

# **Computer und Multimedia im Chemieunterricht heute - Eine Einordnung aus didaktischer und lerntheoretischer Sicht**

Erarbeitet von Ingo Eilks, Bodo Krilla, Bolko Flintjer,  
Hartwig Möllencamp und Walter Wagner

unter Mitwirkung von Verena Pietzner, Sascha Schanze und Torsten Witteck

*Bereits seit über 20 Jahren gibt es nun die Diskussion um das Lernen mit dem Computer im Chemieunterricht. Viel hatte man sich ursprünglich von diesem neuen Medium für das Lernen versprochen. Viele - aber nicht alle - dieser Versprechen konnten eingelöst werden und bei einigen ist eine solche Entscheidung immer noch nicht absehbar. Die Entwicklung ist bei Weitem noch nicht abgeschlossen. Immer wieder kamen und kommen neue technische Entwicklungen hinzu, die ganz neue Möglichkeiten zu eröffnen scheinen. Die wichtigste hiervon war vielleicht der Aufbau des Internets. Was die Zukunft bringt, wissen wir leider noch nicht, aber die technische Entwicklung wird weitergehen.*

*So sind Diskussionsbeiträge über das Lernen mit Computer und Multimedia immer nur Momentaufnahmen, wie sie auch von der Arbeitsgruppe „Computer im Chemieunterricht“ der Fachgruppe Chemieunterricht in der Gesellschaft Deutscher Chemiker wiederholt erstellt wurden. Auch die vorliegende Broschüre kann nicht mehr sein als eine solche Standortbestimmung.*

*In der Broschüre „Computer und Multimedia im Chemieunterricht heute“ wird der Versuch unternommen, in Zeiten sich stark verändernder Ansprüche an Schule, Lernen und Bildung den Aspekt des Einsatzes von Computer und Multimedia im Chemieunterricht aus didaktischer und lerntheoretischer Sicht kritisch zu betrachten. Die Broschüre richtet sich damit nicht nur an Lehrerinnen und Lehrer, die den Computer in ihrem Fachunterricht einsetzen wollen. Sie richtet sich insbesondere auch an Personen, die an der Aus- und Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern beteiligt sind. Sie soll Hilfestellung geben, den aktuellen Stand der erziehungswissenschaftlichen und fachdidaktischen Forschung kennen zu lernen, den Sinn des Computereinsatzes im Chemieunterricht einzuschätzen und damit an der Fortentwicklung des Einsatzes dieser interessanten Technologien für das Lernen von Chemie mitwirken zu können.*

Gesellschaft Deutscher Chemiker, Fachgruppe Chemieunterricht,  
Arbeitsgruppe Computer im Chemieunterricht © 2004

## 1. Von der Messwerterfassung zu multimedialen Lernumgebungen

Bereits seit Beginn der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts wird der Computer im Chemieunterricht in Deutschland eingesetzt. Der erste Bereich, in dem sich der Computer hier etablieren konnte, war die Unterstützung bei der Messwerterfassung. Daneben gab es aber auch schon vereinzelt Simulations- und Lernprogramme<sup>1</sup>, die aber aus technischen Gründen noch sehr einfach und grafisch oftmals recht unbefriedigend gestaltet waren. So gab es eine Reihe einfacher Animationen und Simulationen zur Darstellung der Teilchenebene. Der Bereich der Lernprogramme war ebenfalls noch sehr einfach gehalten. Oft waren dies tutorielle Systeme mit simpler und in der Regel linearer Struktur oder spielerische Übungsprogramme basierend auf einfachen Multiple-Choice-Aufgaben, die sich zum Teil an den Ideen des programmierten Unterrichts orientiert haben. Der Einbezug animierter oder gar simulierender Elemente in solche Lernprogramme war erst nach und nach anzutreffen. Möglichkeiten einer vernetzten Darstellung von Informationen oder gar einer Interaktivität, die über die von gedruckten Medien deutlich hinausgeht, gab es nicht.

Die rasante Entwicklung der Technik in den letzten Jahren hat einen grundlegenden Wandel ermöglicht. Dieser hat aber bezogen auf die Praxis im Chemieunterricht bisher noch nicht in der Breite stattgefunden. Einen Überblick über diesen Wandel und dessen Auswirkungen auf die Computernutzung im Chemieunterricht kann man leicht entlang entsprechender Themenhefte der Zeitschriften *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* und *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* oder den Empfehlungen von GDCh und MNU erhalten.<sup>2</sup>

Dieser Wandel gründet sich in der fortwährenden Weiterentwicklung des Mediums Computer und betrifft sowohl die technischen Voraussetzungen in der *Hardware* als auch die damit möglichen Entwicklungen der *Software*. So sei auch mit dem Blick auf den Computereinsatz in der Schule darauf verwiesen, dass beim Begriff des Mediums oder spezifischer des Unterrichtsmediums die einzelnen Komponenten eines solchen Mediums (und deren Rolle im Unterricht) unterschieden werden müssen, auch wenn sie in der Nutzung nicht voneinander zu trennen sind:

- Die (Fach)Information
- Die didaktische Intention
- Der Informationsträger und
- Die Geräte und ggf. die Software, die zur Wiedergabe und Wahrnehmung erforderlich sind.

So kann ein Gerät allein (z.B. OHP, Computer) ohne Informationsträger (z.B. Folie, Datei), geschweige denn ohne Information nie die unterrichtliche Rolle eines Mediums spielen.

Insgesamt hat diese Entwicklung dazu geführt, dass man neben der Möglichkeit, immer mehr Daten immer schneller zu verarbeiten, durch den Einbezug verschiedener Medien (Multimedialität) und Darstellungsformen (Multicodalität), dem Ansprechen verschiedener Sinne (Multimodalität), vernetzter Strukturen mit der Möglichkeit einer Nutzung auf verschiede-

nen Wegen (Multilinearität) und einer zumindest begrenzten Interaktivität zwischen Medium und Nutzer hin zu Lernprogrammen mit völlig neuen Perspektiven gelangen kann. Man bezeichnet diese heute zusammenfassend als Multimedia oder nennt ein solches Lernprogramm eine multimediale Lernumgebung, oder wie es bei SCHNOTZ & LOWE umschrieben ist:

*„The term ‚multimedia‘ refers to the combination of multiple technical resources for the purpose of presenting information represented in multiple sensory modalities. Accordingly, multimedia resources can be considered at three different levels: the technical level refers to the technical devices (i. e. computers, networks, display, etc.) that are the carriers of signs; the semiotic level refers to the representational format (i. e. texts, pictures, and sounds) of those signs; the sensory level refers to sensory modality of sign reception (i. e. visual or auditory modality).“<sup>3</sup>*

Zusätzlich zu den gestiegenen Möglichkeiten der Visualisierung im Einzelfall, ist man sich heute relativ sicher, dass bei der Nutzung solcher vernetzter und multimedialer Medien zumindest zum Teil andere lernpsychologische Mechanismen greifen als bei der Nutzung herkömmlicher Medien. Wie dies allerdings im Detail aussieht, ist in vielen Bereichen und insbesondere für den Chemieunterricht noch recht wenig empirisch untersucht. Dennoch bieten sich Chancen, das Lernen mit multimedialen Lernumgebungen auch im Sinne des konstruktivistischen und situativen Lernens zu begründen und damit lernpsychologisch gut zu legitimieren, auch wenn noch nicht abschließend untersucht ist, ob und wie diese grundlegenden Theorien auf das Lernen mit den Neuen Medien angewandt werden können. Ein Blick in die empirische Forschung und eine Diskussion aktueller Modelle aus der Lernpsychologie werden daher in Abschnitt 2 dieses Positionspapiers gegeben.

Allerdings zeigt sich immer noch, dass zwischen den wünschenswerten Anforderungen aus didaktischer Sicht und den technischen Möglichkeiten in vielen Bereichen eine deutliche Diskrepanz besteht. Beispielhaft seien hier die unzureichenden Möglichkeiten der tutoriellen Systeme bei der Interpretation frei formulierter Antworten sowie fehlende Anpassungsmöglichkeiten des Programms an die Bedürfnisse der Lernenden (Adaptierbarkeit) genannt oder auch der bisher noch kaum realisierte Anspruch, das Medium müsse sich während der Nutzung an den Nutzer anpassen (Adaptivität).<sup>4</sup> Auch muss man konstatieren, dass das Angebot an entsprechend für den schulischen Lernprozess geeigneter Software immer noch recht unbefriedigend ist.<sup>5</sup> In Abschnitt 3 werden die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten des Computers für den Chemieunterricht diskutiert und ihr didaktisches Potenzial aus heutiger Sicht kritisch hinterfragt.

In der aktuellen Diskussion erscheint insbesondere die Gestaltung von multimedial ausgestalteten, vernetzten Lernumgebungen mit eigenen Oberflächen oder auf der Basis von Beschreibungssprachen, wie HTML, XHTML bzw. XML, ein zukunftsfruchtiger Weg zu sein. Die technischen Möglichkeiten für solche multimedialen Lernumgebungen sind vorhanden und deuten bereits heute ein erhebliches Potenzial an, um entsprechend gestaltet und begründet in den Lernprozess eingebunden eine Bereicherung für den Chemieunterricht darzustellen. Ein

<sup>1</sup> Die Begriffe Simulation und Lernprogramm – wie auch andere Begriffe in der Einleitung – werden in der Literatur nicht einheitlich benutzt. Eine genauere Umschreibung, was hier unter diesen Begriffen verstanden wird, wird in Abschnitt 3 diskutiert.

<sup>2</sup> Franik (1985), Duvinage (1995), GDCh-FGCU (1996), Lutz (1995), MNU (2002)

<sup>3</sup> Schnotz & Lowe (2003b), S. 117.

<sup>4</sup> Leutner (1997)

<sup>5</sup> Nick et al. (2000)

großer Teil der Multimedia bezogenen Aktivitäten in der deutschen Chemiedidaktik gehen in diese Richtung. Ein Überblick über diese Aktivitäten wird in Abschnitt 4 gegeben.

Allerdings sind immer noch viele Fragen offen. So wird nach einer kurzen Beschreibung der Möglichkeiten des Computereinsatzes für Lehrerinnen und Lehrer in Abschnitt 6 der Versuch unternommen den Status Quo einzuschätzen und Perspektiven für die Entwicklung neuer Medien und die chemiedidaktische Forschung in Deutschland aufzuzeigen.<sup>6</sup>

## 2. Erkenntnisse und Modelle der empirischen Lehr- und Lernforschung

Das Lernen mit Computer basierten Multimedia-Produkten ist trotz einer mittlerweile schon einige Jahrzehnte langen Tradition immer noch ein Feld der empirischen Lehr- und Lernforschung, das vergleichsweise unvollständig ist und viele Vorläufigkeiten aufweist. Die Forschung versucht zwar seit mehr als zehn Jahren adäquate übertragbare Modelle für das Lehren und Lernen mit dem Computer zu erarbeiten und ist hier auch schon ein gutes Stück vorangekommen. Die Entwicklung grundlegender und allgemeingültiger Theorien ist jedoch noch nicht abgeschlossen und eine breite empirische Basis ist für viele Bereiche noch nicht vorhanden.<sup>7</sup> Diese Einschätzung greift umso stärker, je mehr sie sich auf das fachspezifische Lernen konzentriert, etwa in der Chemie bzw. den Naturwissenschaften.<sup>8</sup> Dennoch gibt es Erkenntnisse und Modelle, die auch für die Konzipierung von Multimedia Elementen für den Chemieunterricht und deren Nutzung Hilfestellung geben können.

Eine weitgehend akzeptierte Grundlage für die Präsentation von Inhalten in multimedialer Form und das Lernen hiermit heute ist die Doppelkodierungstheorie nach PAIVIO.<sup>9</sup> Auf dieser Basis beschreibt MAYER ein entwickeltes Modell des Lernens mit Multimedia (vgl. Abb. 2.1).<sup>10</sup> Demnach gibt es ein visuelles und ein akustisches Arbeitsgedächtnis mit jeweils einem limitierten Speicher. Gelernt wird, wenn der Inhalt in einem oder beiden Arbeitsgedächtnissen in sinnvolle Repräsentationen überführt wird, welche im Langzeitgedächtnis abgelegt werden. Sind zur gleichen Zeit sich ergänzende Informationen im akus-

tischen und visuellen Arbeitsgedächtnis, so können sinnvolle Verknüpfungen geschaffen werden. Unterbleibt eine Art der Informationsaufnahme, so ist diese Art des Lernens nicht möglich und die vorhandenen Kapazitäten werden nicht ausgenutzt.

Auch kann es zu einer Überlastung des visuellen Kanals kommen, wenn alle Informationen visuell aufgenommen werden. Es kann aber auch für den Lernprozess hinderlich sein, wenn sich widersprechende oder zumindest aus Sicht des Lernenden nicht zusammen passende Informationen über die beiden Kanäle einfließen.

Dementsprechend ist eines der zentralen Felder der empirischen Forschung über das Lernen mit Multimedia die Untersuchung des Umgangs mit bildlicher und textlicher Information. So wurde von MAYER und Mitarbeitern sehr intensiv untersucht, wie sich unterschiedliche Verhältnisse von bildlicher (statisch und animiert) und textlicher (textbasiert und akustisch) Informationen auswirken. Diese Studien kommen zu dem Schluss, dass Lernen mit animiert bildlicher Information am effektivsten stattfindet, wenn textliche Informationen parallel zum Ablauf einer Animation gesprochen werden. Das Einblenden von Text oder eine zeitlich versetzte Unterbreitung ist weniger geeignet und zum Teil sogar hinderlich.<sup>11</sup>

Allerdings konnte auch gezeigt werden, wie sich bildliche Animationen und Informationen in Form von eingebledetem und gesprochenem Text effektiv miteinander kombinieren lassen. So sind geschriebene Informationen zusammen mit gesprochenen dann lernwirksam, wenn gleichzeitig keine weiteren visuellen Informationen (in Form von Bildern) gezeigt werden. Am lernwirksamsten insbesondere bei den Transferleistungen ist das vorherige Zeigen der Animation mit anschließenden gesprochenen Informationen, zu denen der Text visuell eingebledet wurde. Die mit Abstand schlechtesten Resultate wurden erzielt, wenn alle drei Informationsquellen gleichzeitig angeboten werden.

In einer weiteren Untersuchung konnten MAYER, HEISER & LONN zeigen, dass die Zugabe von bildlichen Informationen, die vorwiegend emotionales Interesse berühren, keine positiven Auswirkungen auf den Lernprozess hat und dass dies auch für filmische Informationen gilt. Sowohl das Einbauen von Filmsequenzen die vorwiegend emotionales Interesse erwecken,

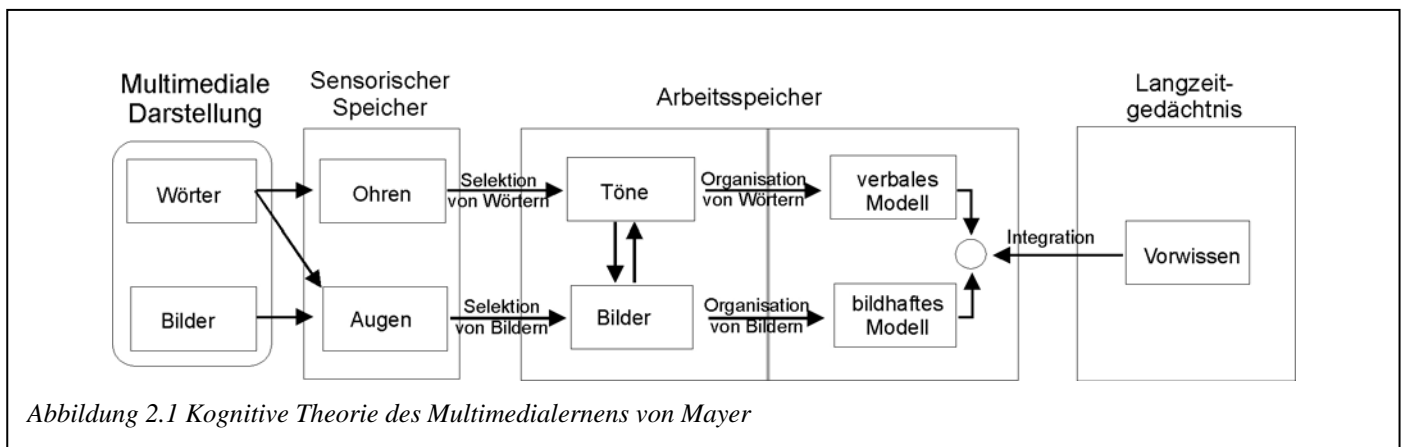


Abbildung 2.1 Kognitive Theorie des Multimedialernens von Mayer

<sup>6</sup> vgl. z. B. Bauer (1997)

