

Lern- und Problemlöseaufgaben in multimedialer Umgebung

Karsten Rincke und René Matzdorf

<http://www.physik.uni-kassel.de>

Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung

Der Beitrag stellt die Konzeption eines Projekts vor, in dem die Eignung und Wirksamkeit von Aufgaben in multimedialen Lernumgebungen untersucht werden sollen. Die Aufgaben sind an Studierende der Physik (Lehramt, Bachelor, Nanostrukturwissenschaften) in ihren ersten beiden Fachsemestern gerichtet und werden unter Verwendung eigens hergestellter Simulationsprogramme gelöst. Die Aufgaben werden dabei zunächst in einer Eigenschaft systematisch variiert: Angelehnt u.a. an Wirth, Künsting, Leutner (2009) werden Lern- von Problemlöseaufgaben unterschieden. Während Aufgaben des ersten Typs auf direktem Wege eine Veränderung in der kognitiven Struktur des Bearbeitenden intendieren (merke dir, erkläre), zielen Aufgaben des zweiten Typs darauf, dass der Bearbeitende ein Problem löst, d.h. ausgehend von einem Ausgangszustand einen Zielzustand mit bestimmten Eigenschaften erzeugt. Hier findet die Veränderung zunächst in der (äußeren) Umwelt des Bearbeitenden statt; die Änderung seiner inneren kognitiven Struktur wird nicht explizit verlangt. Der Beitrag berichtet Erfahrungen aus einer Vorstudie und stellt Aufgaben und Programme beispielhaft vor.

1. Die Besonderheit multimedialer Lernumgebungen

Multimedial¹ gestaltete Lernumgebungen sind in Schule und Hochschule zum weitgehend selbstverständlichen Element der Instruktion geworden. Während in der Frühphase nach Einführung des PC die Diskussion um seine Einsatzmöglichkeiten und die Erwartungen an den Lernerfolg von großer Euphorie getragen war, kehrt sie seit einigen Jahren auf den Boden nüchterner Analyse des tatsächlich Erreich- und Erwartbaren zurück: „In der bisherigen Instruktionforschung hat sich die Frage, ob ein bestimmtes technisches Medium lernwirksamer ist als ein anderes, letztlich als falsch gestellt und damit unfruchtbar erwiesen. Dementsprechend wenig sinnvoll ist es auch, nach der Lernwirksamkeit von Multimedia zu fragen, denn mit Multimedia lassen sich ebenso effektive wie ineffektive Instruktionen realisieren wie mit traditionellen Printmedien. [...] Entscheidend für den Erfolg multimedial gestützten Lernens ist [...] ob der Lernende [...] zum Vollzug bestimmter lernrelevanter kognitiver Prozesse angeregt wird“ [2, S.314]. Der Einsatz von Computern im Bildungsbereich kann also nur dann verlässlich zu einer qualitativen Steigerung beitragen, wenn dieser Einsatz instruktionspsychologisch überzeugenden und empirisch abgesicherten Gestaltungsideen folgt. Die Herausforderung ist auf

den ersten Blick damit ähnlich der, die sich stellt, wenn etwa „traditionelle Printmedien“ lernwirksam gestaltet und eingesetzt werden sollen. Auf den zweiten Blick wird jedoch deutlich, dass Multimedia kraft ihrer sehr viel breiteren Variationsmöglichkeiten Herausforderungen an die Designer multimedialer Lernumgebungen und ihre Adressaten stellen, die traditionellen Medien fremd sind: Multimedia auf dem PC sprechen nicht nur Sinneskanäle in Kombinationen an, wie es bei klassischen Medien selten vorkommt, sondern sie interagieren auch mit dem Adressaten: Ein Simulationsprogramm etwa, das einen physikalischen Zusammenhang anschaulich machen möchte und mit Einstellungen gestartet wird, die von einem Studierenden gewählt wurden, generiert Informationen, die vom Programmautor nicht im Detail vorhergesagt werden können. Im Gegensatz zur Arbeit mit einem Lehrbuch muss die für das Lernen relevante Information hier unter Umständen also erst von Nutzerinnen und Nutzern mit Hilfe des Programms erzeugt und dann als relevant identifiziert werden, bevor sie in das eigene kognitive System integriert werden kann [3]. Im folgenden Abschnitt werden einige grundlegende Merkmale multimedialer Informationsdarbietungen näher umrissen, um dann die Leitlinien darstellen zu können, denen wir bei den von uns entwickelten Computerprogrammen gefolgt sind.

¹Unter Multimedia versteht man elektronische Informationsdarbietungen in Form geschriebener oder gesprochener Texte, statischer oder bewegter Bilder und Grafiken [1].

