und Animationen: Studie zum Einfluß von Lernmerkmalen auf die Effektivität von Illustrationen. Münster: Waxmann.
- Lewis, E., Stern, J. L. & Linn, M. C. (1993). The Effect of Computer Simulations on Introductory Thermodynamics Understanding January. Educational Technology Research And Development. 45-58.
- Lipson, M. Y. (1982). Learning new Information from text: The role of prior knowledge and reading ability. Journal of Reading Behavior. 14, 243-261.
- Lutz, B. (1997). Modelle und Modellvorstellungen in der Chemie und im Chemieunterricht. Pfeifer, P. und Häusler, K (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. 62-68.
- Lütznert, K.-H. (1972). Physikalische Chemie. Leipzig: Johann Ambrosius Barth.
- Malone, Th. W. (1981). Toward a Theory of Intrinsically Motivating Instruction. Cognitive Science. 4, 333-369.
- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990). When Is An Illustration Worth Ten Thousand Words? Journal of Educational Psychology. Vol.82, No.4, 715-726.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1991). Animations Need Narrations: An Experimental Test of a Dual-Coding Hypothesis. Journal of Educational Psychology. Vol.83, No.4, 484-490.
- Mayer, R. E. & Sims, V. K. (1994). For Whom is a Picture Worth a Thousand Words? Extensions of a Dual-Coding Theory of Multimedia Learning Journal of Educational Psychology. Vol.86, No.3, 389-401.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia Learning: Are we asking vor the right question? Educational Psychologist. 32, 1-19.
- Nelson, P.G. (1994). Introducing atoms and molecules. Education In Chemistry. January, 20-21.

- Niedderer, H. & Goldberg, F. (1995). Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZFDN). 1, 73-86.
- Niedderer, H. (1996). Übersicht über Lernprozeßstudien in Physik. Duit, R. & Rhöneck, Ch. von (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. Kiel: IPN. 119-144.
- Novick, S. & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. Science Education. 273-281.
- Novick, S. & Nussbaum, J. (1981). Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study. Science Education. Vol.65, No.2, 187-196.
- Nußbaum, A. & Leutner, D. (1986). Entdeckendes Lernen von Aufgabenlösungsregeln unter verschiedenen Anforderungsbedingungen. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie. 18, 153-164.
- Paivio, A. (1971). Imagery and Verbal Processes. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Paivio, A. (1986). Mental Representations: A Dual Coding Approach. New York: Oxford University Press.
- Papert, S. (1980). Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas. New York: Basic Books.
- Papert, S. (1987). Microworlds: Transforming Education. Lawler R. W. & Yazdani, M. (Eds.): Artificial Intelligence and Education Volume one. New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Papert, S. (1994). Revolution des Lernens: Kinder, Computer, Schule in einer digitalen Welt. Hannover: Verlag Heinz Heise GmbH.
- Peek, J. (1994). Wissenserwerb mit darstellenden Bildern. Weidenmann, B. (Hrsg.): Wissenserwerb mit Bildern. Bern: Verlag Hans Huber. 59-94.
- Petersson, R. (1994). Visual Literacy and Infologie. Weidenmann, B. (Hrsg.): Wissenserwerb mit Bildern. Bern: Verlag Hans Huber. 215-235.
- Peukert, J., Seifert, S., Sylvester, U. & Fischler, H. (2000). Probleme mit der Mikrowelt - was tun? Brechel, R. (Hrsg.): Zur Didaktik der Chemie und Physik. Alsbach: Leuchtturm-Verlag. S.291-299.
- Pfundt, H., Dierks, W. & Marcus, W. (1979). Stoffe und Stoffumbildungen: Ein Weg zur Atomhypothese - Experimentieranleitung für Lehrer. IPN Kiel. Ernst Klett Verlag.
- Pfundt, H. (1981). Das Atom - Letztes Teilungsstück oder erster Aufbaustein? chimica didactica. Vol.7, 75-95.
- Pfundt, H. (1982). Ein Weg zur Atomhypothese. chimica didactica. Vol.8, 143-155.
- Piaget, J. (1947). Psychologie der Intelligenz. Zürich: Rascher Verlag. Übersetzung der 2. Auflage 1970.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1971). Die Entwicklung der elementaren logischen Strukturen - Teil 1. Loch, W., Paschen, H. & Priesemann, G. (Hrsg.): Internationale

- Studien zur pädagogischen Anthropologie - Band 32. Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwann.
- Posner, G.J., Striker, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*. 66, 211-227.
- Pylshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*. 88, 16-45.
- Reed, St. K. (1985). Effect of Computer Graphics on Improving Estimates to Algebra Word Problems. *Journal of Educational Psychology*. Vol.77, No.3, 285-298.
- Rehkämper, K. (1995). Analoge Repräsentationen. Sachs-Hombach, K. (Hrsg.): *Bilder im Geiste: zur kognitiven und erkenntnistheoretischen Funktion piktorialer Repräsentationen*. Amsterdam: Rodopi. 63-106.
- Renström, L., Andersson, B. & Marton, F. (1990). Students' Conceptions of Matter. *Journal of Educational Psychology*. Vol.82, No.3, 555-569.
- Reusser, K. (1993). Tutoring Systems and Pedagogical Theory: Representational Tools for Understanding, Planning and Reflection in Problem Solving. Lajoie, S. P. und Derry, S. J. (Eds.): *Computers as Cognitive Tools*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Rieber, L. P. (1989). The effects of computer animated elaboration strategies and practice on factual and application learning in an elementary science lesson. *Journal of Educational Computing Research*. 5, 4, 431-444
- Rieber, L. P. (1990a). Animation in Computer-Based Instruction *Educational Technology. Research And Development*. Vol.38, No.1, 77-86.
- Rieber, L. P. (1990b). Using Computer Animated Graphics in Science Instruction With Children. *Journal of Educational Psychology*. Vol.82, No.1, 135-140.
- Rieber, L. P. (1991). Animation, Incidental Learning, and Continuing Motivation. *Journal of Educational Psychology*. Vol.83, No.3, 318-328.
- Rohr, M. (1996). Kognitionspsychologisch orientierte Entwicklung einer Unterrichtsreihe: Einführung des Kugelteilchenmodells im Chemieunterricht für Anfänger. Psychologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Sacher, W. (2000). *Schulische Medienarbeit im Computerzeitalter - Grundlagen, Konzepte und Perspektiven*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt Verlag.
- Salomon, G. (1984). Television is „easy“ and print is „tough“: The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology*. 76, 647-658
- Scaife, M. & Rogers, Y. (1996). External cognition: how do graphical representations work? *International Journal of Human-Computer Studies*. 45, 185-213.
- Schiefele, H. & Huber, G. L. (1969). *Programmierte Unterweisung – programmiert* München: Ehrenwirth Verlag.