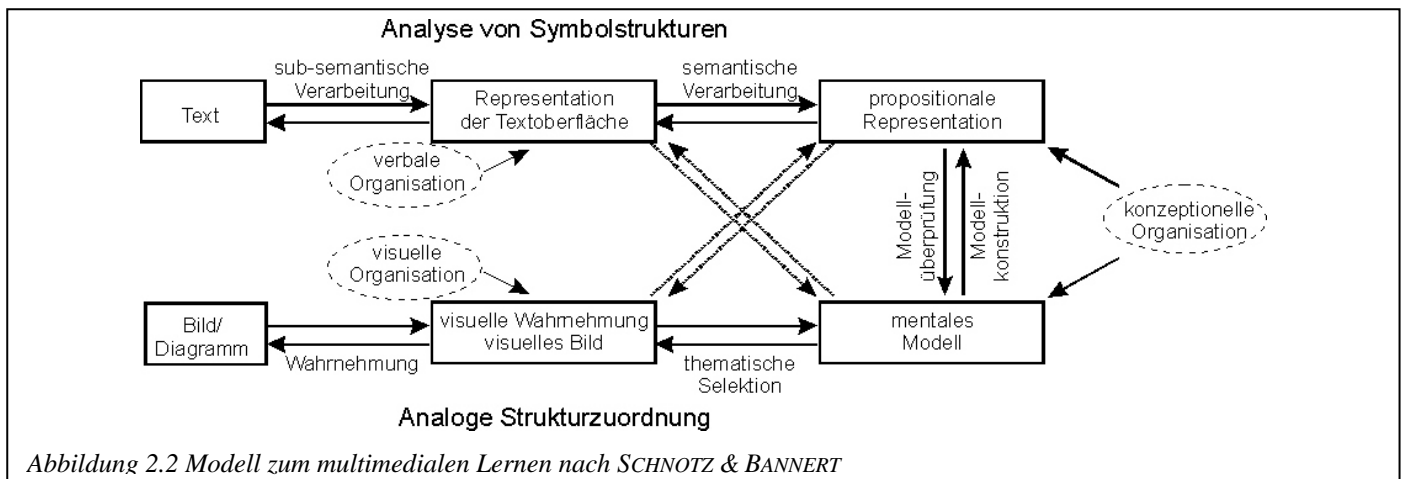
<sup>7</sup> Klimsa & Issing (1997), Schnotz & Lowe (2003a)

<sup>8</sup> MacFarlane & Sakellariou (2002)

<sup>9</sup> Paivio (1986)

<sup>10</sup> Mayer (2003)

<sup>11</sup> Mayer (2003)



erwecken, wie auch das vorherige Zeigen dieser Sequenzen, beeinträchtigt die Lernleistung negativ. Lediglich die Präsentation nach der Bearbeitung der multimedialen Lernumgebung schien sich nicht negativ auszuwirken.<sup>12</sup>

Weitere Untersuchungen von MAYER erlauben auch Aussagen über die Nähe von textlicher und bildlicher Information oder den Stil der begleitenden Erklärungen. Diese gelten, soweit nicht zeitabhängige, interaktive oder nicht-visuelle Elemente hinzukommen, parallel auch für gedruckte Medien. Zusammenfassend beschreibt MAYER folgende vier Ergebnisse über das Lernen mit multimedialen Lernumgebungen:

- „(a) A multimedia effect – in which students learn more deeply from words and pictures than from words alone – in both book-based and computer-based environments.
- (b) A coherence effect – in which students learn more deeply when extraneous material is excluded rather than included – in both book-based and computer-based environments.
- (c) A spatial contiguity effect – in which students learn more deeply when printed words are placed near rather than far from corresponding pictures – in both book-based and computer-based environments.
- (d) A personalization effect – in which students learn more deeply when words are presented in conversational rather than formal style – in computer-based environments containing spoken words and those using printed words.“<sup>13</sup>

SCHNOTZ & BANNERT vertreten hingegen die Auffassung, dass sich mit der Doppelkodierungstheorie nicht erklären lässt, warum manche Bilder (z. B. solche mit reinem illustrativen Charakter) nicht förderlich für das Lernen sind. Sie schlagen daher ein anderes Modell für das Lernen mit Multimedia vor (Abb. 2.2).<sup>14</sup> Sie betonen, dass es eines semantischen Prozesses bedarf, um ein Bild zu verstehen. Die grafische Darstellung wird durch einen Verarbeitungsprozess auf ein mentales Modell abgebildet.

Sie konnten zeigen, dass Lernende mit wenig Vorwissen von Bildern profitieren, während Lernende mit einem hohen Vorwissen sich manchmal von beigefügten Bildern stören lassen.<sup>15</sup> Wenn die Bilder nicht dem Lerninhalt angemessen sind, so ihre Interpretation, entsteht ein Konflikt bei der Bildung des menta-

len Modells. Die Lernwirksamkeit von Text-Bild-Kombinationen ist damit in hohem Maße abhängig vom Lernenden und den vorhandenen mentalen Modellen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch RIEBER bzgl. des Lernens mit Animationen. In einer ersten Studie lernten die Probanden mit Animationen schlechter, als mit einer vergleichbaren Kombination aus statischen Bildern und Text.<sup>16</sup> Andere Studien, etwa von LEWALTER (2003), belegen ebenfalls, dass animierte Darstellungen gegenüber statischen Illustrationen nicht immer überlegen sind.<sup>17</sup> Als einen möglichen Fehler sah RIEBER an, dass die Informationsdichte für die Lernenden zu groß war. In einer Folgeuntersuchung wurde das ursprüngliche Design in kleinere Einheiten aufgeteilt, mit positivem Erfolg. So folgerte RIEBER, dass das Lernen mit Animationen nur dann erfolgreich ist, wenn die Gestaltung der Animation kongruent zu den intendierten Lehr- und Lernzielen ist und der Effekt der Lernumgebung nicht durch die Überforderung des Lernenden, schlechtes Instruktionsdesign oder unzureichende Kompetenzen zur Informationsaufnahme durch die Lernenden behindert wird.<sup>18</sup>

Aber auch das Vorwissen scheint eine Rolle zu spielen. Im Zusammenhang von 3D-Simulationen beobachteten SCHANZE, NICK und URHAHNE, dass diese für Lernende im Chemieanfängerunterricht zwar einen Lernvorteil gegenüber statischen Abbildungen bieten, es aber bei Chemiestudierenden aus den ersten Semestern keine nennenswerten Unterschiede gab.<sup>19</sup> Sie interpretieren dies so, dass auch das bereichsspezifische Wissen einen besonderen Einfluss hat. Es hilft hier, relevante Informationen bereits den statischen Bildern zu entnehmen. Unter diesem Aspekt betrachtet müssen besonders die Studien neu interpretiert werden, die bewusst Vorwissen zur behandelten Thematik ausschließen, um sie als Einflussgröße nicht berücksichtigen zu müssen. Der naturwissenschaftliche Unterricht knüpft häufig an Vorwissen an und muss in dieser Beziehung individuelle Unterschiede der Lernenden mit einbeziehen.

Somit scheint es unbedingt notwendig, bei der Erstellung effektiver multimedialer Lernumgebungen die Lernvoraussetzungen der Nutzer intensiv zu berücksichtigen und systematisch zur Grundlage der Entwicklung zu machen. Dies erklärt vielleicht auch, dass ein großer Teil der Software, die in der Vergangenheit häufig außerhalb der Schulen und ohne Beteili-

<sup>12</sup> Mayer et al. (2001)

<sup>13</sup> Mayer (2003), S. 125

<sup>14</sup> Schnotz & Bannert (2003), S. 145

<sup>15</sup> Schnotz & Bannert (2003)

<sup>16</sup> Rieber (1990)

<sup>17</sup> Lewalter (2003)

<sup>18</sup> Rieber (1990)

<sup>19</sup> Schanze et al. (2003)

gung von Praktikern und Didaktikern entwickelt wurde, aus der Praxis heraus immer wieder als ungeeignet für den Lernprozess von Schülerinnen und Schülern charakterisiert worden ist.<sup>20</sup> Die Gestaltung solcher Lernumgebungen, von denen die multimediale Komponente u. U. nur einen Teilbereich ausmacht, muss die Voraussetzungen der Lernenden berücksichtigen, diese ihren Bedürfnissen nach anleiten und ermöglichen, dass sie sich (inter)aktiv mit dem Angebot auseinandersetzen. Eine solche Forderung ist natürlich eng verbunden mit Forderungen, wie sie sich aus einem konstruktivistischen Lernverständnis ergeben.<sup>21</sup>

So gibt es auch Erklärungsansätze für das Lernen mit Multimedia, die stärker vom Lernenden und der Strukturierung des Lernprozesses ausgehen, als von der Rezeption und Verarbeitung der präsentierten Informationen. HENSE, MANDL & GRÄSEL etwa stellen für das Lernen mit multimedialen Lernumgebungen die Bedeutung des problemorientierten und situativen Lernens heraus und leiten fünf Forderungen ab:

- Den Lernenden muss es möglich sein selbst gesteuert zu lernen.
- Sie sollen aktiv-konstruktiv am Lernprozess beteiligt sein.
- Das Lernen findet situativ, in sinnstiftenden Kontexten, statt.
- Es wird kooperativ, im sozialen Austausch gelernt.
- Lehrer sind nicht überflüssig, sondern geben instruktionale Unterstützung.<sup>22</sup>

Sie sehen in der multimedialen Gestaltung von Lernumgebungen die Chance, einige der oben aufgeführten Forderungen stärker zu realisieren, als dies in vielen konventionellen Unterrichtsformen möglich ist. Konkret werden das Erstellen von Präsentationen durch die Lernenden selber, so wie das Lernen mit Computer gestützten Planspielen und die aktive Nutzung von Simulationen genannt. In einer weitergehenden Diskussion warnen MANDL, GRUBER & RENKL jedoch auch vor davor, dass es

*"für die Gestaltung von Lernumgebungen, die situiertes Lernen betonen, [...] so viele Freiheitsgrade [gibt], dass natürlich auch alle Möglichkeiten gegeben sind, ineffektive oder sinnlose Produkte zu erstellen."<sup>23</sup>*

So zeigt sich immer wieder, dass ein effektives Lernen mit multimedialen Lernumgebungen einen sehr sensiblen Kompromiss von anspruchsvoller Forderung und hinreichend übersichtlicher, gesteuerter und begrenzter Informationspräsentation ebenso erfordert wie eine möglichst eigenaktive Auseinandersetzung. Gerade der zweite Aspekt wird auch von DRASCHOFF betont.<sup>24</sup> Sie sieht vor allem in der Erzeugung von kognitiven Konflikten durch die Lernumgebung die Möglichkeit die notwendige Aktivität bei den Lernenden hervorzurufen. Eine Computer gestützte Lernumgebung, welche daraufhin ausgelegt ist, ständig kognitive Konflikte bei den Lernenden auszulösen, kann zu größerer emotionaler Beteiligung und besserem Lernerfolg führen. Erreicht werden könne dies z. B. durch eine Einbeziehung von gängigen Fehlvorstellungen von Lernenden oder durch die Formulierung von Problemstellungen,

welche auf Wissenslücken abzielen. Diesbezüglich warnt DRASCHOFF vor einer zu kleinschrittigen Vorgehensweise.<sup>25</sup>

Dies wird auch von der Arbeit von SUMFLETH und KUMMER gestützt, in der die Frage der Vernetztheit bzw. Linearität von multimedialen Lernumgebungen auf der Basis von HTML untersucht und diskutiert ist.<sup>26</sup> Entgegen anderen Untersuchungen<sup>27</sup>, die beschrieben haben, dass sehr vernetzte Lernmedien nur für leistungsfähigere Lernende förderlich und für schwächere eher hinderlich sind, beschreiben SUMFLETH und KUMMER, dass vernetzte Umgebungen gegenüber linearen Systemen auch für Schülerinnen und Schüler mit geringem Vorwissen lernförderlich sein können.

Diese Forderungen dürfen aber nur begrenzt verallgemeinert werden. So beschreiben URHAHNE ET AL. auch Probleme bei einer Vorgehensweise, welche sich durch zu viele Freiheiten bzw. Eigenständigkeit der Lernenden auszeichnet.<sup>28</sup> Auch MAYER, MAUTANO & PROTHERO kommen zu ähnlichen Ergebnissen.<sup>29</sup> Sie untersuchten anhand einer Simulation, wie Techniken aus dem Ansatz des *cognitive apprenticeship* für ein erfolgreiches Lernen mit Multimedia genutzt werden können. Auch diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass das Lernen mit einer Simulation einer angebrachten Unterstützung der Lernenden bedarf.

Betrachtet man die letztgenannten Studien zusammen, so lässt sich schließen, dass es bei der Erstellung einer Lernumgebung darum geht, den richtigen Mittelweg zwischen Vorgabe von Problemstellungen und offenem Zugang zu finden. Wird zu wenig geleitet, so kann es passieren, dass die Lernenden nicht in der Lage sind, die vorhandenen Möglichkeiten zu nutzen. Wird hingegen zuviel geleitet, so kann dies dazu führen, dass die Lernenden in eine ungewünschte passive Haltung verfallen. Idealerweise sollte die Lernumgebung es ermöglichen, jedem Lernenden so viel Hilfestellung zu geben, wie er benötigt.

Die diskutierten Ergebnisse und Schlussfolgerungen geben eine Reihe brauchbarer und empirisch begründeter Hinweise zum Erstellen einer Computer basierten Lernumgebung. Dies gilt insbesondere, wenn man, wie WEIDEMANN es fordert, von einem naiven Glauben an das Lernen mit Multimedia weggeht und die Chancen, die die Forschung beschreibt, als eine Leitlinie zur Gestaltung nutzt:

*„- Das Argument ‚Multimedia spricht mehrere Sinneskanäle an und verbessert so das Behalten‘ wäre zu ersetzen durch: ‚Multicodierte und multimodale Präsentation kann in besonderer Weise eine mentale Multicodierung des Lerngegenstandes durch den Lerner stimulieren. Dies verbessert die Verfügbarkeit des Wissens.‘*

*- Statt ‚Multimedia ist abwechslungsreich. Das motiviert die Lerner‘ wäre treffender: ‚Mit Multicodierung und Multimodalität gelingt es besonders gut, komplexe authentische Situationen realitätsnah zu präsentieren und den Lerngegenstand aus verschiedenen Perspektiven, in verschiedenen Kontexten und auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus darzustellen. Dies fördert Interesse am Gegenstand, flexibles Denken, die Entwick-*

<sup>20</sup> Nick et al. (2000)

<sup>21</sup> z. B. Terhart (2003)

<sup>22</sup> Hense et al. (2001)

<sup>23</sup> Mandl et al. (2002)

<sup>24</sup> Draschoff (2000)

<sup>25</sup> Draschoff (2000)

<sup>26</sup> Sumfleth & Kummer (2001)

<sup>27</sup> Gerdes (1997)

<sup>28</sup> Urhahne et al. (2000)

<sup>29</sup> Mayer et al. (2002)

lung adäquater mentaler Modelle und anwendbares Wissen.'

- Das beliebte Argument ‚Multimedia aktiviert die Lerner‘ wäre zu verändern in: ‚Interaktive multimedial und multimodale Lernangebote eröffnen den Lernenden eine Vielfalt von Aktivitäten. Dies erweitert das Spektrum ihrer Lernstrategien und Lernerfahrungen.‘<sup>30</sup>

Diese Forderung macht auch Sinn, da Erkenntnisse über das Lernen mit Multimedia in der Regel nur sehr zurückhaltend übernommen und verallgemeinert werden sollten. In der Regel sind sie entlang spezieller Beispiele, wie etwa der Entstehung eines Gewitters, der Funktionsweise einer Luftpumpe oder der Interpretation von Wetterkarten gewonnen worden. In wie weit sie sich auf andere Bereiche und anders gelagerte Problemgebiete, wie z. B. die animierte Darstellungen der Teilchenebene, übertragen lassen, ist sicherlich erst einmal zu hinterfragen. So ist etwa Zusammenhang des Lernens mit Multimedia zu der gerade in den Naturwissenschaften so wichtigen Modellbildung ebenfalls ein Bereich, für den im deutschen Sprachraum bisher relativ wenige Untersuchungen vorliegen.<sup>31</sup> Vereinzelt Studien aus anderen Ländern wie beispielsweise von WILLIAMSON & ABRAHAM (1995), BARNEA & DORI (1999) oder WU ET. AL (2001) weisen allerdings ein verbessertes Modellkonzept nach der Verwendung von Modellierungs- und Visualisierungssoftware bei Highschool- und College Studierenden nach.<sup>32</sup>

So weiß man über das Lernen mit den Neuen Medien im Chemieunterricht, zumal vor dem Hintergrund der spezifischen Situation in Deutschland, aus Sicht einer empirischen Forschung noch verhältnismäßig wenig. Es liegen lediglich einzelne isolierte Studien vor (vgl. Abschnitt 4), die bisher nur begrenzt verallgemeinerbare Erkenntnisse für eine möglichst sinnvolle Strukturierung derartiger Medien in der Zukunft anbieten. So wurde eine Diskussion in der Vergangenheit auch überwiegend ausgehend von einer Anwendung allgemeindidaktischer und lerntheoretischer Überlegungen, individueller Praxiserfahrung und meinungsbasierter Diskussionsbeiträge geführt. In diesen Beiträgen wurde immer wieder ein positives Bild gezeichnet und durch isolierte Erfahrungen gestützt. Es ist zu hoffen, dass dies zukünftig durch eine breitere Absicherung untermauert wird.

Bezüglich einer solchen Absicherung zeigen allerdings die oben dargelegten Erkenntnisse der empirischen Forschung eines deutlich auf. Eine sinnvolle Strukturierung multimedialer Lernarrangements, die wirklich ein effektiveres und nachhaltigeres Lernen erzielt, kann nur im Wechselspiel mit der Praxis stattfinden. Die mit dem Blick auf den Lernenden tragfähigen Kompromisse zwischen Instruktion und Offenheit, Wissenspräsentation und Problemorientierung, Kleinschrittigkeit und Vollständigkeit scheinen nur auffindbar, wenn man derartige Medien in Entwicklungszyklen aus Konzipierung, Erprobung und Evaluation strukturiert. Es ist zu hoffen, dass sich die Strukturierung dann stärker an Fragen der Didaktik und Lernpsychologie und damit an den Lernenden orientiert, als wie bisher häufig üblich an den Potenzialen der Technik.<sup>33</sup>

Einen breiten Überblick über verschiedene Aspekte des Lernens mit Multimedia geben KLIMSAS & ISSING oder KAMMERL<sup>34</sup>

, eine Zusammenfassung wichtiger Aspekte u. a. SACHER oder URHAHNE ET AL.<sup>35</sup> Aktuelle Aspekte der Diskussion über relevante Forschung in diesem Bereich sind dargestellt in SCHNOTZ & LOWE.<sup>36</sup>

### 3. Einsatzfelder der neuen Medien im Chemieunterricht

#### 3.1 Computer basierte Lernprogramme und multimediale Lernumgebungen

Unter Computer basierten multimedialen Lernumgebungen werden hier Lernarrangements verstanden, die speziell für den Lernprozess strukturiert sind und in denen die multimediale Präsentation von Informationen mit dem Computer eine zentrale Stellung für das Lernen einnimmt. Hierbei wird der Begriff Lernumgebung sowohl für das multimediale Informationsangebot als auch die Lernumgebung, ggf. einschließlich begleitender Medien und Aktivitäten, benutzt. Die Darbietung der fachlichen Informationen kann - etwa auf der Basis von HTML - ohne eigenständige lauffähige Programmplattform geschehen, aber auch als Lernprogramm. Unter einem Lernprogramm wird an dieser Stelle Computersoftware verstanden, die speziell für das fachbezogene Lernen programmiert wurde und eine eigenständige lauffähige Programmstruktur besitzt.

Bereits kurz nach der Einführung der ersten Personal-Computer in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts gab es Computersoftware zum Lernen von Chemie. Dies waren zunächst Programme, die mit einfachen Frage-Antwort-Schemata kognitiv chemisches Wissen abfragten. Daneben gab es immer wieder auch einfache Darstellungen von fachlicher Information, z.B. dem Periodensystem, und verschiedene meist noch sehr linear aufgebaute Spiele. Mit Fortgang der Computertechnik und insbesondere der Verbreitung von grafischen Benutzeroberflächen und Hypertext- bzw. Hypermediasystemen hat sich die Situation grundlegend verändert.<sup>37</sup> Heute geht es in den meisten Fällen weniger um das Abfragen von Informationen als um deren vernetzte und multimediale Präsentation. Die Abfrage und Kontrolle wird nur noch selten im Programm selber vorgenommen, was aus lerntheoretischer Sicht als Mangel anzusehen ist. Eine Nutzung von ausschließlich geschlossenen Fragen, z.B. Multiple-Choice-Fragen, erscheint aus heutiger Sicht didaktisch nur noch bedingt sinnvoll, allerdings sind die Möglichkeiten der Technik, frei formulierte Antworten zu interpretieren und zu analysieren (adaptive Tutorien bzw. tutorielle Systeme), noch nicht hinreichend entwickelt.<sup>38</sup>

Beispiele für derartige Software gibt es derzeit schon für eine Reihe von Unterrichtsthemen. Diese stammen sowohl aus den fachdidaktischen Arbeitsgruppen der Universitäten (vgl. Abschnitt 4), von Lehrerinnen und Lehrern, den Schulbuchverlagen oder der Industrie. Der Wert für ein effektives Lernen und die unterrichtliche Verwertbarkeit ist allerdings nur für beispielhafte Fälle untersucht worden. Die Ergebnisse sind dabei durchaus nicht einheitlich und eine generelle Einschätzung ist damit schwer zu geben.<sup>39</sup>

War es am Anfang häufig die Kritik an einem zu linearen und nur wenig verzweigten Aufbau der Programme, die ähnlich der Kritik am programmierten Unterricht eine breite und nachhaltige Nutzung im Chemieunterricht in Frage stellte, so

<sup>30</sup> Weidemann (1997)

<sup>31</sup> Saborowski (2000)

<sup>32</sup> Williamson & Abraham (1995). Barnea & Dori (1999), Wu et al. (2001)

<sup>33</sup> Klimsa (1997)

<sup>34</sup> Klimsa & Issing (1997), Kammerl (2000)

<sup>35</sup> Sacher (1998), Urhahne et al. (2000)

<sup>36</sup> Schnotz & Lowe (2003a)

<sup>37</sup> Tergan (1997)

<sup>38</sup> Zur Rolle der Lernkontrollen beim Lernen mit dem Computer vgl. Pietzner & Herges (2003)

<sup>39</sup> Sumfleth & Kummer (2001)

scheint bei neueren Programmen zumindest teilweise das Gegenteil, also eine zu große Offenheit, Informationsfülle und multimediale Überfrachtung vorzuliegen.

Aus der Lernpsychologie und der Mediendidaktik weiß man, dass Computer basierte Lernprogramme und multimediale Lernumgebungen ein gut dosiertes Maß an Instruktion und Lenkung auf der einen, Offenheit und Komplexität auf der anderen Seite besitzen sollten (vgl. Abschnitt 2). So untersuchte SCHANZE bezogen auf chemische Inhalte bei Studierenden aus dem ersten Semester des Hochschulstudiums den Einfluss vorgegebener Lehrziele zum Thema Säuren und Basen auf das Lernen in eher linear aufgebauten (lehrbuchartigen) und vernetzten Hypertexten.<sup>40</sup> Es zeigte sich generell ein Lernvorteil zugunsten der vernetzten Textversion. Außerdem wurde mit der konkreten Zielvorgabe unabhängig von der Textgestaltung tendenziell besser gelernt. Zu eng geführte Programme sind in der Regel wenig motivierend und kaum differenzierend. Zu offene Lernarrangements führen zu Desorientierung und kognitiver Überlastung.<sup>41</sup> Ähnlich verhält es sich bei der Nutzung von interaktiven und animierten Komponenten. Diese machen die Software zwar auf den ersten Blick attraktiv und in ihrer Attraktivität konkurrenzfähig zu handelsüblicher Spielesoftware; nicht selten aber überlagert eine zu intensive Einbindung dieser Elemente das Lernen der eigentlichen Inhalte und beeinflusst diese negativ.

Die richtigen Kompromisse zwischen Instruktion und Offenheit, zwischen nüchtern-sachlicher Information und attraktiver Darstellung sind zentral für eine echte Bereicherung des Chemieunterrichts durch Computer basierte Lernprogramme und multimediale Lernumgebungen. Sie sind primär vom Entwicklungsstand und den Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler abhängig. Das heißt aber auch, dass Lernsoftware für den Einsatz im Chemieunterricht spezifisch auf die hier vorhandenen Lernenden und die dort ablaufenden Prozesse zugeschnitten sein muss. So wird aus der Praxis immer wieder beschrieben, dass Informationsangebote und Software, die nicht spezifisch für das schulische Lernen strukturiert wurden, im Unterricht nur schwer eingesetzt werden können, da die dargebotenen Informationen weder in ihrer Auswahl noch in den benutzten Erklärungsmustern zu den in den Schulen benutzten Curricula passen.

Insgesamt muss man konstatieren, dass zurzeit nur sehr wenige Angebote an Computer basierten Lernprogrammen und multimedialen Lernumgebungen vorhanden sind, die nachgewiesen oder doch zumindest plausibel auf die Erfordernisse des schulischen Lernens von Chemie angepasst sind. Diese stammen ausnahmslos aus den chemiedidaktischen Arbeitsgruppen der Universitäten oder von einigen wenigen engagierten Lehrkräften. Kommerzielle oder von der Industrie angebotene Software ist bisher leider fast immer noch ein für das schulische Lernen sehr unspezifischer Kompromiss. Hier wird häufig versucht, möglichst viele Inhalte zu verarbeiten, die auf der Basis fertig entwickelter fachlicher Konzepte erklärt werden bzw. möglichst viele Zielgruppen zu erreichen, deren Interessen allerdings kaum deckungsgleich sind. Dies kommt der schrittweisen Entwicklung der fachlichen Konzepte im Chemieunterricht nicht nach. Oder es werden Programme für spezifische Inhalte angeboten, die dann aber für das schulische

Lernen zu detailliert sind und eine zu große fachliche Tiefe aufweisen. Diese Einschätzung gilt zum Teil auch für die wenigen vorhandenen Spiele mit Adventure-Charakter, z. B. Chemicus.<sup>42</sup> Hier ist der fachliche Gehalt zwar in der Regel nicht sehr hoch. Die benutzten Erklärungsmuster entsprechen aber häufig nicht den in der Schule auf der entsprechenden Altersstufe benutzten Konzepten. Neue fachliche Inhalte werden mit diesen Programmen in der Regel nicht gelernt.

Daneben muss festgestellt werden, dass für die meisten Software-Angebote kaum konzeptionelle Vorschläge vorhanden sind, wie diese im Chemieunterricht eingesetzt werden können. Erfahrungsberichte oder gar Daten aus der Unterrichtsevaluation sind ebenfalls nur selten dokumentiert. So besteht insgesamt ein großer Bedarf, aus der Fachdidaktik heraus folgende Aspekte bzgl. von Lernprogrammen oder multimedialen Lernumgebungen für den Chemieunterricht konzeptionell zu erschließen und zu untersuchen:

- Verstärkt sollten Computer basierte Lehrprogramme und multimedialen Lernumgebungen entwickelt werden, die spezifisch dafür strukturiert sind, bestimmte Schritte des schulischen Lernens von Chemie zu unterstützen. Bei der Gestaltung sollte man sich vorrangig am Lernprozess der Schülerinnen und Schülern und gängigerweise angewandten Curricula orientieren. Eine Orientierung an den wachsenden Möglichkeiten der Technologie kann hier nicht die Leitlinie sein. Dennoch ist es gerade in diesem Bereich auch notwendig, ein für die Lernenden hinsichtlich der Gestaltung und der Nutzung der technischen Möglichkeiten attraktives Angebot zu haben. Dieses ist mit den beschränkten Möglichkeiten von Unterrichtspraktikern und zum Teil auch der fachdidaktischen Arbeitsgruppen an den Universitäten oftmals nur schwer zu realisieren. Diese Kompetenz liegt bei professionellen Softwareentwicklern. Eine gleichermaßen qualifizierte und attraktive Lösung lässt sich daher von dem Zusammenspiel von Lehrmittelverlagen, Unterrichtspraxis und begleitender chemiedidaktischer Forschung erwarten.
- Die Erstellung der Medien sollte unbedingt begleitet werden durch eine Beschreibung von erprobten und evaluierten Konzeptionen, wie das entsprechende Medium im Unterricht eingesetzt werden kann. Dies sollte auch Fragen der Sozialform, der Unterrichtsmethodik und ggf. begleitender Aufgaben, Erfolgskontrollen, Arbeitsaufträge oder Medien einbeziehen.
- Aus Sicht der Chemiedidaktik als forschungsbasierte wissenschaftliche Disziplin muss auch die Untersuchung der benutzten Medien hinsichtlich ihrer lernunterstützenden Wirkung stattfinden. Neben der Evaluation von einzelnen Medien sollte dies mit dem Ziel allgemeiner Einschätzungen geschehen, z.B. mit welchem Umfang, welcher Komplexität oder in welchem unterrichtsmethodischen Zusammenhang, ein solches Medium sinnvoll strukturiert und eingesetzt werden kann. Durch die unterschiedlichen Curricula in verschiedenen Schulformen oder Bundesländern kann eine solche Arbeit allerdings nur den Charakter von Fallbeispielen annehmen. Auch wird eine solche Untersuchung mit Blick auf die Komplexität des Praxisfelds nicht außerhalb authentischer Unterrichtspraxis und damit nur im Wechselspiel mit der Praxis möglich sein.

<sup>40</sup> Schanze (2002), auch Urhahne & Schanze (2003), Sumfleth & Kummer (2001)

<sup>41</sup> Hesse (1997)

<sup>42</sup> Internetlinks zur benannten Software finden sich im Anhang.

Diskussionsbeiträge hierzu finden sich bei DEMUTH & NICK oder EILKS ET AL.<sup>43</sup> Aktuelle Unterrichtsbeispiele sind in der deutschsprachigen Chemedidaktischen Literatur aus verschiedenen Arbeitsgruppen dokumentiert.<sup>44</sup> Diese Projekte kommen zumindest teilweise auch den Forderungen nach, begleitende Materialien und Einsatzszenarios anzubieten und empirische Daten über den Einsatz und Lernerfolg zu ermitteln.

### 3.2 Computer und experimenteller Chemieunterricht

Im experimentellen Chemieunterricht kann der Computer verschiedene Funktionen erfüllen. Beinahe schon klassisch sind die automatisierte Messwerterfassung und die Auswertung und Darstellung quantitativer Ergebnisse. Daneben gibt es auch Beispiele für die Steuerung von Experimenten durch den Computer, z.B. bei automatisierten Titrationen, die aber in der Schule eher selten sind und daher an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden, oder die Simulation von Experimenten als Training für deren reale Durchführung.

Die Computer unterstützte Messwerterfassung und Auswertung ist eine klassische Anwendung des Computers im naturwissenschaftlichen Unterricht. Allerdings konnte diese Technik im naturwissenschaftlichen Unterricht noch in den 70er und 80er Jahren des 20-Jahrhunderts häufig nur von eingeweihten Spezialisten mit guten Hardwarekenntnissen durchgeführt werden. Seit dieser Zeit hat sich vieles getan: die Hardware hat sich aus dem Frühstadium selbstgebauter „Tüftelrechner“ zu handhabbaren multimedialen Geräten weiterentwickelt und schließlich sind auch die Kenntnisse der Anwender gewachsen. So gibt es heute leicht zu bedienende, Computer taugliche Universalmessgeräte (z.B. Multimeter mit Schnittstelle), spezielle Messwerterfassungssysteme des Lehrmittelhandels, die häufig auf eigenen Normen beruhen, und für den Laborbetrieb entwickelte Analysegeräte mit Computerschnittstelle, wie z.B. Gaschromatografen oder Fotometer.

Die technischen Stärken Computer unterstützter Messwerterfassungen liegen in den Bereichen:

- Langzeitmessungen
- Reihenuntersuchungen
- Untersuchungen mit hohem Datenaufkommen
- Durchführung schneller, manuell nicht zu bewältigender Messraten
- Grafische Kontrolle der Messwerte während der Messung
- Speichern, Archivieren und Konservieren von Daten
- Austausch und Verfügbarkeit digital vorliegender Messdaten

Gekoppelt an die Durchführung der Messwerterfassung ist in der Regel auch die automatisierte Aufbereitung und Auswertung der Messergebnisse. Sofern das Messwertaufkommen nicht zu hoch ist, können erfasste Daten jedoch auch als Protokoll ausgedruckt und manuell ausgewertet werden. Dies mag insbesondere dann sinnvoll sein, wenn im Unterricht zunächst das grundsätzliche Auswertungsverfahren erlernt werden soll, um in der Folge dann die Computer gestützte Auswertung verstehen und überprüfen zu können. Die Vorteile dieser Computer unterstützten Auswertung liegen dann in folgenden Bereichen:

- Aufwändige zeitintensive manuelle Rechnungen werden vom Computer übernommen, sich wiederholende Auswertungsroutinen können zeitsparend automatisiert werden. Dies ermöglicht die Konzentration auf das Wesentliche.
- Berechnungskorrekturen sind nachträglich leicht und schnell durchzuführen.
- Durch die Möglichkeiten der grafischen Ergebnisdarstellung können auch komplexe Darstellungen schnell und in hoher grafischer Qualität erstellt werden.
- Durch die Möglichkeit, statistische Auswertungsfunktionen oder eine Simulation von „Was-wäre-wenn-Ereignissen“ auf die Messdaten anzuwenden, wird das Spektrum ableitbarer Ergebnisaussagen vergrößert.

Dabei muss zwischen zwei Formen unterschieden werden. Die erste basiert auf Auswertungssoftware, die in den meisten Softwarepakete neben der Erfassungssoftware ebenfalls enthalten ist. Die Qualität der Auswertungssoftware variiert zwar, meist sind jedoch Grundroutinen zur grafischen Darstellung der Daten und Auswertung von Rohdaten mit vorgegebenen Optionen enthalten. Die Vorteile solcher Systeme bestehen in der Automation wiederkehrender Berechnungs- und Darstellungsformen. Damit ist oft eine Zeitersparnis verbunden. Nachteile einer solchen Auswertung können darin bestehen, dass es sich um abgeschlossene Systeme handelt, in denen der Variabilität innerhalb der Auswertung Grenzen gesetzt sind. Unvorhergesehenen Fällen lässt sich daher nicht immer angemessen begegnen. Auch kann die Abgeschlossenheit des Systems zu Kompatibilitätsproblemen mit anderer Software führen, da häufig eigene, interne Datenformate verwendet werden. Bezogen auf das Lernen besteht der Hauptnachteil darin, dass Auswertungswege bereits vorgefertigt und festgelegt sind, hinter denen sich eine unzugängliche „Blackbox“ verbergen kann. Damit wird nicht nur die Transparenz der Auswertung herabgesetzt bzw. unmöglich gemacht, sondern auch die Schulung der sinnvollen Interpretation von Ergebnisgrafiken erschwert. Vor diesem Hintergrund ist bei der unterrichtlichen Nutzung vorgefertigter Auswertungsroutinen darauf zu achten, dass den Lernenden die programminternen Auswertungswege bekannt sind und so Sinn und Inhalt des spezifischen Vorgehens transparent bleiben.

Der andere Weg basiert auf Tabellenkalkulationsprogrammen, die mittlerweile zur Standardsoftware gehören. Häufig werden solche Programme auch in der "Informationstechnischen Grundbildung" eingesetzt und der Umgang mit ihnen erlernt. Für die Datenbearbeitung stehen alle denkbaren Berechnungs- und Darstellungsoptionen zur Verfügung. Der wesentliche Unterschied zur Auswertung über automatisierte Routinen besteht darin, dass alle für die Auswertung notwendigen Schritte vom Nutzer selbst angegeben werden müssen. Es sind auf der Grundlage eigener Entscheidungen die erforderlichen Rechenoperationen durchzuführen und die Ergebnisse grafisch darzustellen. Die Auswertung über Tabellenkalkulationsprogramme ermöglicht daher ein Höchstmaß an Variabilität, es handelt sich um ein offenes und transparentes System. Ist die Nutzung des Programms klar und wurde ein Datensatz komplett ausgewertet, können wiederkehrende Berechnungen problemlos durch Datenimport durchgeführt werden.