- Schnotz, W. (1997). Wissenserwerb mit Diagrammen und Texten. Issing, L. J. & Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia.. 2.Auflage. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. (1998). Sprache- und Bildkommunikation beim Lernen in den Naturwissenschaften. Renate Brechel (Hrsg.): Tagungsband zur GDGP-Tagung in Essen. Leuchtturm-Verlag. 1998.
- Schulmeister, R. (1997). Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. München: R. Oldenbourg Verlag.
- Scott, P.H. (1992). Pathways in learning science: A case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter. Duit, R., Goldberg, F., Niedderer, H. (Eds.): Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Kiel: IPN. 203-224.
- Seidel C. & Lipsmeider, A. (1989). Computerunterstütztes Lernen: Entwicklungen - Möglichkeiten – Perspektiven. Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Setzer, V. (1992). Computer in der Schule?: Thesen und Argumente. Stuttgart; Verlag Freies Geistesleben.
- Shepard, R. N. & Chipman, S. (1970). Second-order isomorphism of internal representations: shapes of states. *Cognitive Psychology*. 1, 1-17.
- Skinner, B. F. (1966). *Programmiertes Lernen und Lehrmaschinen*. Braunschweig. 2.Auflage.
- Slotta, J.D.; Chi,M.T.H. & Joram, E. (1995). Assessing Students' Misclassifications of Physics Concepts: An Ontological Basis for Conceptual Change. *Cognition and Instruction*. Vol.13, No.3, 373-400.
- Stavy, R. (1990). Children's Conception of Changes in the State of Matter: From Liquid (or Solid) to Gas. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol.27, No.3, 247-266.
- Stiegler, L. (1977). *Natur und Technik – Physik*. Band 1. Cornelsen-Velhagen & Klasing
- Sumfleth, E. (1988). *Lehr- und Lernprozesse im Chemieunterricht: das Vorwissen der Schüler in einer kognitionspsychologisch fundierten Unterrichtskonzeption*. Frankfurt am Main: Verlag Peter Lang GmbH.
- Sumfleth, E. (1992). Schülervorstellungen im Chemieunterricht Mathematisch naturwissenschaftliche Unterricht. 45(7), 410-414.
- Sumfleth, E. (1996). Chemieverstehen in Abhängigkeit vom Vorwissen. Duit, R. und Rhöneck Ch. von (Hrsg.): *Lernen in den Naturwissenschaften*. Kiel: IPN. 228-249.
- Sumfleth, E. & Hollstein, A. (1999). Entwicklung eines Computersimulationsprogramms für den Themenbereich Kugelteilchenmodell. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*. 53 (5/99), S.39-42.
- Sumfleth, E & Telgenbüscher, L. (2000a). Zum Einfluß von Bildmerkmalen und Fragen zum Bild beim Chemielernen mit Hilfe von Bildern - Beispiel Massen-

- spektrometrie. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN). 6, 59-78.
- Sumfleth, E & Telgenbüscher, L. (2000b). Chemielernen mit Bildern durch aktive Gestaltung der Lernumgebung - Beispiel Additionsreaktionen. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN). 6, 97-113.
- Sutton, C. (1980). The learner's prior knowledge: A critical review of techniques for probing its organisation. *European Journal of Science Education*. 2, 107-120.
- Tao, P.-T. & Gunstone, R.F. (1999). Conceptual change in science through collaborative learning at the computer. *International Journal of Science Education*. 21, 1, 39-57.
- Teasley, S. D. & Roschelle, J. (1993). Constructing a Joint Problem Space: The Computer as a Tool for Sharing Knowledge. Lajoie, S. P. und Derry, S. J. (Eds.): *Computers as Cognitive Tools*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Thiagarajan, S. (1998). The myths and realities of simulations in performance technology. *Educational Technology Research And Development*. 9/10, 35-41
- Tulodziecki, G. (2000). Computerunterstütztes Lernen aus mediendidaktischer Sicht. Kammerl, R.: *Computerunterstütztes Lernen*. München: Oldenbourg Verlag,.
- Urhahne, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. Jg. 6, 2000, S. 157-186.
- Valanides, N. (2000). Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving. *Chemistry Education: Research And Practice In Europe*. 1, 2, 249-262.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*. 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (2001). *Conceptual Change Research and the Teaching of Science*. H. Behrendt et al.: *Research in Science Education - Past, Present, and Future*. Kluwer Academic Publishers. 177-188.
- Wagenschein, M. & Buck, P. (1984). Demokrit auf dem Zeugenstand. *chimica didactica*. Vol.10, S.3-20.
- Walser, W. & Wedekind, J. (1991). *Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme* (Bd. 12). Arbeitsbereichmedienforschung, Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien, Band 12.
- Wedekind, J. (1981). *Unterrichtsmedium Computersimulation*. Weil der Stadt: Lexika-Verlag,
- Weidenmann, B. (1989). When good pictures fail: An information-processing approach to the effects of illustrations. Amsterdam: North-Holland.
- Weidenmann, B. & Krapp, A. (1993). *Pädagogische Psychologie*. Helmsbach: Beltz - Psychologische Verlags Union.

- Weidenmann, B. (1994). Lernen mit Bildmedien: psychologische und didaktische Grundlagen. Weinheim: Beltz. 2. Auflage.
- Weidenmann, B. (1997). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozeß. Issing, L. & Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Beltz.
- Yazdani, M. (1987). Intelligent Tutoring Systems: An Overview Lawler R. W. und Yazdani, M. (Eds.): Artificial Intelligence and Education Volume one. New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Zhang, J. & Norman, D.A. (1994). Representations in distributed cognitiv tasks. *Cognitiv Science*. 18, 87-122.

13 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 3-1: Verarbeitungsprozesse auf Basis der dualen Kodierungstheorie. (Mayer und Sims, 1994)..... | 11 |
| Abb. 3-2: Integratives Modell des Text- und Bildverstehens (Schnotz ,1998)..... | 13 |
| Abb. 4-1: Ablaufschema eines Übungsprogramms nach Euler (1992)..... | 28 |
| Abb. 4-2: Ablaufschema eines tutoriellen Programm nach Euler (1992)..... | 29 |
| Abb. 4-3: Ablaufschema eines Computersimulationsprogramm nach Euler (1992) | 31 |
| Abb. 5-1: Schematische Darstellung des Modellbildungsprozesses..... | 38 |
| Abb. 5-2: Schematische Darstellung des Modellbildungsprozesses mit Simulationsprogramm. | 40 |
| Abb. 6-1: Die „L.E.S.P.“ – Entwicklungs- und Simulationsumgebung..... | 43 |
| Abb. 7-1: Unterrichtsreihe zur Einführung in das Kugelteilchenmodell. | 47 |
| Abb. 7-2: Schema des zirkulären Stundenverlaufs bei der Integration von „L.E.S.P.“ in den Unterricht..... | 49 |
| Abb. 7-3: Diffusionsexperiment mit „L.E.S.P.“ | 51 |
| Abb. 7-4: Bromdiffusionsexperiment vor dem Simulationsstart. | 52 |
| Abb. 7-5: Darstellung der zurückgelegten Strecke eines Teilchens während der Simulation. ... | 53 |
| Abb. 7-6: Versuch zur Veranschaulichung der Teilchengeschwindigkeit (nach Pfundt, Dierks & Marcus, 1979)..... | 53 |
| Abb. 7-7: Simulation zur Veranschaulichung der Teilchengeschwindigkeit mit „L.E.S.P.“..... | 54 |
| Abb. 7-8: Mikroskop mit Rauchkammer (Pfundt, Dierks & Marcus, 1979). | 55 |
| Abb. 7-9: Simulation Brownsche Bewegung mit „L.E.S.P.“ Links während der Konstruktion, rechts während der Simulation (Schwarz: Staub, Weiß: Luft)..... | 56 |
| Abb. 7-10: Darstellung des festen, flüssigen und gasförmigen Zustands eines Stoffes während einer Simulation..... | 57 |
| Abb. 8-1: Vergleich der Evaluationsstudien I & II. | 60 |
| Abb. 9-1: Untersuchungsdesign der Studie I. | 61 |
| Abb. 9-2: Mittelwerte und Mittelwertdifferenzen der beiden untersuchten Klassen in Bezug auf den Leistungstest zum Teilchenkonzept. | 64 |
| Abb. 9-3: Beispiel für eine Schülerzeichnung zur Kontinuumvorstellung von Gasen. Links: Vollständig mit Luft gefüllte Flasche; Rechts: Halbvoll Flasche..... | 64 |
| Abb. 9-4: Anteil der Schülerinnen und Schüler mit korrekter Teilchendarstellung. | 65 |
| Abb. 9-5: Stoffkonzepte von Schülerinnen und Schülern in Zeichnungen zu den Aggregatzuständen. | 66 |