Neben dieser eher technischen Beschreibung der Möglichkeiten des Computer unterstützten Experimentierens muss aber auch der didaktische Nutzen kritisch hinterfragt werden. Die eigentliche Begründung für den Einsatz des Computers im Um-

<sup>43</sup> Demuth & Nick (1999), Eilks et al. (2001)

<sup>44</sup> z. B. Gröger et al. (2001), Schmitz & Tausch (2001), Eilks & Möllering (2001), Stachelscheid et al. (2001), Möllencamp et al. (2002), Kummer & Sumfleth (2002), Wagner (2003)



feld des Experiments kann nur teilweise durch technisch-organisatorische Vorteile geliefert werden und ist primär mit den Zielen eines zeitgemäßen Chemieunterrichts zu legitimieren. In einer Zeit, in der sich moderne Forschung immer mehr Computer gestützter weitgehend automatisierter Systeme bedient, sollte auch der Chemieunterricht – zumindest der Sekundarstufe II - aus wissenschaftspropädeutischer Sicht einen exemplarischen Einblick in diese Methoden anbieten. Hierbei geht es auch um die Schulung der Kritikfähigkeit, etwa hinsichtlich der scheinbaren Genauigkeit Computer unterstützter Messwerterfassung und deren scheinbarer Objektivität.

Der Unterrichtsmethodik kommt hierbei eine zentrale Rolle zu. Die Lernenden sollten schrittweise an das Verfahren heran geführt werden, z.B. dadurch, dass sie zunächst ähnliche Experimente manuell durchführen und auswerten. Die Lernenden müssen selbst erfahren, welche Probleme bei der „herkömmlichen“ Durchführung quantitativer Experimente auftreten können, wie z.B. die Problematik des genauen Ablesens, des sorgsam Protokollierens etc.. Erst anschließend sollten Computer unterstützte Experimente durchgeführt werden. Nur dann lassen die gemachten Erfahrungen Vergleiche zwischen den Methoden zu. Stichprobenartige Überprüfungen einzelner mit Hilfe des Computers erhaltener Auswertungsergebnisse zwingen dazu, sich nochmals die einzelnen Schritte vor Augen zu führen und die Aussagekraft der dargestellten Ergebnisse beurteilen zu können. Insgesamt sollte nicht der Darstellung des naturwissenschaftlichen Ergebnisses die oberste Priorität eingeräumt werden, sondern dem Weg dahin.

Neben der Frage des Computer unterstützten Experimentierens wird auch die Rolle virtueller Experimente für den naturwissenschaftlichen Unterricht zunehmend diskutiert.<sup>45</sup> Hier wird im universitären Bereich ein deutliches Potenzial beschrieben, das Lernende einzelne Parameter und Komponenten von Versuchen besser begreifen, wenn vor dem realen Experiment virtuelle Simulationen des Experiments stehen, die eine Kontrolle verschiedener Parameter erlauben.<sup>46</sup> Ob dies auch für den schulischen Lernprozess gilt und entsprechende Programme dort sinnvoll einsetzbar sind, ist allerdings noch kaum untersucht. Ähnliche Arbeiten mit Modellbildungsprogrammen lassen aber ein entsprechendes Potenzial vermuten (vgl. Abschnitt 3.3).

### 3.3 Simulationen

Mit Simulationssoftware kann der Computer auf der Basis eines Modells das reale Verhalten von Systemen berechnen und vorhersagen. Bei der Anwendung von Simulationssoftware auf der Basis bereits vorhandener Modelle ist die Berechnung selber in der Regel nicht weiter zugänglich; die Simulationssoftware funktioniert wie eine Blackbox. Daneben gibt es aber auch Simulationssoftware, die es erlaubt, selbst erstellte Modelle von Abläufen einzugeben und damit Untersuchungen durchzuführen. Häufig geben Simulationen neben den berechneten Datenwerten diese ergänzend auch in Form von Abläufen oder Diagrammen aus.

Durch Simulationssoftware werden reale Systeme zugänglich, obwohl sie nicht physikalisch vorhanden sind. Auf Grund der heutigen Technologie liegen die modellierten Ergebnisse über diese Systeme für viele Einsatzgebiete oftmals schneller vor als durch reale Messungen oder Experimente. Darin kann ein enormer Vorteil für die Lehre liegen, wenn z. B. mit einem

virtuellen Gaschromatografen experimentiert werden kann, bei dem in kürzerer Zeit mehr Messungen durchgeführt werden können. Die Realerfahrung vollständig ersetzen kann ein solches „Trockentraining“ natürlich nicht. Weiterhin werden auch Systeme simuliert, die sich ansonsten kaum sichtbar machen lassen, wie z. B. Betrachtungen der Teilchenebene.

Simulationsprogramme sollten so beschaffen sein, dass sich verschiedene Parameter einstellen lassen und somit die Betrachtung unterschiedlicher Szenarien ermöglicht wird. Durch die Veränderung von Eingangsgrößen kann von einer Interaktion des Benutzers mit dem Programm gesprochen werden. Ist die Möglichkeit des Einstellens von Parametern nicht gegeben, so lässt sich besser von einer Animation sprechen, welche lediglich den interaktiven Charakter der Bedienung eines Videorecorders aufweist.

Die Ergebnisse von Simulationsprozessen werden für unterrichtliche Zwecke in der Regel in bildlicher Form veranschaulicht. Dementsprechend umfasst das Lernen mit Simulationen sowohl Merkmale des Lernens mit (bewegten) Bildern, wie auch des Lernens mit Experimenten. Oftmals ist es aber nicht einfach mit Simulationen zu bestimmten Ergebnissen zu kommen. Eine entsprechende Einbettung und dosierte Hinführung ist damit in vielen Fällen erforderlich. Dabei zeigen Erfahrungen, dass Lernende ohne Vorwissen häufig dazu neigen, auf Nebensächlichkeiten zu achten und selten in der Lage sind, eigenständig geeignete Hypothesen aufzustellen und diese durch Experimentieren mit der Simulation zu überprüfen. Daneben stellt eine entsprechende Einbindung auch die Basis dafür da, dass das häufig als defizitär beschriebene Verständnis der Lernenden im Umgang mit Modellen gefördert werden kann. Gerade hier besitzen Simulationsprogramme ein erhebliches Potenzial, muss doch bei ihrer Nutzung immer wieder über die Art der Simulation und damit die zugrunde liegende Modellierung, den Zusammenhang von Modell und Realität und die ggf. zu revidierende Grundlage - das Modell - reflektiert werden.

Simulationsprogramme können sich auf sehr unterschiedliche Bereiche beziehen.

- So lassen sich beispielsweise Experimente, wie eine Titration oder Destillation am Computer nachstellen. Die amerikanische Software *Virtual Laboratory* simuliert ein Labor, in dem mithilfe zahlreicher wässriger Lösungen Titrationen in großer Vielfalt durchgeführt werden können.<sup>47</sup>
- Auch technische Geräte und Anlagen können simuliert werden. Hierzu zählen sowohl die Simulation einer technischen Syntheseanlage, wie auch die von analytischen Geräten, wie z. B. Gaschromatograf oder Fotometer.
- Zu einem weiteren Gebiet lassen sich auch diejenigen Simulationen zusammenfassen, welche den submikroskopischen Bereich simulieren und visualisieren, z.B. das Verhalten den Gase.
- Schließlich gibt es spezielle Simulationsprogramme (wie *Dynasis*, *Stella* oder *Powersim*<sup>48</sup>) mit deren Hilfe eigene Modelle eingegeben und auf mathematischer Basis untersucht werden können.<sup>49</sup> Hierbei tritt der Blackbox-Charakter in den Hintergrund und die Entwicklung eines tragfähigen Modells ist der zentrale Schritt. Die Visualisierung der Ergebnisse besteht dann zumeist in der Darstel-

<sup>47</sup> Internetlinks zur benannten Software finden sich im Anhang.

<sup>48</sup> Internetlinks zur benannten Software finden sich im Anhang.

<sup>49</sup> Boll (1997), Klein & Portscheller (1997), Schecker (1998), Spitulnik et al. (1998)

<sup>45</sup> z. B. Papadopoulos & Limniou (2003)

<sup>46</sup> Garratt (1997)

lung von Grafen. Spezifisch für das Lernen wird dies u. a. ergänzt durch die Lernumgebung *Co-Lab*, in der kollaborativ und begleitet durch zahlreiche Materialien dynamische Systeme wie der Treibhauseffekt oder ein Flusspegel modelliert werden können.<sup>50</sup>

Das didaktische Potenzial von - in Unterrichtseinheiten eingebundenen - Simulationen ist äußerst viel versprechend, wenn auch noch wenig empirisch untersucht.<sup>51</sup> Simulationen stellen eine echte Bereicherung der unterrichtsmethodischen Möglichkeiten dar, die in dieser Form durch kein anderes Medium zu realisieren ist. Dabei kann es sich anbieten, den Lernenden das Arbeiten mit diesen Programmen auch individuell, etwa zu Hause, zu ermöglichen. Die Arbeitsform kann von aufgebend/entdeckend über zusammenwirkend bis darbietend/aufnehmend sehr variabel gewählt werden.

Die eigene technische Realisierung von Simulationen wird wohl zumeist über die Programmierung in Sprachen wie C, C++, Java, Basic, Delphi etc. geschehen. Sie setzt damit bis auf weiteres fundierte Programmierkenntnisse voraus, die dem Praktiker üblicherweise nicht zur Verfügung stehen. Einfacher sind Realisierungen mittels *Macromedia-Flash* (bzw. ähnlichen Autorensystemen).<sup>52</sup> Hier handelt es sich um eine Mischform zwischen Animationen und Simulationen. Bei diesen wird die Auswahl an Szenarien dadurch ermöglicht, dass mehrere Animationen vorbereitet werden. Die Einstellung eines „Parameters“ besteht dann darin, aus einer vorgegebenen Auswahl an Animationen eine aufzurufen. Dies setzt deutlich weniger Software-Kenntnisse voraus und kann teilweise auch von den Lernenden selber realisiert werden,

Beispiele für den begründeten Einbezug von Simulationen in den Chemieunterricht finden sich u. a. bei SUMFLETH & HOLLSTEIN oder KRILLA & RALLE. Beispiele für den Einbezug der Erstellung eigener Simulationen aus dem Physikunterricht finden sich bei BOLL oder SCHECKER.<sup>53</sup>

### 3.4 Molecular Modelling

*Molecular Modelling* ist ein von simplen Moleküldarstellungen nach einem beliebigen Modell in 3D (Draht-, Stäbchen-, Kugel-Stäbchen-, Kalotten-, Potenzial-, Elektronendichtemodell) bis hin zu Maßnahmen des Drug Design sehr breit verwendeter Begriff. An dieser Stelle werden dabei pure Moleküldarstellungen auf der einen Seite (vgl. Abschnitt 3.5) und Synthesemaßnahmen auf der anderen Seite (nicht relevant für die Schule) von der Betrachtung ausgeklammert. Was übrig bleibt ist die Modellierung von Molekülen nach Datensätzen aus eingeführten Rechenverfahren oder Messgeräten, um temporäre Strukturänderungen zu simulieren oder permanente zu erkennen bzw. zu planen.

Die unterschiedlichen Fachgebiete der Chemie setzen verschiedene Schwerpunkte beim Einsatz des *Molecular Modelling*. In der Physikalischen und Theoretischen Chemie sind die untersuchten Moleküle in der Regel klein, die Rechenmethoden sehr aufwändig und genau; die Konstitution ist meistens genau bekannt, Konformationen oder Wechselwirkungen werden unter bestimmten Bedingungen untersucht. In der Organischen Chemie und Biochemie werden die Moleküle fast beliebig groß, wobei oft Abstriche in der Genauigkeit hingenommen

werden (müssen); oft wird die genaue Konstitution erst gesucht. Die theoretischen Arbeiten dazu fallen in den Bereich des *Molecular Modelling*, kommt als Ergebnis die chemische Synthese dazu, bezeichnet man es eher als *Drug Design*. *Drug Design* und *Molecular Modelling* überlappen sich in fast allen Bereichen und sind nicht voneinander zu trennen.<sup>54</sup> Beide Tätigkeiten des modernen Chemikers besitzen aus den folgenden Gründen zurzeit keine besondere didaktische Relevanz für den schulischen Chemieunterricht:

- Die angestrebte Exaktheit der Darstellung (Bindungswinkel, Bindungslängen, Elektronendichten, Ausdehnung...) trifft sich nicht mit dem in der Schulchemie vorhandenem und angestrebten Grundwissen und -fertigkeiten und den Zielen des schulischen Chemieunterrichts.
- Die in zurzeit vorliegender Freeware (z.B. GROMACS) bzw. bezahlbaren Softwareprodukten (SPARTAN)<sup>55</sup> implementierten Berechnungsmethoden beziehen sich auf isolierte Moleküle in der Gasphase. Eine gegenseitige Beeinflussung oder der Einfluss von Lösemitteln (Schulchemie: Wasser) wird vernachlässigt. Das schränkt eine einfache Übertragbarkeit modellierter Ergebnisse auf reale Experimentsituationen ein, was aber für den schulischen Chemieunterricht bei Auffinden einer geeigneten Anwendung sicher kaum ein ernsthaft zu diskutierendes Problem sein kann. Allein die Diskussion um das Problem übersteigt das im schulischen Chemieunterricht anzustrebende Verständnis deutlich.
- Es gibt zurzeit kaum Fragestellung im Chemieunterricht, bei der räumliche Betrachtungen an großen Molekülen Vorteile gegenüber etablierten Darstellungsformen hätten. Eine der wenigen Ausnahmen ist die Betrachtung räumlicher Darstellungen von DNA oder Proteinen, wie Hämoglobin, um das Verständnis für enzymatische Vorgänge durch die Visualisierung aktiver Zentren zu fördern. Dieses ist in der Regel aber eher Bestandteil des Biologieunterrichts. Die gegenseitige Beeinflussung von Molekülen in aggregierten Systemen, die ebenfalls intensiv untersucht wird, wird in der Schule nur bis zu einem Punkt zu diskutieren sein, bis zu dem die Berechnungen dieser Art keine nennenswerten Vorteile liefern.

Im Gegensatz hierzu besitzen aber räumliche Darstellungen auf der Basis von bereits vorliegenden Berechnungen aus dem *Molecular Modelling* bzw. die animierte räumliche Darstellung von Molekülen für mechanistische Betrachtungen ein beachtenswertes didaktisches Potenzial. Anwendungsbereiche sind z.B. die Vorstellung vom räumlichen Aufbau der Moleküle, Feststoff- und Festkörperstrukturen, Isomerie und Chiralität, aber auch die Visualisierung von Reaktionsmechanismen des Protonenaustauschs (Säure-Base-Reaktionen), Elektronenaustauschs (Redox-Reaktionen) oder die Umgruppierung von Atomgruppen in der organischen Chemie. Auf Grund von expliziten Elektronendichtemodellen, die man sich zum Beispiel mithilfe des Plugins *CHIME* anzeigen lassen kann, lässt sich oftmals besser verstehen und visualisieren, warum z.B. ein Nucleophil an einer ganz bestimmten Stelle angreift, oder es lässt sich vorhersagen, dass auf Grund geringer Elektronendichteunterschiede zwischen zwei potentiellen Reaktionszentren mehrere Produkte zu erwarten sind. Die didaktischen Kon-

<sup>50</sup> Ehmke & Wünsch (2003)

<sup>51</sup> zur Diskussion vgl. Robinson (2000)

<sup>52</sup> Internetlinks zur benannten Software finden sich im Anhang.

<sup>53</sup> Sumfleth & Hollstein (1999), Krilla & Ralle (2001), Boll (1997), Schecker (1998)

<sup>54</sup> Barnickel (1995)

<sup>55</sup> Internetlinks zur benannten Software finden sich im Anhang.

sequenzen sind bisher allerdings weder auf der Ebene der universitären Ausbildung noch für die Schule tiefer gehend empirisch untersucht.

Eine Diskussion des Potenzials der Moleküldarstellung mit dem Computer in Bezug auf das Modelldenken geben u. a. REINERS & SABOROWSKI.<sup>56</sup>

### 3.5 Von Office-Programmen bis zu Struktureditoren

In diesem Abschnitt wird die Nutzung von Programmen diskutiert, die zur Arbeitserleichterung bei der Darstellung und Aufbereitung von textlichen und grafischen Informationen mit dem Computer entwickelt wurden. Diese sind nur zum Teil chemie-spezifisch. Hier finden sich Programme zur Textverarbeitung, Präsentation oder grafischen Dargestaltung, wie sie sich in nahezu jedem Office-Paket finden, aber auch Programme, die spezifisch dafür erstellt wurden, chemische Versuchsaufbauten oder submikroskopische Strukturen darzustellen.