| | |
|---|----|
| Abb. 9-6: Beispiel für eine Hybriddarstellung von Kontinuums- und Teilchenkonzept. Links: flüssigkeitsgefüllte Flasche; Rechts: die Flüssigkeit nach dem Abkühlen als Feststoff. | 66 |
| Abb. 9-7: Wechselprozesse in der Darstellung von Flüssigkeiten (Pfeile zeigen Wanderungsrichtung an). | 67 |
| Abb. 9-8: Anteil der Lernenden mit korrekt beantworteten Fragen (Aufgabe 9 und 15). | 69 |
| Abb. 9-9: Anteil der Lernenden mit korrekt beantworteten Fragen (Aufgabe 4, 9 und 11). | 70 |
| Abb. 9-10: Screen-Shot des Programms „L.E.S.P.“-LogViewer. | 71 |
| Abb. 9-11: Gebildete Haupt- und Unteraktionskategorien für die Auswertung der Protokolldateien. | 72 |
| Abb. 9-12: Schüler-Konstruktionen zum Thema Ether-Diffusion. | 73 |
| Abb. 9-13: Kategorisierte Modellbildungszeit beim Ether-Versuch (vgl. Tab. 9-7). | 74 |
| Abb. 9-14: Darstellung des Modellbildungsprozesses mit „L.E.S.P.“. | 76 |
| Abb. 9-15: Darstellung des zeitlichen Verlaufs eines alternierenden Entwicklungsprozesses einer Konstruktion mit dem Programm „L.E.S.P.“. | 76 |
| Abb. 9-16: Darstellung des zweiphasigen Modellbildungsprozesses. | 78 |
| Abb. 9-17: Darstellung des zeitlichen Verlaufs eines „stetigen“ (links) und „alternierenden“ Modellbildungsprozesses (rechts). | 79 |
| Abb. 9-18: Diagramm zu Darstellung des Zusammenhangs von Animationsphase und Unterrichtsthema der gesamten Klassen. | 80 |
| Abb. 10-1: Darstellung des Konstruktions- und Darstellungsanteils in den intervenierten Klassen. | 82 |
| Abb. 10-2: Untersuchungsdesign der Studie II. | 83 |
| Abb. 10-3: Säulendiagramm zur Darstellung der Nutzungshäufigkeit von Computern, nach Geschlechtern getrennt. | 84 |
| Abb. 10-4: Grafische Darstellung der Computerkenntnisse. | 85 |
| Abb. 10-5: Diagramm zur Darstellung der Computernutzungen in der Freizeit (Werte siehe Tab. 10-1). | 86 |
| Abb. 10-6: Gegenüberstellung der Angaben zum Wissen und Nutzen von Computern. | 87 |
| Abb. 10-7: Mittelwerte der drei Versuchsklassen für die Gesamtleistung des Teilchenkonzepttests. | 88 |
| Abb. 10-8: Prozentualer Anteil der Lernenden mit korrekter Teilchendarstellung bei den verschiedenen Illustrationsaufgaben im Pre- und Post-Test-Vergleich. | 89 |
| Abb. 10-9: Prozentualer Anteil der maximal erreichbaren Punktzahl bei den Zeichenaufgaben zu den Aggregatzuständen. | 90 |
| Abb. 10-10: Punktezuwachs gegenüber dem Pre-Test in Abhängigkeit vom Vorwissensniveau (vgl. Tab. 10-5, S.93). | 93 |

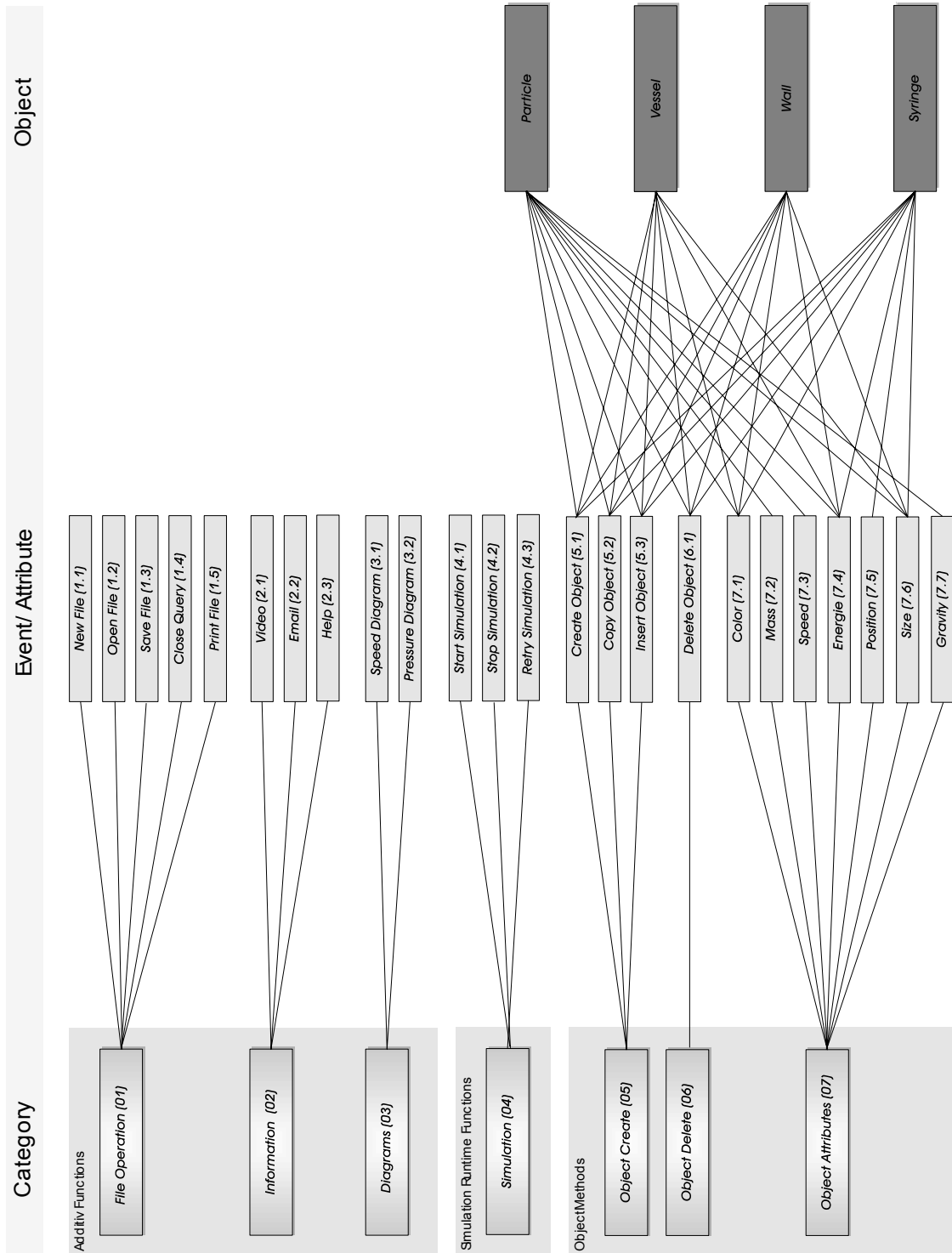
14 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tab. 4-1: Paradigmen des computerunterstützten Lernens nach Baumgartner und Payr (1999, S.100). | 27 |
| Tab. 6-1: Teilchen- oder Gefäßelementeigenschaften | 44 |
| Tab. 6-2: Eigenschaften der Simulationsumgebung. | 44 |
| Tab. 9-1: Liste der teilgenommenen Probanden. | 62 |
| Tab. 9-2: Mittelwerte und Standardabweichungen der zwei untersuchten Klassen für die Gesamtleistung der Lerntests. | 63 |
| Tab. 9-3: Anteil der Lernenden mit Teilchenzeichnungen bei den Aggregatzuständen. | 65 |
| Tab. 9-4: Zeichnungen der Schülerinnen und Schüler zum Thema Flüssigkeiten..... | 67 |
| Tab. 9-5: Mittelwert der erreichten Punkte der Lernenden (Multiple-Choice-Aufgaben). | 68 |
| Tab. 9-6: Aufgabenbeispiele für Häufungen von „Ich weiß nicht“- Antworten. | 68 |
| Tab. 9-7: Darstellung der prozentualen Konstruktionszeiten in Abhängigkeit von den verschiedenen Kategorien, bezogen auf die Gesamtzeit..... | 74 |
| Tab. 9-8: Auflistung der aus der Protokolldatei entnommenen relevanten Eckdaten für den zweiphasigen Modellbildungsprozess. | 77 |
| Tab. 10-1: Darstellung der Nutzungsnennungen nach Kategorien geordnet. | 86 |
| Tab. 10-2: Mittelwert-, F- und t-Testergebnisse der Gesamtleistung des Lerntests zum Teilchenkonzept..... | 89 |
| Tab. 10-3: Mittelwert-, F- und t-Testergebnisse der illustrativen Lerntestaufgaben zum Teilchenkonzept..... | 90 |
| Tab. 10-4: Anzahl der Lernenden mit konstanter, unbeständiger und keiner Nutzung des Teilchenkonzepts bei der Darstellung von Aggregatzuständen. | 91 |
| Tab. 10-5: Mittelwerte der Leistungstests in Abhängigkeit vom Vorwissen. | 92 |
| Tab. 10-6: Mittelwerte im Leistungstest in Abhängigkeit von Computerkenntnissen und Computernutzungsdauer. | 94 |
| Tab. 10-7: Prozentualer Anteil der von den Lernenden angekreuzten Antworten bei der Aufgabe 6..... | 95 |
| Tab. 10-8: Prozentualer Anteil der Nennungen zu den jeweiligen Antwortmöglichkeiten bei der Aufgabe 5..... | 96 |

Anhang

A: Aktionskategorisierungsschema

Die folgende Abbildung fasst alle möglichen Programmaktionen von „L.E.S.P.“ in einem Kategorisierungsschema zusammen:



B: Studie II – Vergleich der Lernleistungen der Klassen in Abhängigkeit vom Vorwissen

Die vorliegenden statistischen Daten bilden die Basis für Auswertung in Kapitel 10.3.3.

Die Werte für die Signifikanzschranken der Student-Verteilung (t-Test) sowie die Homogenitätsschranken für Irrtumswahrscheinlichkeit beim F-Test entstammen dem Tabellenwerk von Keller (1982).

Niedriges Vorwissen

| | M | Varianz | F-Test | t-Test | Signifikanz |
|----------|------|---------|--------|---------------------|-------------|
| Klasse A | 6,44 | 4,28 | 0,81 | 2,1075 ^I | <.05 |
| Klasse C | 5,20 | 5,29 | | | |
| Klasse A | 6,44 | 4,28 | 0,62 | 1,0859 | n.s. |
| Klasse B | 5,75 | 6,92 | | | |
| Klasse B | 5,75 | 6,92 | 0,76 | 0,8264 | n.s. |
| Klasse C | 5,20 | 5,29 | | | |

^I 5% Signifikanzschranke für $t(v=55) = 2,0041$

Mittleres Vorwissen

| | M | Varianz | F-Test | t-Test | Signifikanz |
|----------|------|---------|--------|----------------------|-------------|
| Klasse A | 7,33 | 4,97 | 1,87 | 3,2313 ^I | <.005 |
| Klasse C | 5,64 | 2,65 | | | |
| Klasse A | 7,33 | 4,97 | 0,94 | 0,4438 | n.s. |
| Klasse B | 7,06 | 5,26 | | | |
| Klasse B | 7,06 | 5,26 | 0,50 | 2,6655 ^{II} | <.02 |
| Klasse C | 5,64 | 2,65 | | | |

^I 0,5% Signifikanzschranke für $t(v=55) = 2,9249$

^{II} 2% Signifikanzschranke für $t(v=51) = 2,402$

Hohes Vorwissen

| | M | Varianz | F-Test | t-Test | Signifikanz |
|----------|-------|---------|--------|-----------------------|-------------|
| Klasse A | 10,00 | 1,43 | 0,75 | 10,6529 ^I | <.001 |
| Klasse C | 6,29 | 1,90 | | | |
| Klasse A | 10,00 | 1,43 | 0,65 | 6,0438 ^{II} | <.001 |
| Klasse B | 7,80 | 2,20 | | | |
| Klasse B | 7,80 | 2,20 | 0,87 | 3,9214 ^{III} | <.001 |
| Klasse C | 6,29 | 1,90 | | | |

^I 0,1% Signifikanzschranke für $t(v=55) = 3,4770$

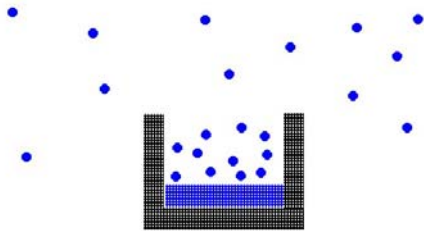
^{II} 0,1% Signifikanzschranke für $t(v=52) = 3,4883$

^{III} 0,1% Signifikanzschranke für $t(v=51) = 3,4924$

C: „L.E.S.P.“-Schülermodelle

Im folgenden sind weitere Schülermodelle zu verschiedenen Themen dargestellt.

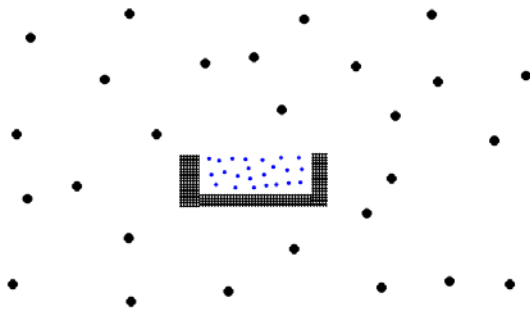
Schülermodelle zum Thema Ether:



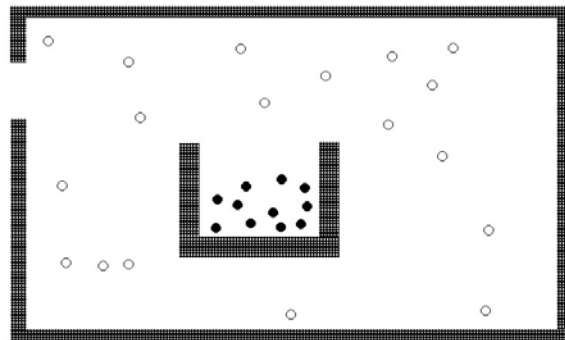
Ethermodell mit kontinuierlicher Flüssigkeitsdarstellung.



Ethermodell mit kontinuierlicher Flüssigkeitsdarstellung durch eng zusammengefügte Teilchen.



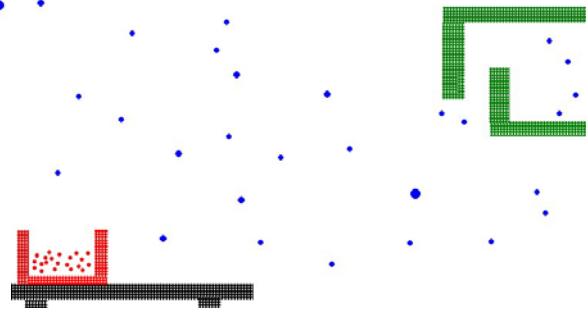
Idealtypisches Ethermodell mit umgebenden „Luftteilchen“.