Die im Folgenden besprochenen Programme haben gemeinsam, dass sie in erster Linie zur Anwendung als Werkzeug konzipiert worden sind, also um bestimmte Routinen einfacher erledigen zu können. Die Rede ist von

- Texteditoren (wie *OpenOffice Writer*, *MS Word*, *StarWriter*, usw.),
- Tabellenkalkulationen (wie *OpenOffice Calc*, *MS Excel*, *StarCalc*, usw.),
- Präsentationsprogrammen (wie *OpenOffice Impress*, *MS PowerPoint*, *StarImpress*, usw.)
- Mapping-Programme (wie *MindManager* oder *Inspiration*)
- Struktureditoren (wie *ChemWindow*, *GlassyChemistry*, *ChemSketch*, *Isis-Draw*, *C-Design*, *ChemOffice*)
- Zeichenprogrammen allgemeiner Art (wie *CorelDraw*), zur Erstellung von Versuchsaufbauten (wie *ChemWindow*, *GlassyChemistry*, *ChemSketch*, *C-Design*) bzw. Bildbearbeitungssoftware (wie *CorelPhoto-Paint*)<sup>57</sup>

Beim Einsatz im Unterricht kann es aber dazu kommen, dass der Werkzeug-Gedanke zweitrangig wird und stattdessen der Lern-Gedanke in den Vordergrund tritt. Dabei sollte unterschieden werden zwischen dem Erlernen der Bedienung des Programms und dem Erlernen von Inhalten, welche mit Hilfe

des Programms bearbeitet werden (Abb. 3.5.1). Letzteres kann beispielsweise der Fall sein, wenn mit Hilfe einer Tabellenkalkulation das Wesen einer Formel näher untersucht werden soll. Es kann aber auch der Fall sein bei chemischen Zeichenprogrammen, wenn es nicht darum geht, ein Textdokument mit einer Molekülformel zu versehen, sondern die Möglichkeiten des Programms genutzt werden, um z. B. die Struktur näher zu untersuchen. Hierzu bieten Struktureditoren oftmals die Möglichkeit der dreidimensionalen Ansicht z. B. als Kugel-Stab- oder Kalotten-Modell von gezeichneten Molekülstrukturen oder auch die Möglichkeit einer Kontrolle, ob unzulässigerweise zu viele oder zu wenige Bindungen von einem Atom ausgehen. Für die Darstellung lassen auch spezielle Darstellungsprogramme (z. B. *Chime*, *RasMol*<sup>58</sup>) benutzen.

Steht hingegen das Erlernen der Bedienung des Programms im Vordergrund, so wird zu der heute wohl als unverzichtbar anzusehenden informationstechnischen Grundbildung der Lernenden beigetragen. Dabei sollte nicht vergessen werden, dass der Einsatz als Werkzeug durchaus auch für das fachliche Lernen Gewinn bringend sein kann. Thesenpapiere o. ä. lassen sich attraktiver gestalten und Folien für eine Präsentation mit Hilfe eines Präsentationsprogramms nicht nur erstellen, sondern auch besser präsentieren, um eine Kommunikation darüber besser zu ermöglichen. Dabei können weitere Programme als Werkzeug helfen, um Mapping-Techniken effektiver zu gestalten, wie das *Mind-* oder *Concept-Mapping*. Weitere Vorteile der elektronischen Form sind mannigfaltig: Sie liegen veränderbar vor, sind leichter verteilbar und sparen Kosten. Auch lässt sich i. A. die Motivation der Lernenden noch steigern, wenn sie ihre Arbeiten am Computer erledigen dürfen.

Aus didaktischer Sicht kann der Einsatz dieser Programme im Chemieunterricht nur begrüßt werden. Wie aufgezeigt wurde, sind die Einsatzmöglichkeiten vielfältig und je nach Lehrziel von deutlich unterschiedlicher Natur. Entsprechend unterscheiden sich auch die Umsetzungen im Unterricht: Während bei der Erstellung von Thesenpapieren oder Präsentationen mehrere Computer zugänglich sein müssen, reicht bei der Untersuchung einer Struktur mittels eines Struktureditors bereits ein einzelner Computer, wenn er als Station eines Lernzirkels dient. Entsprechend dem Lehrziel, gilt es, die geeignete

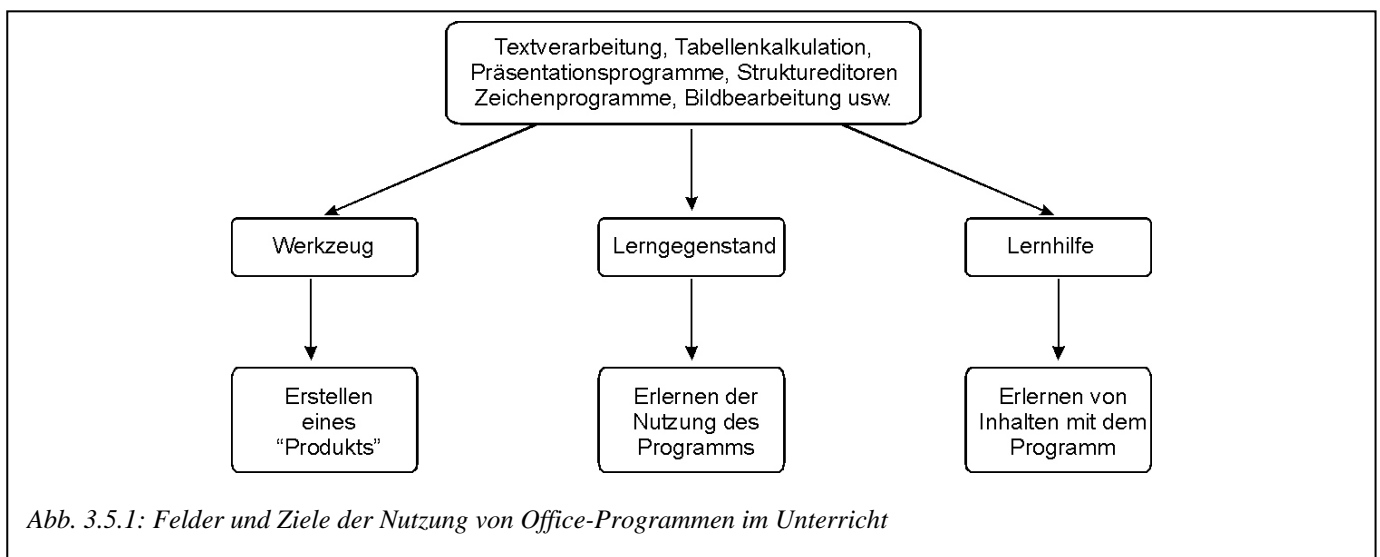


Abb. 3.5.1: Felder und Ziele der Nutzung von Office-Programmen im Unterricht

<sup>56</sup> Reiners & Saborowski (2001)

<sup>57</sup> Internetlinks zur benannten Software finden sich im Anhang.

<sup>58</sup> Internetlinks zur benannten Software finden sich im Anhang.

ten methodischen Maßnahmen für die Gestaltung des Unterrichts zu ergreifen bzw. einen geeigneten didaktischen Ort auszuwählen. Steht der Werkzeug-Charakter im Vordergrund, so besteht die Zielsetzung in der Erstellung eines „Produktes“. Die Anforderungen an dieses gilt es genau zu beschreiben, das Ergebnis lässt sich im Anschluss begutachten. Steht hingegen der Lern-Charakter im Vordergrund, so gilt es, dieselben Maßnahmen wie bei der Konzeption von Unterrichtseinheiten zu ergreifen, um erfolgreiches Lernen zu ermöglichen.

Beispiele für die Nutzung verschiedener Office Anwendungen sind u. a. diskutiert bei LEWIS.<sup>59</sup> Zwei sehr unterschiedliche Anwendungen auf der Basis von MS-Excel beschreiben BADER & HORN zur Ökobilanzierung und KRILLA ET AL. für den Bereich Reaktionskinetik und chemisches Gleichgewicht.<sup>60</sup>

### 3.6 Das Internet als Lernmedium

Das Internet entstand zunächst in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts als ein Netzwerk von Rechnern zum militärischen Datenaustausch in den USA. Daraus hat sich eine Technologie entwickelt, die heute ein weltumspannendes Netz für verschiedenste Arten des elektronischen Datenaustauschs darstellt. Der heute wohl wichtigste Bereich des Internets entstand Ende der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts: Das *World Wide Web (WWW)*. Vielfach wird das Internet heute mit dem WWW gleichgesetzt, da auch andere Dienste, wie E-Mail oder Datenübertragung, oftmals über Anbieter im WWW abgewickelt werden. Begrifflich wird im Folgenden WWW verwendet, wenn allein die Informationsbeschaffung oder -generierung im WWW-Dienst des Internet gemeint ist, Internet hingegen dann, wenn Kommunikationsdienste (E-Mail, Foren, Chat, ...) am entsprechenden Unterrichtsvorhaben ebenfalls beteiligt sind.

Die Fähigkeit des sinnvollen und Ziel gerichteten Umgangs mit dem Internet – und hierbei insbesondere des *World Wide Web* – ist ein wesentliches Element einer modernen und zukunftsfähigen Medienkompetenz. Dies bedeutet auf der einen Seite Kompetenzen selbstständig Informationen aus dem WWW aufzufinden, die Datenfülle des WWW zu bewältigen und reflektiert mit entsprechenden Daten umzugehen. Auf der anderen Seite schließt dies aber auch Kompetenzen ein, eigene Informationen für eine Darstellung im WWW aufzubereiten oder über das Internet auszutauschen. Die Schulung solcher Kompetenzen kann und muss im Sinne des allgemein bildenden Auftrags der Schule im Zusammenspiel möglichst aller Unterrichtsfächer stattfinden. Somit kann auch der Chemieunterricht seinen Beitrag leisten.

So gibt es auch für den schulischen Chemieunterricht eine Vielzahl relevanter Informationen im WWW. Hier handelt es sich u. a. um Webseiten der Industrie, von Umwelt- und Verbraucherverbänden oder auch von Projekten aus Schulen und anderen Bildungseinrichtungen. Sie sind allerdings nur in den wenigsten Fällen mit Blick auf den schulischen Lernprozess, das angewandte Curriculum bzw. den Entwicklungsstand der entsprechenden Schülerinnen und Schüler strukturiert. Im Sinne eines Lernens mit authentischen Medien aus der Lebenswelt ist dies beim Lernen mit dem Internet in der Schule aber auch nicht in jedem Fall wünschenswert.

So verlangt eine sinnvolle Einbindung des WWW in den Chemieunterricht als Informationsmedium neben der technischen Bereitstellung eine intensive didaktische und methodische Reflexion. Hierbei greifen ähnliche

sche Reflexion. Hierbei greifen ähnliche Überlegungen, wie bei der Nutzung anderer Medien, einige Punkte gehen aber deutlich darüber hinaus.

Grundsätzliche Unterschiede des Mediums Internet im Vergleich zu etwa Printmedien oder Audio- und Videoaufzeichnungen sind die rein quantitativ nahezu uneingeschränkte Informationsmenge und die Tatsache, dass die meisten Informationen im Internet nicht hinsichtlich ihrer Validität geprüft werden. Somit stellt sich bei der Nutzung des Internets im Unterricht die Frage, wie eine Auseinandersetzung mit den Inhalten gelingen kann, ohne dass die Lernenden sich in der Informationsmenge verlieren, durch die Datenfülle überlastet werden oder sich zu sehr auf irrelevante oder gar falsche Informationen fokussieren. Hier muss der Lehrende als Lernbegleiter und Lernberater Hilfestellung anbieten. Fragen der didaktischen Auswahl und methodischen Einbindung sind mindestens so essentiell für ein Ziel gerichtetes und effektives Lernen mit dem Internet, wie für andere Medien. Dies gilt insbesondere für jüngere bzw. noch ungeübte Schülerinnen und Schüler. Ein limitierender Faktor für das Lernen mit dem Internet stellt zumindest zur Zeit auch noch die relativ begrenzte Möglichkeit der Schulen dar, multimediale Elemente (Filme, Animationen...) online zu nutzen, da der Zugang zum Internet in der Regel über ISDN- oder Modemleitungen erfolgt. Die Ladezeiten größerer Datenmengen über diese Verbindungen sind so hoch, dass die Nutzung solcher Elemente nahezu unmöglich wird. Die Umstellung auf DSL-Zugänge ist allerdings schon nennenswert fortgeschritten.

Da das schulische Lernen, anders als etwa das Internet-Surfen in der Freizeit, nicht in gleichem Maße intrinsisch motiviert ist, kann es bei einer nicht hinreichenden unterrichtsmethodischen Einbindung zu erheblichen Motivationsverlusten kommen. Abhilfe schaffen können hier mit Blick auf die Kompetenzen der Lernenden konkret formulierte Aufgaben bzw. Arbeitsaufträge. Dies kann auch bereits eine Vorauswahl von WWW-Seiten umfassen, die mit Blick auf die Aufgaben relevante Informationen in angemessener Darstellung anbieten. Hier können schriftliche Vorgaben ebenso helfen, wie die Spiegelung bestimmter Seiten und die Einrichtung eines eigenen kleinen „Intranets“.<sup>61</sup> Aber auch das gemeinsame Eingrenzen der Fragestellungen und Erstellen einer Suchstrategie kann helfen, das planlose und oft demotivierende Suchen im Internet sinnvoll zu gestalten. Gleichmaßen sollte überlegt werden, inwieweit zumindest optionale Angebote von Hilfestellungen und Selbstkontrollmöglichkeiten einbezogen werden. Denkbar ist z. B. die Schaffung einer eigenen Kontrollinstanz, in der Informationen aus dem WWW mit geprüften Informationen aus Büchern oder anderen Medien in Beziehung gesetzt werden. Eine weitere Variante, die die Informationsbeschaffung entlang des anders motiviert und mit einer Zielstellung versieht, ist die Aufgabe einer eng umrissenen Präsentation der gefundenen Informationen. Hierbei sind Formen des kooperativen Lernen (z. B. Gruppenpuzzle oder Kugellager<sup>62</sup>) in der Regel effektiver als Präsentationen vor der gesamten Lerngruppe, da sie die einzelnen Schülerinnen und Schüler stärker involvieren und in die Pflicht nehmen.

Leider liegen bisher nur wenige Konzeptionen und Untersuchungsergebnisse einer solchermaßen strukturierten Nutzung

<sup>61</sup> Wedershoven (2003)

<sup>62</sup> Eilks & Witteck (2003), Eilks & Bester (2003), Wedershoven (2003), Witteck & Eilks (2004); Witteck et al. (2004)

<sup>59</sup> Lewis (2003), Parkinson & Hollamby (2003), Rowcliffe (2003)

<sup>60</sup> Krilla et al (1998), Bader & Horn (2003)

des Internets für den Chemieunterricht vor.<sup>63</sup> Häufiger sind bisher noch Berichte über speziell erstellte und über das WWW angebotene Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler (vgl. Abschnitt 3.1). Daher sollte sich die Chemiedidaktik inhaltlich wie unterrichtsmethodisch zukünftig stärker auch mit der Frage befassen, wie die nicht schulspezifischen Dienste und Informationsangebote im WWW systematisch (didaktisch wie methodisch) in den Ablauf des Chemieunterrichts integriert werden können. Von grundsätzlicher Bedeutung ist die Frage, in welcher Unterrichtsphase das Internet in den Unterricht einbezogen wird, sei es als Themenaufriß, in einer Ausarbeitungs- bzw. Problemlösephase oder als Vertiefung. Es sind aber auch Fragen der Sozialform bzw. der zu wählenden Unterrichtsmethode zu bedenken.

Das Internet wird immer wichtiger auch zur Präsentation von Informationen oder dem Austausch (vgl. Abschnitt 3.7). Hierfür ist eine Schulung von Kompetenzen in der Strukturierung entsprechender Medien notwendig (vgl. Abschnitt 3.5). Dies kann auch im Chemieunterricht eine Rolle spielen, wenn der Unterricht produkt orientiert durchgeführt wird. Eine Darbietung der Ergebnisse im WWW hat hinsichtlich der Verbreitung und der Möglichkeiten einer multimedialen Aufbereitung sicher eine andere Qualität als klassische Formen, wie Poster oder Wandzeitung. Beispiele finden sich auf vielen Homepages von Schulen. Somit kann die Präsentation über das WWW eine echte Alternative darstellen, die bis hin zum internationalen Austausch führen kann. Beispiele hierfür sind etwa Projekte im Rahmen von, *Kids as Global Scientists (KGS)*, *GLOBE* oder *Science Across the World*.<sup>64</sup> Ein anderes Beispiel ist das Projekt *ParIS* (Partnerschaft zwischen Industrie und Schule), das die Einbindung des Internet in schulische Lernprozesse zusammen mit selbst gesteuertem Lernen und einer Kooperation zwischen Industrie und Schule versucht. Hier gibt die Lehrkraft den Lernenden Hilfestellung in Form des *cognitive apprenticeship*.<sup>65</sup>

Diskussionsbeiträge oder Beispiele zur Internetnutzung im Chemieunterricht finden sich zu u. a. im Themenheft „Unterricht und Internet“ des MNU.<sup>66</sup>

### 3.7 Distance Learning

Konzepte des *Distance Learning* - was wörtlich in etwa mit „Fernstudium“ übersetzt werden kann - sind bereits relativ alt und basierten zunächst auf der Zusendung von Lernmaterialien an die Studierenden, z.B. so genannter Studienbriefe. Das eigenständige Lernen wurde ggf. durch Radio- oder TV-Sendungen (Telekolleg) sowie durch zentrale Zusammenkünfte z.B. an Universitäten unterstützt. Dies hat sich zumindest teilweise durch den Einsatz der Neuen Medien verändert.

Die erweiterten elektronischen Möglichkeiten für das *Distance Learning* sind vielfältig und werden teilweise unabhängig vom eigentlichen Konzept des Fernstudiums genutzt. Hierbei handelt es sich etwa um den „virtuellen“ Besuch realer zeitgleich stattfindender oder aufgezeichneter Vorlesungen an entfernten Universitäten, um die Möglichkeit interaktiv via E-Mail oder Chat an Diskussionen hierüber oder Seminaren teilzunehmen oder ergänzende Materialien aus dem WWW zum

Selbststudium oder zur Unterstützung der „realen“ Veranstaltungen zu beziehen.