Wände mit „Fenster“ umgeben ein Gefäß mit Ether

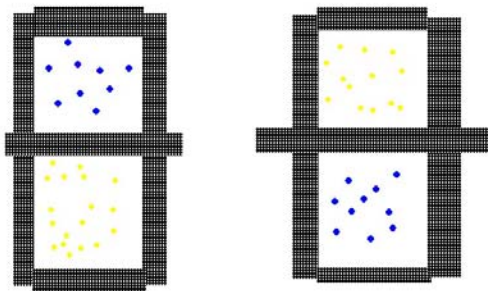


Ethermodell mit „Nase“.

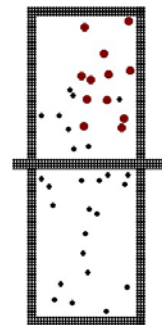


Ethermodell mit „Tischplatte“ und „Nase“.

Schülermodelle zum Thema Bromdiffusion:



Modell zur Diffusion von Brom mit Luft
(Links: Bromteilchen oben; Rechts:
Bromteilchen unten).



Idealtypisches Modell zur Diffusion von
Brom mit Luft (Brom oben).

D: Lernleistungstest der Studie I**Zur Natur der Stoffe**

Datum _____

Name _____

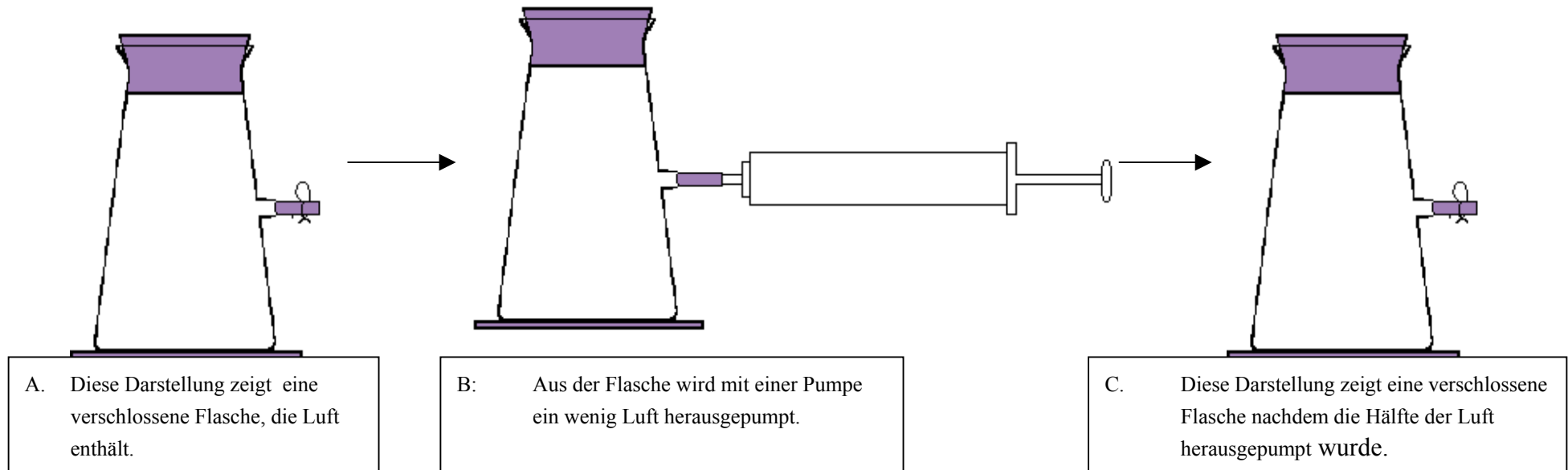
Alter _____

Schule _____

Frage 1

Zeichne in die Flaschen die Luft wie du sie dir vorstellst.

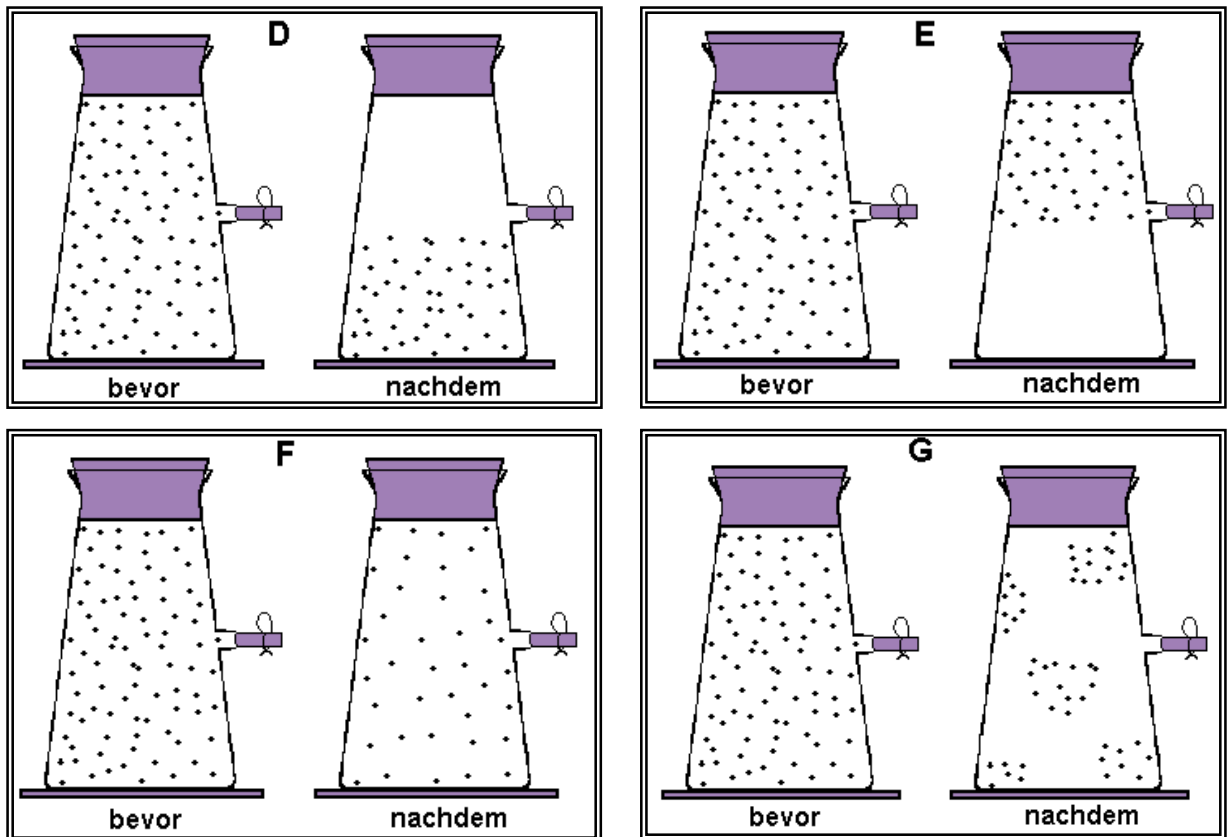
Zeichne ein Bild von der Luft in der Flasche (A), bevor die Pumpe angeschlossen und benutzt wurde, und nachdem etwas Luft aus der Flasche (C) entfernt wurde.



Aufgabe 2

Schüler in anderen Schulen haben Punkte verwendet, um die Luft in den Flaschen darzustellen bevor und nachdem etwas Luft herausgepumpt worden ist.

Die Abbildungen D, E, F und G sind Beispiele von einigen von ihren Zeichnungen.