Daneben gibt es aber immer noch auch Konzepte des Fernstudiums zur Aus-, Fort- und Weiterbildung im eigentlichen Sinne. Moderne Konzepte dieses Fernstudiums, die sich des Internets und der Computer gestützten neuen Medien bedienen, funktionieren zwar prinzipiell ähnlich wie auf der Basis gedruckter Materialien, sind aber durch ihre zusätzlichen Möglichkeiten den ursprünglichen Verfahren überlegen. Dabei spielen „geschlossene“ Konzepte, also solche, die eine konkrete Lerngruppe umfassen und eine klare Strukturierung von Inhalten und Zielen aufweisen, heute vor allem in der beruflichen bzw. unternehmensinternen Fortbildung eine Rolle. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erhalten hierbei (per Passwort) Zugriff auf spezielle WWW-Seiten mit multimedialen Anwendungen, die die ursprünglichen per Post versandten Studienbriefe ersetzen. Im Unterschied zum herkömmlichen Konzept erlaubt es das Internet daneben, mit den anderen Teilnehmern und den Lehrenden (Moderatoren) in einem virtuellen Forum zu kommunizieren. Damit allerdings keine kompletten Lösungen ausgetauscht werden können, sind die wahren Identitäten der Teilnehmer in der Regel nur dem Kursleiter bekannt. Zudem sind bestimmte Regeln der „erlaubten“ Kommunikation einzuhalten.

Eine weitere Variante ist z.B. eine analog zu Seminaren stattfindende virtuelle (Diskussions-) Veranstaltungen.<sup>67</sup> Neue technische Möglichkeiten, wie z.B. der Einsatz von *Webcams*, *Netmeetings* oder *Whiteboards*, auf denen sowohl seitens des Lehrenden wie des Lernenden mit einem Stift für alle anderen sichtbar geschrieben und gezeichnet werden kann, erhöhen die Interaktivität und damit die Individualität des Lehr- und Lernprozesses. In der betrieblichen Bildung und ggf. auch der beruflichen Fort- und Weiterbildung sind nicht nur hierdurch beträchtliche Kontrollmöglichkeiten durch den Veranstalter gegeben. So lässt sich z.B. durch die Vergabe von Passwort geschützten *Accounts* die Nutzungsdauern dokumentieren oder durch die Dokumentation der Abfolge der von einem Teilnehmer aufgerufenen WWW-Seiten, dessen Leistungsfähigkeit, Vorwissen, Lernstrategie etc. ermitteln. Ein sich fortbildender Teilnehmer wird damit folglich auch zu einem „gläsernen“ Mitarbeiter - jedenfalls in einem größeren Umfang als es die ursprünglichen Verfahren ermöglicht haben.

Der Charakter der Veranstaltungen und Angebote geht aber immer mehr weg von dieser geschlossenen Form eines Fernunterrichts, also einer Lehrgangs mäßig organisierten Schulung auf der Basis von Wissensverteilung und selbst instruierendem Material. Es findet immer mehr ein Wechsel hin zum *Open Distance Learning* statt.<sup>68</sup> Hierbei hat der Lernende viele Freiheiten Inhalte auszuwählen, sich selbst zu diagnostizieren oder an den Kriterien einer Bewertung teilzuhaben. Welche Wirkungen und Erfolge diese Konzepte allerdings erzielen, ist wie für viele Bereiche des offenen Unterrichts noch wenig untersucht und schwer abzuschätzen. Als zentral für den Erfolg wird eine hohe Selbstverantwortung und -disziplin der Lernenden angesehen.

Nicht zuletzt aus diesem Grund erscheint ein Ausweichen auf solche Konzepte für den schulischen Chemieunterricht in Deutschland bisher weder möglich noch wünschenswert. Hier setzen eine wünschenswerte experimentelle Ausrichtung des

<sup>63</sup> Fallstudien zur Kugellagermethode sind beschrieben in Eilks & Bester (2003) und Witteck et al. (2004).

<sup>64</sup> Songer (1998), GLOBE-GERMANY-Programm (1997), Brachtl (1999)

<sup>65</sup> <http://www.ipn.uni-kiel.de/parcis/index.html>

<sup>66</sup> MNU (2001); auch Möllencamp & Matuschek (1998), Gröger et al. (2001), Eilks & Witteck (2003), Eilks & Bester (2003), Pickersgill (2003)

<sup>67</sup> vgl. z.B. Hannemann & Dreyer (2001)

<sup>68</sup> Zimmer (1998)

Chemieunterrichts, die Frage einer hinreichenden Motivation und die sozialen und erzieherischen Aufgaben der Schule Anforderungen, die auf diesem Weg kaum einlösbar sind, auch wenn dies in anderen Ländern, wie Australien, aus verschiedenen Gründen erfolgreich praktiziert wird.

Beim selbst verantworteten Lernen an der Universität oder in der beruflichen Weiterbildung kann dies hingegen ganz anders aussehen, wie das erfolgreiche Konzept Virtuellen Universität der Fernuniversitäten Hagen oder das europäische *Multimedia Teleschool Project* zeigen.<sup>69</sup> Bezogen auf die Chemie sind die notwendigen Praktikumsorientierten Anteile auf diesem Weg allerdings auch dort nicht zu realisieren. Der Schwerpunkt wird hier deshalb auch weiterhin auf unterstützenden „virtuellen“ Vorlesungen und Seminaren liegen wie sie zur Zeit bereits von einigen Hochschulen für einzelne Disziplinen der Chemie angeboten werden, wie z.B. den Universitäten Kiel und Tübingen.<sup>70</sup> Eine Übersicht über Aktivitäten im europäischen Ausland geben LAGANA und RIGANELLI.<sup>71</sup>

Auch in der Fortbildung von Lehrkräften sind solche *Distance Learning* Konzepte in der Chemie nur bedingt nutzbar. Schließlich nimmt auch hier die Vorstellung experimenteller Konzeptionen und das Erlernen der Durchführung der damit verbundenen Versuche eine zentrale Position in den Chemielehrerfortbildungen ein. Dennoch werden *Distance Learning* Konzepte bereits additiv bzw. zur Vorbereitung realer Qualifizierungsmaßnahmen genutzt. So werden zurzeit in Baden-Württemberg fachfremd unterrichtende Hauptschullehrkräfte in einer „Nachqualifizierungsmaßnahme“ auf die „realen“ Praxisphasen an den Hochschulen via Internet vorbereitet.

Ein deutlich anderes Potenzial auch für schulische Lehr- und Lernprozesse weisen hingegen in kleinerem Rahmen genutzte Kommunikationsumgebungen auf. Das so genannte *Computer-supported Cooperative/Collaborative Learning (CSCL)* bietet Plattformen an, deren Hauptaugenmerk auf der Zusammenarbeit und dem Informationsaustausch über Computer basierte Plattformen liegt (vgl. auch Abschnitt 3.6). Beispiele für derartige Programme sind unter anderem *WebCT*, *Learningspace* oder *VITAL*.<sup>72</sup> Allerdings gibt es auch hier bisher erst wenige dokumentierte Beispiele aus dem Fachunterricht heraus und die Möglichkeiten werden eher auf allgemeiner Ebene beschrieben und diskutiert.<sup>73</sup>

#### 4. Chemiedidaktische Forschung über die Nutzung der Neuen Medien

Seit die Diskussion um den Computer als Medium für die schulische Ausbildung in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts intensiv begonnen hat, beschäftigt sich auch die Chemiedidaktik an den deutschen Hochschulen immer wieder mit diesem Thema. Über die Jahre sind abhängig von der seinerzeit aktuellen Einschätzung des Potenzials und insbesondere den technischen Möglichkeiten der jeweiligen Zeit Vorschläge für den Einsatz des Computers im Chemieunterricht formuliert worden. Einen Überblick hierüber bieten entsprechende Themenhefte der Zeitschriften *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule* oder *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unter-*

*richt*.<sup>74</sup>

Grundlegende oder zumindest begleitende empirische Untersuchungen mit grundlegenden Fragestellungen sind in der deutschen Chemiedidaktik hingegen nur sehr begrenzt verfügbar. Ausnahmen aus den letzten Jahren sind etwa die Arbeiten von HOLLSTEIN, SUMFLETH & KUMMER, PIETZNER oder SCHANZE.<sup>75</sup>

Ähnlich stellt sich die Situation auch heute noch dar. An vielen deutschen Hochschulen laufen Projekte, die sich – zumindest als Nebenaspekt auch - mit der Nutzung des Computers im Chemieunterricht befassen. Eine Übersicht aus einer aktuellen Umfrage im Frühjahr 2003 findet sich in Tab. 4.1.<sup>76</sup> Allerdings gibt es nach wie vor kaum eine Hochschule, deren Chemiedidaktik sich auf die Nutzung des Computers im Chemieunterricht als zentrales Arbeits- und Forschungsfeld fokussiert hat, obwohl dieser Bereich wiederholt als ein notwendiges Element für einen zukunfts-trächtigen Chemieunterricht benannt wurde.

Wie in der Vergangenheit ist auch bei den meisten der aktuellen in Tab. 4.1 benannten Projekte der Gedanke der Konzipierung von Multimediaelementen für die Nutzung im Unterricht vorrangig. Bei der ausführlicheren Analyse der dargestellten Projekte stellt man aber fest, dass in vielen Fällen – ähnlich wie bei der Entwicklung schulrelevanter Experimente<sup>77</sup> - immer noch Aspekte vernachlässigt werden, die sowohl aus dem Bedürfnis der Praxis heraus als auch aus dem Blickwinkel der universitären Fachdidaktik als forschungsbasierte Disziplin wichtig erscheinen:

- In vielen Fällen werden primär Medien entwickelt und angeboten, ohne dass dieses Angebot grundlegend um erprobte und evaluierte Einsatzszenarien, einschließlich begleitender Materialien, unterlegt ist.
- In vielen Fällen werden Medien konzipiert, ohne dass die Forschungsbasis der Entwicklung oder Daten über den Nachweis der Auswirkungen auf die Praxis verfügbar sind.

So erscheint es für die Zukunft wünschenswert, dass die Nutzung des Computers im deutschen Chemieunterricht stärker in den Blickpunkt der universitären chemiedidaktischen Forschung rückt und dabei auch stärker empirisch hinterfragt wird. Eine Möglichkeit, unmittelbare Rückmeldungen über die erstellten multimedialen Materialien zu erhalten, könnte die Methode des Lauten Denkens bieten<sup>78</sup>. Dabei äußert der Lernende während der Benutzung der Software sämtliche Eindrücke und Urteile, was über ein *Headset* von einer Software (z.B. *Camtasia Studio*) aufgezeichnet wird. Gleichzeitig filmt das Programm den Bildschirm ab. Daraus entsteht ein Film, in dem man sämtliche verbalen Äußerungen in Kombination zu den Mausebewegungen sehen und auf diese Weise z.B. Probleme in der Navigation erkennen kann.

Dies, wie andere Untersuchungsdesigns, kann dazu dienen, effektive Einsatzszenarien begründeter zu entwickeln aber auch die Konzipierung besser zu untermauern. Hierbei sollten auch aktuelle lernpsychologische Erkenntnisse stärker einflie-

<sup>69</sup> Hoyer (2003), Fischer (1998)

<sup>70</sup> z.B. Nick et al. (2001), Nick & Andresen (2001)

<sup>71</sup> Lagana & Riganelli (2003)

<sup>72</sup> Internetlinks zur benannten Software finden sich im Anhang.

<sup>73</sup> Wessner et al. (2003)

<sup>74</sup> Franik (1985), Duvinage (1995), Lutz (1995), MNU (1998), Tausch (2001)

<sup>75</sup> Sumfleth & Kummer (2001), Hollstein (2002), Pietzner (2002), Schanze (2003)

<sup>76</sup> Eine ausführliche Darstellung findet sich auf der Homepage der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh: <http://www.gdch.de/strukturen/fg/cu.htm>.

<sup>77</sup> Eilks & Ralle (2003)

<sup>78</sup> Frommann (2003)

	<b>Leitung des Projekts</b>
<i>MOLIS</i> Entwicklung eines WWW-basierten Lehrprogramms zum Thema Isomerie in der Organischen Chemie für die Sekundarstufe II	W. Wagner, A. Kerber Universität Bayreuth
<i>UNIMOLIS</i> Entwicklung eines WWW-basierten Lehrprogramms zum Thema Isomerie und Symmetrie in der Organischen Chemie für die Hochschule	A. Kerber, C. Rücker, W. Wagner, Universität Bayreuth.
<i>ChiLe – Chemie interaktiv Lernen</i> Erstellung von interaktiven, räumlichen Moleküldarstellungen, Reaktionsanimationen, Simulationen und interaktiven Übungsaufgaben für den Chemieunterricht, Entwicklung und Evaluation von didaktischen Konzepten zur sinnvollen Einbindung des Computers in den Chemieunterricht	V. Pietzner, K. Höner, TU Braunschweig
<i>Neue Wege zum Teilchenkonzept und die Lernumgebung "Teilchen"</i> Entwicklung und Untersuchung einer HTML-basierten Lernumgebung zur Vermittlung des Teilchenkonzepts in der Sekundarstufe I	I. Eilks, J. Möllering, Universität Bremen
<i>Multimedia und kooperatives Lernen im Chemieunterricht</i> Entwicklung und Untersuchung von Konzeptionen, die auf einer Verbindung kooperativer Lernformen und dem Lernen mit den Neuen Medien beruhen	I. Eilks, T. Witteck, Universität Bremen
<i>Schüler entwickeln multimediale Elemente zum Lernen von Chemie</i> Durchführung und wissenschaftliche Begleitung einer fächerübergreifenden Arbeitsgemeinschaft, in der Schülerinnen und Schüler Visualisierungen und interaktive Elemente zur Darstellung chemischer Sachverhalte entwickeln	I. Eilks, S.Kienast, B. Günther, Universität Bremen
<i>Chemie im Kontext: Einführung in das chemische Gleichgewicht in Jahrgang 11</i> Entwicklung und Untersuchung eines Unterrichtsganges zur Einführung in das chemische Gleichgewicht unter Nutzung von Computersimulationen	B. Krilla, B. Ralle, Universität Dortmund
<i>Lernsoftware für den Chemieunterricht</i> Entwicklung von Hypermedia-Netzwerken zu verschiedenen Themen des Chemieunterrichts, z.B. Elektrochemie, Photochemie, chemisches Gleichgewicht	M. W. Tausch, Universität Duisburg-Essen
<i>Lernen mit Hypertexten im chemischen Kontext - Untersuchung von linearen und nicht-linearen Lernumgebungen zum Thema Seife</i> Untersuchung des Lernerfolgs von multimedialen Lernumgebungen mit unterschiedlichem Grad an Linearität	E. Sumfleth, T. Kummer, Universität Duisburg-Essen
<i>Computer unterstütztes Lernen auf der Basis konstruktivistischer Lerntheorien am Beispiel der Einführung in das Kugelteilchenmodell</i> Untersuchung der Auswirkungen von selbst konstruierten Simulationen auf das Lernen bei der Einführung in das Kugelteilchenmodell	E. Sumfleth, A. Hollstein, Universität Duisburg-Essen
<i>Computer unterstütztes Experimentieren</i> Erstellung von Messsoftware, Versuchsbeschreibungen und Darstellungen von Computer unterstützter Messwerterfassung	D. Steiner, Universität Erlangen-Nürnberg
<i>Molecular Modelling für Chemielehrer</i> Entwicklung eines Internetkurses und von Fortbildungen zum Einsatz von Molecular Modelling im Chemieunterricht	D. Steiner, Universität Erlangen-Nürnberg
<i>Lehrmaterialien zu Molecular Modelling für Chemielehrer</i> Erstellung von Lehrmaterialien für den Einsatz von Molecular Modelling im Chemieunterricht	D. Steiner, Universität Erlangen-Nürnberg
<i>Computervisualisierungen und das Denken in Modellen</i> Empirische Untersuchung über den Einfluss von Computervisualisierungen auf die Fähigkeit zum Denken in Modellen	S. Schanze, Universität Kiel
<i>Strukturdatenbank für Lehrkräfte</i> Erstellung einer Strukturdatenbank mit Abbildungen (farbig, schwarz-weiß), 3D-Simulationen und Rot-Grün-Abbildungen von relevanten Kristallstrukturen für den Chemieunterricht	S. Nick, C. Näther, Universität Kiel
<i>CHEMnet</i> Entwicklung einer online-Vorlesung zur Einführung in die Allgemeine und Anorganische Chemie	R. Demuth, S. Nick, J. Andresen, B. Lübker, Universität Kiel
<i>Computervisualisierung und Modelldenken</i> Empirische Untersuchungen zum Raumvorstellungsvermögen beim Lernen von Chemie mit dem Computer und Entwicklung exemplarischer Ansätze zur Förderung einer Flexibilisierung des Modelldenkens durch das Lernen mit dem Computer	C. Reiners, J. Saborowski, Universität zu Köln
<i>Entwicklung einer Lernhilfe zum Strukturorientierten Chemieunterricht</i>	H.-D. Barke, B.Möller, Universität