Kreuze die Abbildung an, von der du glaubst, dass sie die beste Beschreibung der Luft in der Flasche ist, also bevor und nachdem etwas Luft aus der Flasche entfernt wurde

Begründe deine Meinung:

Frage 3

Wenn wir die Teilchen, aus denen die Luft besteht sehen könnten, würden wir herausfinden, dass in den Räumen zwischen den Teilchen Staub und Schadstoffe sind.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 4

Wenn die kleinsten Teilchen eines Gases gegen ein Hindernis treffen, zerbrechen sie.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 5

Die kleinsten Teilchen eines Gases bewegen sich unabhängig von einander.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 6

Die kleinsten Teilchen eines Gases bewegen sich ständig.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 7

Ich kann die kleinsten Teilchen eines Gases unter dem Mikroskop sehen.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 8

Wenn wir die Luftteilchen sehen könnten, würden wir herausfinden, dass in den Räumen zwischen den Teilchen nichts ist.

Ist richtig.

Ist falsch.

Ich weiß nicht.

Frage 9

Wenn die kleinsten Teilchen eines Gases erwärmt werden, vergrößern sie sich.

Ist richtig.

Ist falsch.

Ich weiß nicht.

Frage 10

Die Bewegungen der kleinsten Teilchen eines Gases werden mit der Zeit immer langsamer.

Ist richtig.

Ist falsch.

Ich weiß nicht.

Frage 11

Prallen zwei Teilchen eines Gases aufeinander, so verändern sie ihre Form.

Ist richtig.

Ist falsch.

Ich weiß nicht.

Frage 12

Wenn die kleinsten Teilchen eines Gases sichtbar wären, könnte man sehen, dass sie sich nicht bewegen.

Ist richtig.

Ist falsch.

Ich weiß nicht.

Frage 13

Die kleinsten Teilchen eines Gases üben Druck auf einen Gegenstand aus, wenn sie auf ihn treffen.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 14

Die Bewegungen der kleinsten Teilchen eines Gases werden mit der Zeit immer schneller.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 15

Wenn die kleinsten Teilchen eines Gases abgekühlt werden, werden sie kleiner.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 16

Je schneller die kleinsten Teilchen eines Gases sind, desto mehr Druck üben sie aus, wenn sie auf einen Gegenstand prallen.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 17

Ein fester Stoff, z.B. Eis, besitzt keine kleinsten Teilchen.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 18

Wenn eine Flüssigkeit verdunstet, dann löst sie sich in nichts auf.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 19

Alle ausgießbaren Stoffe sind Flüssigkeiten.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 20

Wenn ein Stück Würfelzucker in ein Glas Tee geworfen wird, spaltet sich der Würfelzucker in seine kleinsten Teilchen auf und ist deshalb nicht mehr sichtbar.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 21

Die kleinsten Teilchen eines Stoffes kann ich unter dem Mikroskop erkennen.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 22

Wasser besitzt keine kleinsten Teilchen.

- Ist richtig.
Ist falsch.
Ich weiß nicht.

Frage 23

Die kleinsten Teilchen eines Gases können sich auflösen.

| | |
|--------------------------|-----------------|
| <input type="checkbox"/> | Ist richtig. |
| <input type="checkbox"/> | Ist falsch. |
| <input type="checkbox"/> | Ich weiß nicht. |

Frage 24

Die kleinsten Teilchen eines Gases passen überall hindurch.

| | |
|--------------------------|-----------------|
| <input type="checkbox"/> | Ist richtig. |
| <input type="checkbox"/> | Ist falsch. |
| <input type="checkbox"/> | Ich weiß nicht. |

Frage 25

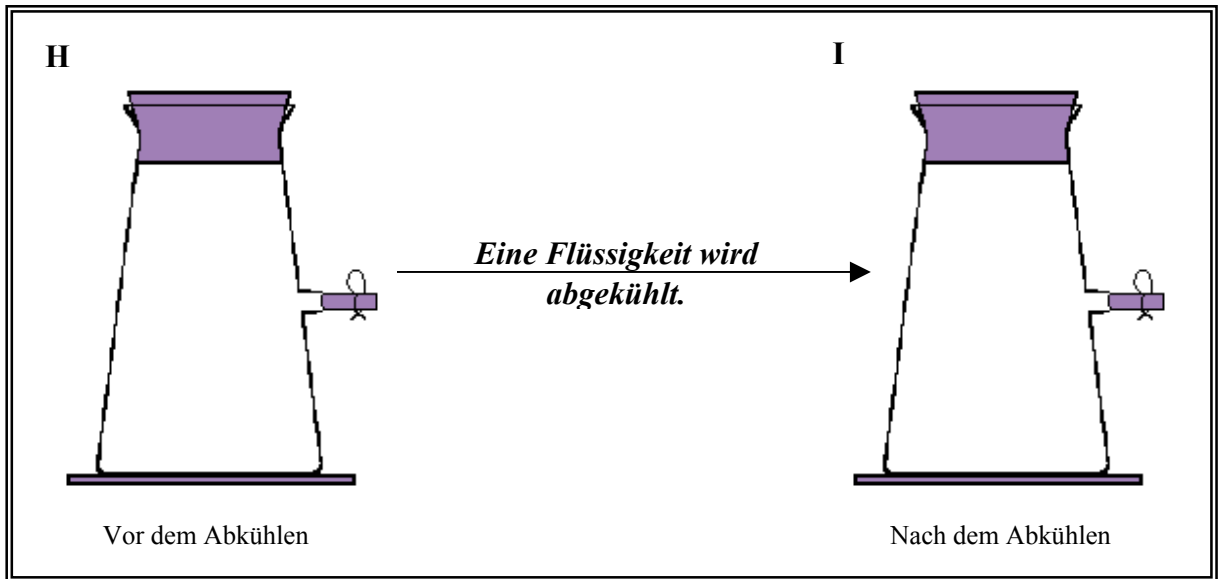
Die Luft in einem Behälter drückt von innen und die Luft außerhalb des Behälters von außen auf die Behälterwände.

| | |
|--------------------------|-----------------|
| <input type="checkbox"/> | Ist richtig. |
| <input type="checkbox"/> | Ist falsch. |
| <input type="checkbox"/> | Ich weiß nicht. |

Aufgabe 26

Eine Flüssigkeit (z.B. Wasser) wird abgekühlt, dabei gefriert diese.

Zeichne ein Bild von der Flüssigkeit vor (H) und nachdem (I) diese abgekühlt worden ist.



E: Lernleistungstest der Studie II

Von J.Nussbaum und S. Novick, Hebrew Universität

Deutsche Bearbeitung E. Kirchner, Universität Würzburg

Ergänzungen A. Hollstein, Universität Essen

Gase, Flüssigkeiten und feste Stoffe

Datum

Name

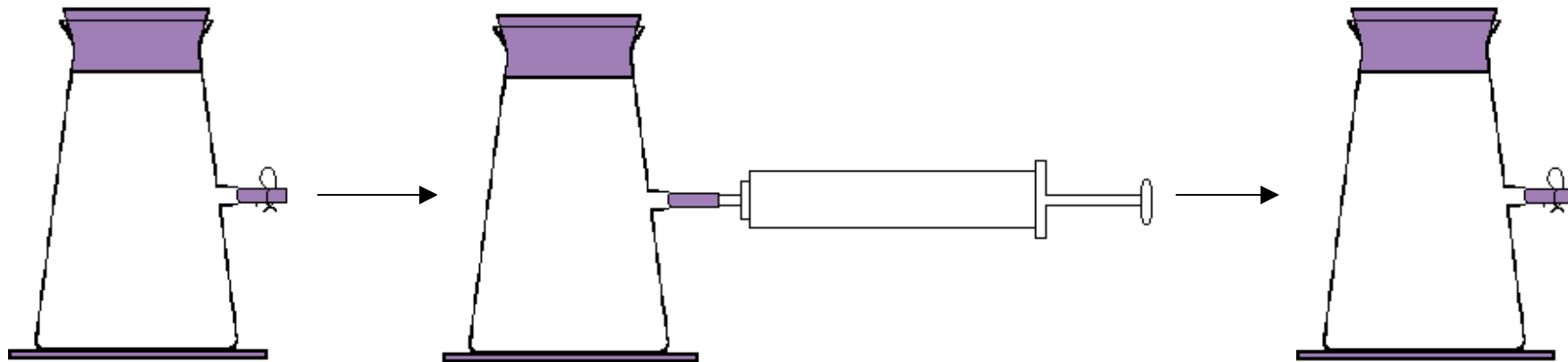
Alter

Schule

Aufgabe Nr. 1

Zeichne in die Flaschen die Luft wie Du sie Dir vorstellst.

Zeichne eine Bild von der Luft in der Flasche (A), bevor die Pumpe angeschlossen und benutzt wurde, und nachdem etwas Luft aus der Flasche (C) entfernt wurde.



A. Diese Darstellung zeigt eine verschlossene Flasche, die Luft enthält.

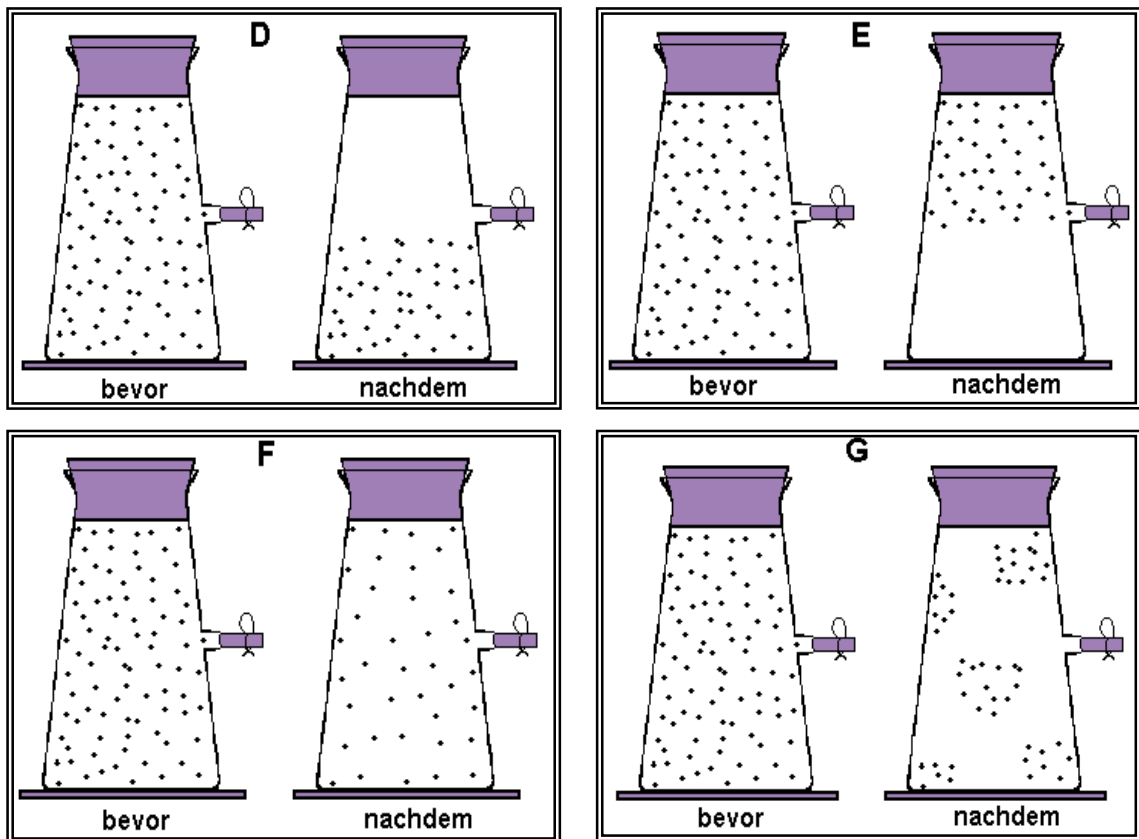
B: Aus der Flasche wird mit einer Pumpe ein wenig Luft herausgepumpt.

C. Diese Darstellung zeigt eine verschlossene Flasche nachdem die Hälfte der Luft herausgepumpt wurde.

Aufgabe 2

Schüler in anderen Schulen haben Punkt verwendet, um die Luft in den Flaschen darzustellen bevor und nachdem etwas Luft herausgepumpt worden ist.

Die Abbildungen D, E, F und G sind Beispiele von einigen von ihrer Zeichnungen.



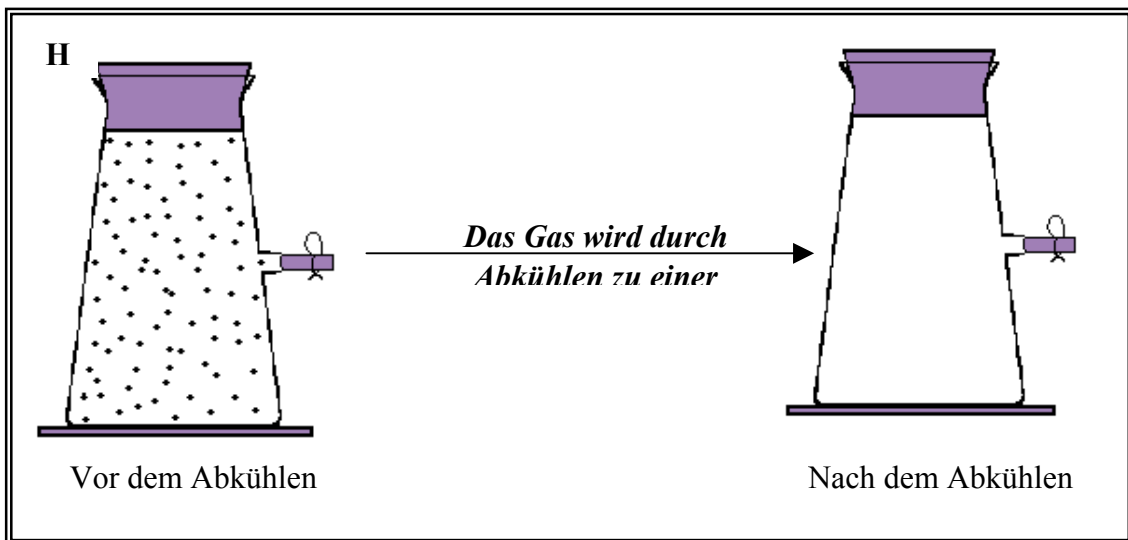
Kreuze die Abbildung an, von der Du glaubst, daß sie die beste Beschreibung der Luft in der Flasche ist, also bevor und nachdem etwas Luft aus der Flasche entfernt wurde.

Begründe Deine Meinung:

Aufgabe 3

Eine Flasche (H) mit Gas wurde abgekühlt, bis aus dem Gas eine Flüssigkeit wurde.

Zeichne ein Bild von der Flüssigkeit, die durch das Abkühlen entsteht, indem Du Punkte verwendest.

**Aufgabe 4**

Erkläre kurz, wie sich die Abkühlung auf das Gas in der Flasche auswirkt.

Aufgabe 5

Kreuze die richtige Ergänzung für folgenden Satz an (a, b, c, d, e, f):

Wenn wir die Luftteilchen sehen könnten, wie in Abbildung I beschrieben, würden wir herausfinden, daß in den Räumen zwischen den Teilchen

Luft ist.

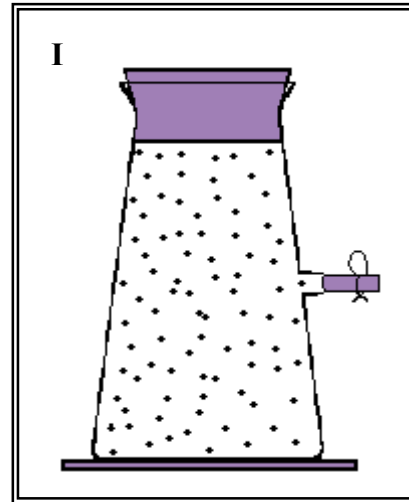
Schadstoffe sind.