Entwicklung von pseudo-dreidimensionalen Anschauungsmodellen von Metall- und Salzstrukturen, dichtesten Kugelpackungen und Elementarzellen auf der Basis von VRML.	Münster
<i>Neuen Medien im Chemieunterricht: Entwicklung von unterrichtswissenschaftlich und empirisch begründeten Kriterien für ihren unterrichtsmethodischen Einsatz</i> Entwicklung von Kriterien für einen chemiedidaktisch begründeten Einsatz von Neuen Medien im Chemieunterricht	H. Hildebrandt, Universität Paderborn
<i>Lernprogramm Fette und fette Öle</i> Entwicklung eines Internet-basierten Lernprogramms zum Themenbereich Fette und fette Öle für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II	B. Lutz, Universität Würzburg
<i>Kohlenhydrate – Die Grundlagen der Zuckerchemie</i> Entwicklung eines Internet-basierten Lernprogramms zum Themenbereich Kohlenhydrate und Zuckerchemie für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II	B. Lutz, Universität Würzburg

Tab. 4.1: Projekte zum chemiebezogenen Multimedia-Lernen an fachdidaktischen Arbeitsgruppen deutscher Hochschulen (Stand Sommer 2003)

ßen, etwa zur Rolle des situativen Lernens bei der Nutzung der Neuen Medien.<sup>79</sup> Dass diese Ergebnisse dann systematischer und effektiver an die Praxis herangetragen werden sollten, als dies in der Vergangenheit häufig der Fall war, ist eine Selbstverständlichkeit und hat Parallelen zu Forderungen für viele andere Bereiche.<sup>80</sup>

## 5. Der Computer in der Vorbereitung des Unterrichts

Der Computer als Hilfsmittel zur Unterrichtsvorbereitung der Lehrerin bzw. des Lehrers ist heute schon fast eine Selbstverständlichkeit. So finden die nicht-fachspezifischen Office-Anwendungen (Texteditoren zum Fertigen von Arbeitsblättern und Klausuren, Tabellenkalkulation zur Notenverwaltung, Datenbankprogramme zur Sammlungs- und Medienverwaltung, Präsentationsprogramme zur Erstellung von Folien) fast flächendeckend Anwendung. Dabei sind neben der Erstellung klassischer Arbeitsblätter o. Ä. für die Zukunft vor allem die technischen Möglichkeiten von Präsentationsprogrammen hervorzuheben. Diese sind mittlerweile geeignet, eigene Trickfilmsequenzen oder Animationen zu erstellen und mit den Schülerinnen und Schülern im Unterricht zu verwenden. Neben dem Bereich der Präsentationsprogramme steht aber auch eine Reihe von fachspezifischen Programmen zur Verfügung, wie Formeleditoren, Editoren für Experimentalaufbauten oder Editoren für pseudo-3D-Formeln (vgl. Abschnitt 3.5). Allerdings ist der Eignungsgrad dieser Programme für Schulzwecke sehr unterschiedlich. Nur wenige Programme sind für Lehrerinnen und Lehrer konzipiert bzw. berücksichtigen Symbole oder Geräte, die für die Schulchemie typisch sind.

Neben der reinen Hilfe im Sinne eines Werkzeuges nimmt auch die Bedeutung des Computers als Informationsquelle und hier insbesondere des *World Wide Web* für die Unterrichtsvorbereitung immer mehr zu. Verfügbar sind:

- Beiträge der chemiedidaktischen Arbeitsgruppen, von Chemieabteilungen der Universitäten und Fachhochschulen, von Firmen oder auch von Lehrerinnen und Lehrern mit Unterrichtsvorschlägen oder schulbezogenen Medienangeboten
- Literaturangebote der Verlage mit zum Teil kostenpflichtigem Zugriff auf einzelne Artikel aus Fachzeitschriften, die sonst nur schwer zugänglich sind

- Fachbezogene Datenbanken mit Molekülstrukturen, physikalischen und chemischen Daten, Sicherheitsinformationen oder Literaturstellen
- Schüler- und Lehrerdiskussionsforen, die allerdings nur zum Teil nennenswerte Einträge und Hilfen bieten, oder Kontakte zu Experten, bei denen individuelle Fragen (und Antworten) möglich sind.

Wie aber auch bei der Internetnutzung durch die Lernenden im Unterricht, (vgl. Abschnitt 3.6) ist die Informationsbeschaffung aus dem Internet WWW für die Unterrichtsvorbereitung nicht immer einfach. Das Auffinden relevanter Informationen erfordert in der Regel sehr viel Erfahrung und Übung und manchmal auch viel Glück. Und selbst nach Auffinden entsprechender Informationen hat man das Problem, dass die eingestellten Informationen oftmals nicht abgesichert sind. Im Gegensatz zu Zeitschriften und Büchern findet bei vielen – gerade Unterrichtsbezogenen – Informationen im WWW keine redaktionelle Kontrolle oder Bearbeitung statt. Sicher ist in diesem Fall dann nicht, dass die angebotenen Informationen vollständig richtig oder aktuell sind oder dass die vorgeschlagenen Unterrichts- oder Experimentieranleitungen in der angebotenen Form auch tatsächlich in der Praxis funktionieren.

## 6. Ausblick

Der Ausblick soll drei Bereiche beleuchten, die unserer Meinung nach die zentralen Betätigungsfelder der Chemiedidaktik sind: die empirische Untersuchung von fachbezogenen Lehr- und Lernprozessen, die konzeptionelle Weiterentwicklung unterrichtlicher Praxis und die Aus- und Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern.

### 1. Empirische Untersuchung von fachbezogenen Lehr- und Lernprozessen

Im Bereich der chemiedidaktischen empirischen Forschung besteht unseres Erachtens erheblicher Forschungsbedarf, die vielfach bisher lediglich unterstellten Effekte des Computereinsatzes im Chemieunterricht empirisch zu hinterfragen und ggf. zu untermauern. Um auch weiterhin den Computereinsatz im Chemieunterricht fördern zu können aber auch sinnvoll zu gestalten, ist es zwingend erforderlich, dass die aus der Praxis berichteten positiven Eindrücke und Erfahrungen durch breitere empirische Evidenz unterlegt werden. Es muss deutlich untersucht werden, ob der Computer über den Neuigkeitseffekt hinaus nachhaltig positive Auswirkungen auf das Lernen haben wird, wo diese Vorteile liegen können und was die Ursachen hierfür sind. Dabei muss differenziert werden, welche

<sup>79</sup> z.B. Mandl et al. (1997)

<sup>80</sup> Eilks & Ralle (2002), Eilks & Ralle (2003)



Medien unter welchen Rahmenbedingungen positiv auf den kognitiven Lernerfolg aber auch motivationale und affektive Aspekte des Unterrichts einwirken und welche Rahmenbedingungen, etwa aus der Unterrichtsmethodik dies beeinflussen. Die hier zu generierenden Erkenntnisse können, müssen aber nicht, fachabhängig sein. Die Basis vorliegender Erkenntnisse ist sowohl fachbezogen als auch fachunabhängig immer noch sehr unbefriedigend. Eine enge Zusammenarbeit mit den allgemeinen Erziehungswissenschaften, hier insbesondere der Lernpsychologie und der Mediendidaktik, aber auch den benachbarten Fachdidaktiken, etwa der Physik, wäre dabei unbedingt wünschenswert.

Daneben gibt es aber auch eine Reihe weitgehend offener Fragestellungen, die nur im Rahmen einer vorrangig naturwissenschaftsdidaktisch oder gar chemiedidaktisch ausgerichteten Forschung beantwortet werden kann. Dies betrifft etwa Fragen der Wahrnehmung oder Lernwirksamkeit von virtuellen naturwissenschaftlichen Experimenten, der Schulung naturwissenschaftlicher Modellierung über entsprechende Programme oder des Einflusses Computer generierter dreidimensionaler submikroskopischer Strukturen auf das Erlernen kognitiver Konzepte auf der Teilchenebene. Noch spezifischer für die Chemie sind weitergehende Fragen, etwa welche molekularen Darstellungsformen (Skelett-, Valenzelektronen-, Kalotten, Elektronendichteformeln...) am wenigsten Lernfehler verursachen oder wo pseudo-3D- oder echte 3D-Repräsentationen von molekularen Strukturen hilfreich sind. Zu all diesen Bereichen ist die Erkenntnislage noch recht fragmentiert, als Voraussetzung für die Neustrukturierung von Lehr- und Lernmedien ist aber eine begründete Kenntnis notwendig.

## *2. Die konzeptionelle Weiterentwicklung unterrichtlicher Praxis*

Seit mehreren Jahrzehnten wird nun bereits schulbezogene Software aus der Chemiedidaktik heraus entwickelt. Durch die sich ständig verändernden technischen Möglichkeiten veralten diese Medien allerdings relativ schnell und müssen kontinuierlich überarbeitet werden. Dies führt häufig aufgrund der beschränkten Ressourcen von Lehrerinnen und Lehrern, aber auch der Hochschulen, dazu, dass langfristig entwickelte Lernmedien und gut erprobte Konzeptionen für deren Einsatz nur begrenzt zur Verfügung stehen, die Medien nicht immer auf den neuesten technischen Stand aktualisiert werden und die damit verbundenen Möglichkeiten ausschöpfen. Daneben scheint es aber auch so, dass in der Vergangenheit bereits bei der Entwicklung vieler Medien der parallelen Entwicklung unterrichtlicher Einsatzszenarien und begleitender Materialien relativ wenig Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Erfahrungen im Einsatz wurden selten systematisch erfasst, dokumentiert und eine kontinuierliche Pflege der Produkte war im Projekt nicht immer mit angelegt.

So sollte man zukünftig hierauf deutlich mehr Wert legen. Dies gilt besonders für die Fragen der unterrichtlichen Einbindung, da hier am ehesten die Expertise der Chemiedidaktik liegt und das Medium nur durch den Zusammenhang des begründeten Einsatzes erfolgreich wirken kann. Das Medium allein kann niemals etwas so komplexes wie unterrichtliche Praxis jenseits vom programmierten Unterricht vollständig strukturieren. Diese Komplexität macht es daneben auch nicht leicht, das Potenzial und die Auswirkungen des Einsatzes entsprechender Medien einzuschätzen. Im Sinne einer forschungsbasierten Entwicklung von Chemieunterricht sollte die

Entwicklung der Medien, soweit sie aus den chemiedidaktischen Arbeitsgruppen der Hochschulen heraus geschieht, neben der Strukturierung von Einsatzszenarien auch durch eine begründete empirische Untersuchung ihres Einsatzes begleitet werden. Nur diese Forschung kann aufzeigen, ob der Einsatz sinnvoll und Gewinn bringend ist. Sie ist aber auch die Basis herauszufinden, in welche Richtung eine Neu- oder Weiterentwicklung dieser Medien zu gehen hat. Dies kann dann auch Anleitung für kommerzielle Anbieter, etwa die Schulbuchverlage, bereit stellen. Mit Blick auf die Komplexität von Unterricht und unterrichtlichem Einsatz derartiger Medien sollte die Entwicklung selber in einer nachhaltigen Interaktion von Entwicklern und Praktikern geschehen, in der iterativ zunehmend bessere Medien und Einsatzszenarien entwickelt werden.

Dabei muss man auch bedenken, dass das Erstellen von attraktiven und nachhaltig lernfördernden Lernumgebungen und Lehrprogrammen unter Verwendung spezieller Programmiersprachen (Flash, VRML, Java, JavaScript...) oder 3D-Repräsentationen in verschiedenen Bereichen immer noch eine nicht unerhebliche Einarbeitungszeit erfordert und auch in nächster Zukunft vorrangig von Spezialisten leistbar sein wird. Diese besitzen aber in der Regel keine fachspezifisch didaktische Expertise. Hier gilt es die Sensibilität von Fördereinrichtungen zu erhöhen. Förderung in diesem Bereich ist notwendig. Sie sollte aber so vergeben werden, dass beidermaßen professionelle Kompetenzen in der Mediengestaltung und fachdidaktisches Wissen vorhanden sind. Es muss sichergestellt werden, dass hier gemeinsam unter Einbezug der Praxis über den zur Entwicklung und Evaluation erforderlichen Zeitraum von in der Regel mehreren Jahren gearbeitet werden kann. Dabei sollten insbesondere auch offene Konzeptionen (z.B. HTML) benutzt werden, die es engagierten Lehrerinnen und Lehrern erlauben, mit möglichst einfachen Mitteln Ergänzungen und Anpassungen an die unterschiedlichen Lehrpläne oder Aktualisierungen vorzunehmen.

## *3. Aus- und Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern*

Die Nutzung der neuen Medien im Chemieunterricht sollte an allen Hochschulen, an denen Chemielehrerinnen und Chemielehrer ausgebildet werden, ein integraler Bestandteil der Ausbildung sein. Die Diskussion um ein Kerncurriculum Fachdidaktik aufgreifend, sollten Veranstaltungen zur Nutzung von Medien und insbesondere der Neuen Medien im Chemieunterricht in einem solchen Kerncurriculum verankert werden. Fachunabhängige Kurse, die Kompetenzen im Umgang etwa mit Office-Anwendungen vermitteln, sind sicherlich für angehende Lehrerinnen und Lehrer hilfreich. Kompetenzen für einen sinnvollen Einsatz der Neuen Medien im fachbezogenen Unterricht werden hieraus aber nur schwerlich abzuleiten sein.

Die Ausbildung in diesem Bereich sollte sowohl über grundlegende Theorien und allgemeine Erkenntnisse des Lernens und Lehrens mit den Neuen Medien informieren, aber auch mit den vorhandenen Unterrichtsvorschlägen in diesem Bereich vertraut machen. Dies schließt unbedingt Kompetenzen in der kritischen Bewertung und Auswahl angebotener Medien und Unterrichtsvorschläge ein, aber auch die unterrichtsmethodischen Aspekte ihres Einsatzes.

Gerade im zweiten Bereich sehen wir großen Handlungsbedarf auch für die Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern. Von diesen hat ein nicht unerheblicher Teil die Ausbildung absolviert, bevor die Neuen Medien ein breites Thema für den Chemieunterricht geworden sind. Durch die sich ständig und

rasch verändernden technischen Möglichkeiten wird diese Einschätzung in einer ähnlichen Art auch zukünftig immer wieder zu treffen sein. Die Forschung, wie auch die Praxis, zeigt aber, dass ein Einsatz der Neuen Medien nur unterstützend für das Lernen ist, wenn er adäquat gewählt, sinnvoll und methodisch begründet eingebunden ist. Kontinuierliche und fachbezogene Fortbildung ist in diesem Bereich damit notwendig, vielleicht notwendiger als in anderen Bereichen des Fachunterrichts, die nicht einer solchen kontinuierlichen Wandlung unterliegen. Dass dieses Problem bereits erkannt ist, zeigen vielfältige Angebote zum Thema „Computer im Chemieunterricht“, die bereits von den Chemielehrerfortbildungszentren der GDCh angeboten werden.<sup>81</sup> Diese können zur Verbreitung erprobter Unterrichtsmaterialien oder im WWW verfügbarer Angebote beitragen, sollten die Schulträger aber nicht von der Pflicht entbinden hier stärker und flächendeckend aktiv zu werden.

Aber daneben gibt es auch eine eher handwerkliche Seite. Die steigende Leistungsfähigkeit von Office-Anwendungen (Präsentationsprogramme, Tabellenkalkulationen) ermöglicht zunehmend die Realisierung von interaktiven, einfachen Tutorien und Übungsprogrammen mit alltäglichen Bedienfertigkeiten, also ohne Spezialkenntnisse einer Programmiersprache. Dadurch wird die einzelne Lehrerin bzw. der einzelne Lehrer in die Lage versetzt, existierende Programme im Sinne seiner didaktischen Intention abzuändern und mit Beispielen und Übungsaufgaben zu ergänzen. Dies bedarf aber einer entsprechenden Schulung, etwa in der Gestaltung von HTML-Dokumenten, daneben aber auch eines zumindest grundlegenden Wissens der Mediengestaltung. Auch dies sollte verstärkt und fachbezogen in der Aus- und Fortbildung aufgegriffen werden.

## Literatur

- Barnea, N., & Dori, Y. J. (1999). High-School chemistry students' performance and gender Differences in a computerized molecular Modelling learning environment. *J. Sci. Educ. Techn.* 8, 257-271.
- Barnickel, G. (1995). Molecular Modelling – von der Theorie zur Wirklichkeit. *ChiuZ* 29, 176-185.
- Bader, H. J., & Horn, S. (2003). Ökobilanzen – Grundlagen der praktischen Umsetzung im Chemieunterricht. *PdN-ChiS* 52, Nr. 8, 20-28.
- Bauer, W. (1997). Multimedia in der Schule. In L. J. Klimsa & P. Issing (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim, 397-398.
- Boll, P. (1997). Grafische Modellbildungswerkzeuge im Physikunterricht. *Comp. Unterr.* Nr. 26, 43-48.
- Brachtl, K. (1999). Science Across the World - neue Impulse für den Naturwissenschaftlichen Unterricht. *Plus Lucis* 1/1999, 24-25, <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/991/a7.pdf>.
- Demuth, R., & Nick, S. (1999). Was können die neuen Medien für den Chemieunterricht bieten?. *PdN-Ch* 48, Nr. 6, 2-6.
- Draschoff, S. (2000). *Lernen am Computer durch Konfliktindizierung*. Münster.
- Duvinage, B. (Hrsg.) (1995). Themenheft „Computer im Chemieunterricht“. *PdN-Ch* 44, Nr. 4.
- Ehmke, T., & Wünsch, T. (2003). CoLab - Eine Online-Lernplattform für kollaboratives und kooperatives Lernen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. *Mathematikunterr.*, 49, Nr. 4, 71-77.
- Eilks, I., Krilla, B., Ralle, B., Schmitz, R.-P., & Tausch, M. W. (2001). Lernsoftware - Lernen mit den neuen Medien als eine Bereicherung des Chemieunterrichts? *PdN-ChiS* 50, Nr. 7, 2-4.
- Eilks, I., & Möllering, J. (2001). Die Lernumgebung ‚Teilchen‘ - ein multimediales didaktisches Netzwerk. *PdN-ChiS* 50, Nr. 7, 28-31.
- Eilks, I., & Bester, K. (2003). Noch immer geht zu viel Müll „den Bach runter“ - Zur Behandlung von Mülltrennung und Abwasserklärung in der Jahrgangsstufe 7. *PdN-ChiS* 52, Nr.8, 37-43.
- Eilks, I., & Ralle, B. (2002). Partizipative fachdidaktische Aktionsforschung - ein Modell für eine praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *Chemkon* 9, 13-18.
- Eilks, I., & Ralle, B. (2003). Forschungs- und Handlungsperspektiven für die Chemiedidaktik am Beginn des 21. Jahrhunderts – Ein Beitrag zur Diskussion über das Selbstverständnis der Chemiedidaktik als wissenschaftliche Disziplin. *Chemkon* 9, 171-175.
- Eilks, I., & Witteck, T. (2003). Internetrecherche zur Müll- und Wasseraufbereitung - ein Kugellager. RAABits Chemie Sek. I, 5. Ergänzungswerk, Stuttgart, Kap. I/A 3.
- Fischer, S. (1998). Multimedia Teleschool: Fernlernen mit neuen Technologien in der Praxis. In L. J. Klimsa & P. Issing (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim, 352-363.
- Franik, R. (Hrsg.) (1985). Themenheft „Computer im Chemieunterricht“. *PdN-Che*, 34, Nr. 5.
- Frommann, U. (2003) Leitfaden „Lautes Denken“. [http://134.169.89.150/afh/online/publikationen/Leitfaden\\_Lautes\\_Denken.pdf](http://134.169.89.150/afh/online/publikationen/Leitfaden_Lautes_Denken.pdf) (01.11.2004).
- Garratt, J. (1997). Virtual investigations: Ways to accelerate experience. *Univ. Chem. Educ.* 1, 19-27.
- GDCh-FGCU (1996). *Empfehlungen und Informationen zum Computereinsatz im Chemieunterricht*. Frankfurt.
- Gerdes, H. (1997). *Lernen mit Text und Hypertext*. Lengerich.
- GLOBE-GERMANY-Programm, Das (1997). *Comp. Unterr.*, Nr. 25, 42.
- Gröger, M., Münker, U., Gebhardt, I., Rohde, K., Schmidt, M., & Schmitz, J. (2001). Eine Internet-Unterrichtsreihe für den Chemieunterricht zum Thema „Brennstoffe“. *MNU* 54 (1), 38-42.
- Hannemann, D., & Dreyer, M. (2001). Virtuelle Lernräume im Internet. *MNU* 54 (1), 14-17.
- Hense, J., Mandl, H., & Gräsel, C. (2001). Problemorientiertes Lernen – Warum der Unterricht mehr sein muss als Unterricht mit neuen Medien. *Comp. Unterr.* 44, 6-11.
- Hesse, F. (1997) Netzgestützter Wissenserwerb im Wissenschaftskontext. in: H. Simon (Hrsg.): *Virtueller Campus – Forschung und Entwicklung für neues Lehren und Lernen*. Münster., 15-25.
- Hollstein, A. (2002). *Computer unterstütztes Lernen auf der Basis konstruktivistischer Lerntheorien am Beispiel der Einführung in das Kugelteilchenmodell*. Dissertation Universität Essen, [www.miless.uni-essen.de](http://www.miless.uni-essen.de).
- Hoyer, H. (2003). Die FernUniversität auf dem Weg zur Virtuellen Universität. <http://www.fernuni-hagen.de/FeU/lvu.html> (21.12.2003)
- Kammerl, R. (2000). *Computer unterstütztes Lernen*. München.
- Klein, M., & Portscheller, P. (1997). Neue Medien zur Modellierung und Simulation dynamischer Systeme. *Comp. Unterr.* Nr. 26, 47-48.
- Klimsa, L. J. (1997). Multimedia aus psychologischer und didaktischer Sicht. in L. J. Klimsa & P. Issing (Hrsg.) *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim, 7-24.
- Klimsa, L. J., & Issing, P. (Hrsg.) (1997). *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim.

<sup>81</sup> [www.chemielehrerfortbildung.de](http://www.chemielehrerfortbildung.de)

- Krilla, B., Ralle, B., & Möllencamp, H. (1998). Ermittlung der Reaktionsgeschwindigkeit im Zustand des chemischen Gleichgewichts. *MNU* 51, 492-495
- Krilla, B., & Ralle, B. (2001). Eine Simulation zum chemischen Gleichgewicht - eingebettet in einen kontextorientierten Unterrichtsengang. *PdN-ChiS* 50, Nr. 7, 32-35.
- Kummer, T., & Sumfleth, E. (2002). Einführung in das Thema Seifen & Waschmittel – Eine auch für Anfänger geeignete vernetzte Lernumgebung. *Comp. Unterr.* 12, Nr. 46, 58-60.
- Lagana, A., & Riganelli, A. (2003). *Virtual reality, web and grid technologies for e-learning in Chemistry*. Perugia, 69-76.
- Leutner, D. (1997). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. In L. J. Klimsa & P. Issing (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim, 139-147.
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for Learning from static and dynamic visuals. *Learn. Instr.* 13, 177-189.
- Lewis, S. (2003). Enhancing teaching and learning of science through use of ICT: methods and materials. *School Sci. Rev.* Nr. 84(309), 41-51.
- Lutz, G. (Hrsg.) (1995). Themenheft „Computer im Chemieunterricht“. *NiU-Ch* 6, Nr. 28.
- MacFarlane, A., & Sakellariou, S. (2002). The role of ICT in science education. *Cambr. J. Educ.* 32, 219-232.
- Mandl, H., Gruber, H., & Renkl, A. (2002). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: L. J. Issing & P. Klimsa: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*. Weinheim, 167 -178.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learn. Instr.* 13, 125-140.
- Mayer, R. E., Heiser, L., & Lonn, S. (2001). When presenting more material results in less understanding. *J. Educ. Psych.* 93, 187-198.
- Mayer, R. E., Mautone, P., & Prothero, W. (2002). Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game. *J. Educ. Psych.* 94, 171-185.
- MNU (1985). Empfehlungen und Überlegungen zur Gestaltung von Lehrplänen für den Computereinsatz im Unterricht an allgemeinbildenden Schulen. *MNU* 38, 229-239.
- MNU (Hrsg.) (1998). Themenheft „Multimedia“. *MNU* 51, Nr. 6.
- MNU (2001). Themenheft „Unterricht und Internet“. *MNU* 54, Nr. 1.
- MNU (2002). Empfehlungen zum Computereinsatz im mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht an allgemeinbildenden Schulen. *MNU* 55, Nr. 5, I-XII.
- Möllencamp, H., & Matuschek, C. (1998). Das Internet im Chemieunterricht - Erfahrungen mit einem Chemie-Leistungskurs am Beispiel des Themas ‚Farbe und Farbstoffe‘. *MNU* 51, 484-491.
- Möllencamp, H., Wolf, G., & Bader, H. J. (2002). Eine fächerverbindende multimediale Lernumgebung zum Thema HIV für das Fach Chemie. *Chemkon* 9, 189-193.
- Nick, S., & Andresen, J. (2001). ChemNet – Ein Hypermedia Framework. *PdN-ChiS* 50, Nr. 7, 5-7.
- Nick, S., Schanze, S., & Lensment, L. (2000) Chemische Lehr- und Lernprogramme - Eine kritische Bestandsaufnahme. *PdN-ChiS* 49, Nr. 5, 25-27; Nr. 6, 44-46; Nr. 7, 39-41.
- Nick, S., Schanze, S., Lensment, L., Rabe, K., Andresen, J., Demuth, R., & Bensch, W. (2001). ChemNet - Erste Erfahrungen mit der Chemievorlesung im Internet. *MNU* 54 (1), 31-37.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations. A dual coding approach*. New York.
- Papadopoulos, N., & Limniou, M. (2003). Simulated experiments for laboratory training. In A. Lagana, A. Riganelli: *Virtual reality, web and grid technologies for e-learning in Chemistry*. Perugia, 69-76.
- Parkinson, J., & Hollamby, P. (2003). PowerPoint: just another slide show or a useful learning aid. *Sch. Sci. Rev.* Nr. 84(309), 61-68.
- Pickersgill, D. (2003). Effective use of the internet in science teaching. *Sch. Sci. Rev.* Nr. 84(309), 77-86.
- Pietzner, V. (2002) Lernkontrolle im 'Vernetzten Studium - Chemie'; Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes am Beispiel des Kapitels 'Addition von Halogenen an Doppelbindungen'. Dissertation Braunschweig <http://opus.tu-bs.de/opus/volltexte/2002/343/>
- Pietzner, V., & Herges, R. (2003). Computer unterstützte Lernkontrollen in der Chemie. *MNU* 56, 356-364.
- Reiners, C. S., & Saborowski, J. (2001). Virtuelle Welten im Chemieunterricht. *PdN-ChiS* 50, Nr. 7, 9-12.
- Rieber, R. P. (1990). Using computer animated graphics in science instruction with children. *J. Educ. Psych.* 82, 135-140.
- Robinson, W. R. (2000). A view of the science education research literature: Scientific discovery learning with computer simulations. *J. Chem. Educ.* 77, 17-18.
- Rowcliffe, S. (2003). Using PowerPoint effectively in science education: lessons from research and guidance for the classroom. *School Sci. Rev.* Nr. 84(309), 69-75.
- Saborowski, J. (2000). *Computervisualisierungen und Modelldenken. Konzeptionelle Grundlagen und fachdidaktische Konsequenzen für den Chemieunterricht*. Dissertation Köln.
- Sacher, W. (1998). Multimedia und Computersimulation im Unterricht. *MNU* 51, 452-458.
- Schanze, S. (2002). Wissenserwerb mithilfe der internetbasierten Lernumgebung ChemNet - Eine empirische Untersuchung zum Lernen mit linearen und vernetzten Hypertexten. Dissertation Kiel, [http://e-diss.uni-kiel.de/diss\\_535/](http://e-diss.uni-kiel.de/diss_535/).
- Schanze, S. (2003). Do computer-based three-dimensional simulations help chemistry beginners to understand chemical structures? A preliminary study. Paper presented at the ESERA 2003. Noordwijkerhout, August 19-23, 2003.
- Schanze, S., Nick, S., & Urhahne, D. (2003) Computervisualisierung als Lernförderndes Mittel in der Chemieausbildung. In A. Pitton (Hrsg.), Jahrestagung der GDGP in Flensburg 2002, Münster 191-193.
- Schecker, H. P. (1998) Integration of experimenting and Modelling by advanced educational technology: Examples from nuclear physics. In: B. J. Fraser & K. G. Tobin: *International Handbook of Science Teaching*. Dordrecht, 383-398.
- Schmitz, R.-P., & Tausch, M. W. (2001). Ein Hypermedia-Lernnetz - Natriumchlorid und Ionenbindung. *PdN-ChiS* 50, Nr. 7, 24-28.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representations. *Learn. Instr.* 13, 141-156.
- Schnotz, W., & Lowe, R. (Hrsg.) (2003a). Theme Issue: External and internal representations in multimedia learning. *Learn. Instr.* 13, 117-252.
- Schnotz, W., & Lowe, R. (2003b) External and internal representations in multimedia learning. *Learn. Instr.* 13, 117-123.
- Songer, N. B. (1998). Can technology bring students closer together. In: B. J. Fraser & K. G. Tobin: *International Handbook of Science Teaching*. Dordrecht, 333-347.
- Spitulnik, M. W., Stratford, S., Krajcik, J., & Soloway, E. (1998) Using technology to support students' artefact construction in science. In: B. J. Fraser & K. G. Tobin: *International Handbook of Science Teaching*. Dordrecht, 363-382.
- Stachelscheid, K., Klenzendorf, E., & Sprünken, F. (2001). Lernen mit Multimedia – Eine Untersuchung zum Thema ‚Ozon der Troposphäre‘. *Chem. Sch. (Salzbg.)* 16, Nr. 3, 5-9.

- Sumfleth, E., & Hollstein, A. (1999). Entwicklung eines Simulationsprogramms für den Themenbereich Kugeltelchenmodell. *NiU-Ch* 10, Nr. 53, 246-249.
- Sumfleth, E., & Kummer, T. (2001). Lernen mit Hypertexten zur Einführung in einen Themenbereich – Beispiel Seife“. *ZfDN* 7, 147-165.
- Tausch, M. W. (Hrsg.) (2001). Themenheft „Lernsoftware“. *PdN-ChiS* 50, Nr. 7
- Tergan, S. O. (1997). Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme. In L. J. Klimsa & P. Issing (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim, 122-137.
- Terhart, E. (2003). Constructivism and teaching: A new paradigm in general didactics?. *J. Curr. Stud.* 25, 25-44.
- 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. *ZfDN* 6, 157-186.
- Urhahne, D., & Schanze, S. (2003). Wie lässt sich das Lernen mit Hypertext effektiver gestalten? Empirischer Vergleich einer linearen und einer netzwerkartigen hypermedialen Lernumgebung. *Unterrichtswiss.* 4 (im Druck).
- Wagner, W. (2003). Isomerie lernen mit MOLiS. *PdN-ChiS* 50, Nr. 7, 21-23.
- Wederhoven, B. (2003). Geführt Internetrecherche am Beispiel Gentechnik. In S. Bickel-Sandkötter (Hrsg.): *Computer, Internet & Co. Im Biologieunterricht*. Berlin, 101-117.
- Weidemann, B. (1997). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L. J. Klimsa & P. Issing (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim, 65-84.
- Wessner, M., Pfister, H.R., & Miao, Y. (2003) Umgebungen für Computer unterstütztes kooperatives Lernen in der Schule. [www.informatica-didactica.de/InformaticaDidactica/Issue1/Wessner](http://www.informatica-didactica.de/InformaticaDidactica/Issue1/Wessner) (15.12.2003).
- Williamson, V. M., & Abraham M. R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *J. Res. Sci. Teach.* 32, 521-534.
- Witteck, T., & Eilks, I. (2004). Ein Kugellager entlang des Internets zum Thema Erdöl. RAABits Chemie Sek. I, Stuttgart, im Druck.
- Witteck, T., Leerhoff, G., Most, B. & Eilks, I. (2004). "Sucht das mal im Internet und erklärt es euch dann gegenseitig – zu Internetrecherche und Kugellager im Chemieunterricht. *NiU-Ch* im Druck.
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. *J. Res. Sci. Teach.* 38, 821-842.
- Zimmer, G. (1998). Mit Multimedia vom Fernunterricht zum Offenen Fernlernen. In L. J. Klimsa & P. Issing (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim, 336-352.

#### Internetlinks zur Software:

- C-Design <http://www.ch.tum.de/oc1/EFontain/C-Design/> oder <http://www.chemie.tu-muenchen.de/oc1/EFontain/C-Design/>
- Chemicus <http://www.klett-verlag.de/heureka/lernadventure/chemicus/set01.htm>
- ChemOffice <http://products.camsoft.com/>
- ChemSketch <http://www.acdlabs.com/>
- ChemWindow <http://www.chemwindow.com/>
- Chime <http://www.mdli.com>
- CoLab Collaborative Laboratories <http://colab.edte.utwente.nl>
- CorelDraw, Corel Photo-Paint <http://www.corel.com>
- DS Viewer pro [http://www.accelrys.com/dstudio/ds\\_viewer/](http://www.accelrys.com/dstudio/ds_viewer/)
- Dynasis <http://www.hupfeld-hamm.de/>
- GlassyChemistry <http://www.compuchem.com/glassy2000.htm>
- Inspiration <http://www.strategictransitions.com/>
- Isis-Draw <http://www.mdli.com>
- Lotus Learningspace bzw. Lotus Virtual Classroom <http://www.lotus.com/products/learningspace.nsf/wdocs/homepage.html>
- Macromedia Flash <http://www.macromedia.com>
- Mind Manager <http://www.mindjet.com>
- MS Word, Excel, PowerPoint <http://www.microsoft.com>
- OpenOffice Writer, OpenOffice Calc, OpenOffice Impress <http://www.openoffice.org>
- Powersim <http://www.powersim.com>
- RasMol <http://www.openrasmol.org/>
- StarWriter, StarCalc, StarImpress <http://www.staroffice.com>
- Stella <http://www.cognitus.co.uk/>
- UltraMol <http://www.compuchem.com/ultra1.htm>
- Virtual Laboratory <http://ir.chem.cmu.edu/irproject/applets/virtuallab/>
- Vital <http://ipsi.gmd.de/concert/software/vital.html>
- WebCT <http://www.webct.com>

#### Die Autoren:

- Prof. Dr. Ingo Eilks ist Professor für Didaktik der Chemie an der Universität Bremen.
- Prof. Dr. Bolko Flintjer ist Professor für Chemie und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule Weingarten.
- Dr. Bodo Krilla ist Studienreferendar für die Fächer Chemie und Mathematik am Studienseminar Stuttgart.
- StR Dr. Hartwig Möllencamp unterrichtet die Fächer Chemie und Kunst am Gymnasium Albert-Einstein-Schule in Schwalbach a. Ts.
- Akad. Oberrat Walter Wagner leitet die Abteilung für Didaktik der Chemie an der Universität Bayreuth.
- Dr. Verena Pietzner ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung für Didaktik der Chemie an der Technischen Universität Braunschweig.
- JProf. Dr. Sascha Schanze ist Juniorprofessor in der Abteilung Chemie des Leibnitz-Instituts für Didaktik der Naturwissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- RL Torsten Witteck ist Lehrer an der Brackweder Realschule Bielefeld.