Sauerstoff ist.

Überhaupt keine Materie (kein Stoff) ist.

Dampf ist.

Staub ist.

**Aufgabe 6**

Die Luft in der Flasche (Abbildung I) wurde in Form von Punkten eingezeichnet. Die folgende n Fragen wurden im Physik- bzw. Chemieunterricht gestellt:

..... warum fallen nicht alle Luftteilchen in der Flasche herunter und aufeinander und bleiben auf dem Boden der Flasche?

..... warum bleiben die Teilchen ausgebreitet, obwohl Raum zwischen ihnen ist und sie auf nichts liegen?

Kreuze die Antwort an, die Deiner Meinung nach am besten ist. Wenn Du eine eigene bessere Antwort hast, kreuze nichts an, sondern schreibe Deine Erklärung unten auf die Seite.

Weil es in dem Raum zwischen den Teilchen noch immer mehr Teilchen gibt.

Weil Teilchen ihre eigene gleichmäßig Bewegung haben.

Weil in dem Raum zwischen den Teilchen Luft ist, die die Teilchen an ihrem Platz hält.

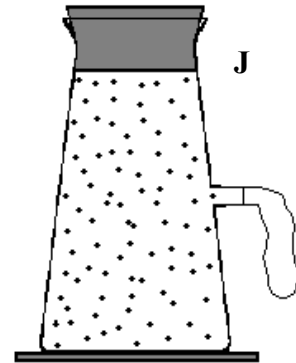
Weil die Teilchen der Luft weit auseinander liegen.

Weil es abstoßende Kräfte zwischen den Teilchen gibt, die sie auseinander halten.

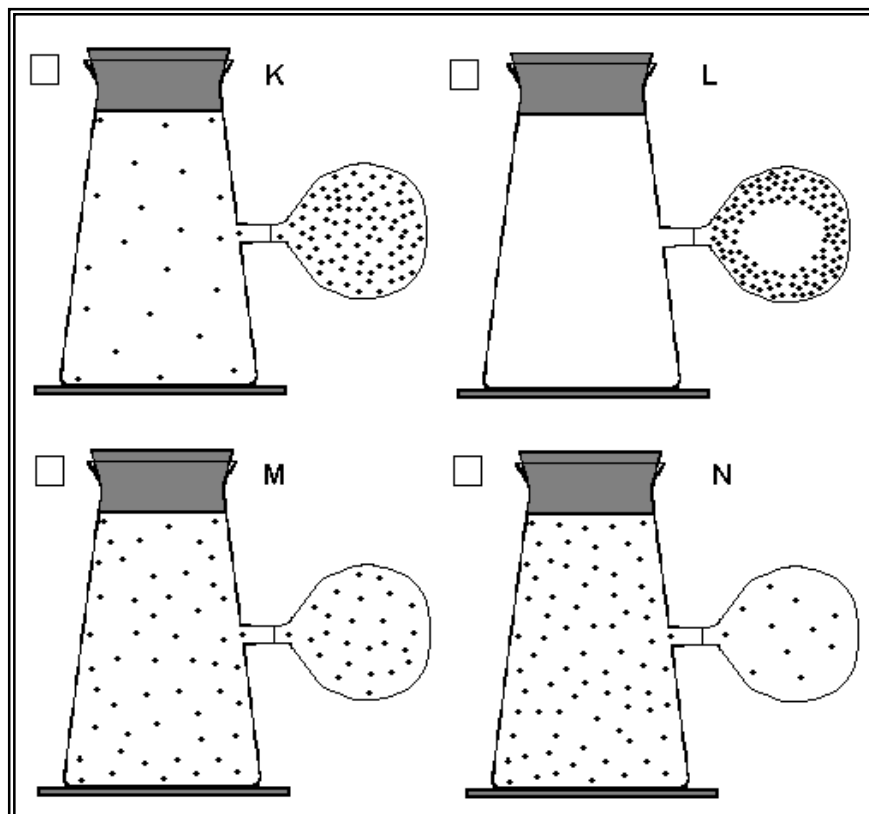
f) Deine Meinung:

Aufgabe 7

Eine Flasche mit Luft wird mit einem Luftballon verbunden (J). Dann wird die Luft in der Flasche durch eine Flamme erhitzt und der Ballon bläht sich auf.



Kreuze die Abbildung an, von der du glaubst, dass sie die beste Beschreibung der Luft ist, nachdem der Ballon aufgeblasen ist (K, L, M, N).

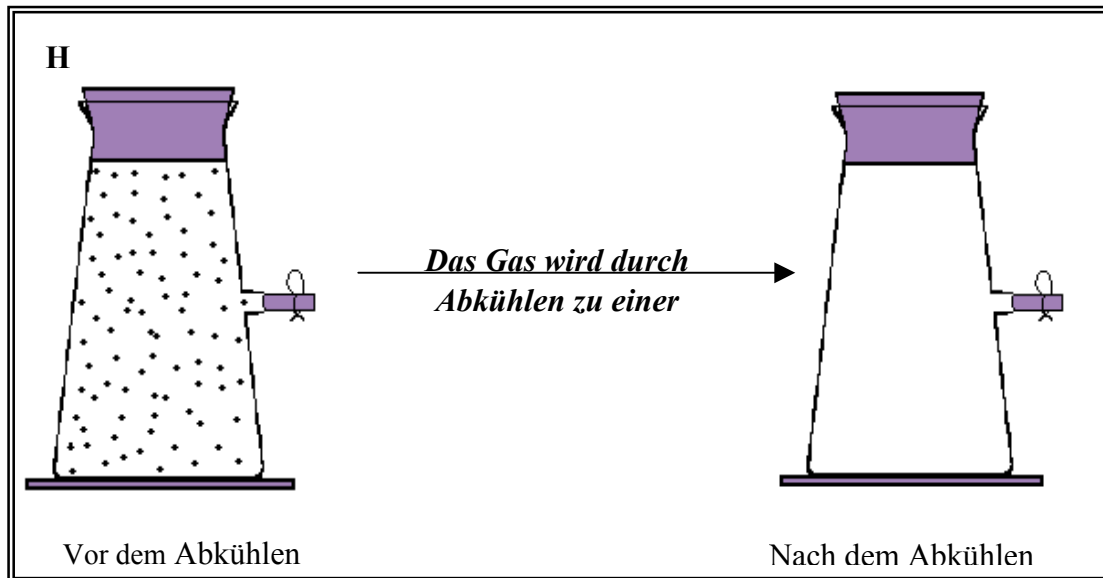


Erkläre kurz, wie die Hitze der Flamme auf die Teilchen in der Flasche wirkt.

Aufgabe 9

Eine Flüssigkeit (z.B. Wasser) wird abgekühlt, dabei gefriert diese.

Zeichne ein Bild von der Flüssigkeit vor (O) und nachdem (P) diese abgekühlt worden ist.



F: Computerfragebogen der Studie II**Fragebogen zur Nutzung von Computern**

Name: _____ Datum: _____

Schule: _____ Klasse: _____

1. Gibt es bei dir zu Hause einen Computer?

Ja Nein

2. Wie viele Stunden verbringst du pro Woche am Computer?

3. Wie schätzt du dein Wissen über Computer ein? (1 = sehr hoch; 6 = kein Wissen)

4. Welche Programme oder Spiele benutzt du, wenn du am Computer sitzt?

5. Hast du schon mal in der Schule mit Computern gearbeitet?

Ja Nein

Wenn ja, in welchem Fach?

6. Wünschst du dir, dass in der Schule mehr mit Computern gearbeitet wird?

Ja Nein ist genug