2. Lernen mit Multimedia

Die Gestaltungsmöglichkeiten multimedialer Lernumgebungen sind vielfältig. Eine grundlegende Unterscheidung kann danach erfolgen, ob eine Information symbolisch oder ikonisch repräsentiert wird. Ein Text entspräche einer symbolischen Form, da das Zeichen und das Bezeichnete erst durch eine Interpretationsleistung durch den Betrachter zu einander in Beziehung gesetzt werden. Solche Formen der Repräsentation werden auch *extrinsisch* genannt [4]. Ikonische, also bildhafte Darstellungen, zeigen hingegen eine mehr oder weniger ausgeprägte Strukturähnlichkeit mit dem dargestellten Objekt, die Beziehung zwischen Bild und Gegenstand wird im Bild mitgeteilt, daher spricht man hier von intrinsischen Repräsentationen. Die Strukturähnlichkeit zwischen ikonischer Repräsentation eines Objekts und dem Objekt selbst kann unterschiedlich ausgeprägt sein; eine realitätsnahe Darstellung wird naheliegenderweise als konkret bezeichnet, abstrakt heißen z. B. Diagramme. Schnotz (2001, [2]) stellt ein Modell multimedialen Lernens vor, das auf die multimodale Gedächtnistheorie von Engelkamp (1994, [5]) bezogen ist. In Schnotz' Modell wird die Verarbeitung sowohl symbolischer (z.B. verbal) als auch ikonischer Information beschrieben. Die Verarbeitung eines Informationsangebots, das in einem multimedialen Lernangebot auf beide Weisen gleichzeitig repräsentiert wird, ist dabei durch eine Konkurrenz zwischen der Verarbeitung symbolischer und ikonischer Repräsentation gekennzeichnet, da die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses beschränkt ist. Es erfolgt eine Ressourcenzuweisung, die die Verarbeitung eines oder beider Repräsentationsformen entsprechend einschränkt [6, 7]. Das Zusammenspiel von Bild und Text ist offenbar ein kritischer Parameter für die Lernwirksamkeit multimedialer Lernumgebungen. Untersuchungen im Bereich der Physikdidaktik zeigen, dass dabei auch die Frage Bedeutung hat, ob der Text begleitend zur ikonischen Repräsentation gesprochen oder nur zur Lektüre vorliegt [8].

Die von uns verwendeten Programme werden im Übungsbetrieb eingesetzt, der die einführende Vorlesung Experimentalphysik für Studierende der Physik, Nanostrukturwissenschaft und Lehramt an Haupt-, Realschulen und Gymnasien. Die Studierenden erhalten Aufgaben in Papierform und dokumentieren ihre Ergebnisse ebenfalls in Papierform. Um die Anzahl inter-

agierender Parameter bei der Arbeit mit den Programmen zu beschränken, wird die Text-Bild-Wechselwirkung innerhalb der multimedialen Lernumgebung so weit wie möglich eingeschränkt. Die Programme selbst arbeiten daher – abgesehen von der Eingabe von Parametern in Textform – nahezu ausschließlich mit ikonischen Repräsentationen.

3. Aufgaben

Aufgaben sind *der* klassische Bestandteil von Lernumgebungen. Aufgaben zu einem einzigen fachlichen Zusammenhang können in nahezu unübersehbarer Vielfalt formuliert werden und dabei unterschiedlichste Wirkungen intendieren (vgl. [9]). Vermutlich ist die Problematik mangelnder Übersichtlichkeit bereits ein Grund dafür, weshalb die Forschung zur Lernwirksamkeit von Aufgaben bisher wenig vergleichbare und übersichtliche Ergebnisse erzielt hat. Bezieht man experimentelle Aufgaben im Physikunterricht mit ein, dann eröffnet sich ein Feld großformatiger Streitfragen etwa nach der Rolle von Alltagsanwendungen für die Lernwirksamkeit, ebenso ihre Authentizität, Problemorientiertheit, Offenheit oder Selbstständigkeit in der Art ihrer Bearbeitung (vgl. z. B. [10, 11, 12]). Charakteristisch ist die Widersprüchlichkeit der berichteten Ergebnisse: Während in einer Arbeit die Problemorientiertheit und Offenheit von Aufgaben als lernförderlich identifiziert werden, werden dieselben Eigenschaften in anderen Arbeiten als überfordernd und damit lernhinderlich geißelt. Eine Entscheidung über die so inhomogene Forschungslage fällt deshalb schwer, weil Eigenschaften wie „*Offenheit*“ oder „*Problemorientiertheit*“ in aller Regel nicht scharf genug spezifiziert werden. Offenheit kann sich auf die Mannigfaltigkeit der möglichen Lösungen einer Aufgabe ebenso beziehen wie auf die Methoden, die zur Erlangung einer einzigen Lösung zur Verfügung stehen. Schon diese beiden unterschiedlichen Operationalisierungen machen deutlich, dass „*Offenheit*“ nicht je dieselbe Wirkung beim Lernen zeitigen muss, so dass die Unübersichtlichkeit der Forschungslage nicht überrascht. Der Begriff der „*Problemorientiertheit*“ wird in der Literatur ebenfalls in einem breiten Bedeutungsfeld verwendet, das von Anwendungs- bis „*Knobelaufgabe*“ reicht. Anders als viele anderen Arbeiten operationalisieren Wirth, Künsting und Leutner (2009, [13]) dagegen sehr genau, welche Aufgabenmerkmale unterschieden werden. Sie unterscheiden die Ziel-

spezifität auf der einen und die Zielqualität (Problemorientiertheit versus Lernorientiertheit) auf der anderen Seite. Sie unterscheiden dazu, ob eine Aufgabe einen Lerner dazu auffordert, eine Manipulation in seiner Umgebung vorzunehmen (Problemlösung) oder in seiner eigenen kognitiven Struktur (Lernen). Die Spezifität kennzeichnet das Ausmaß, in dem die Eigenschaften der erwünschten Lösung definiert sind. Sie kommen in ihren Untersuchungen zu dem Schluss, dass unspezifische Problemlöseaufgaben sowie spezifische oder unspezifische Lernaufgaben als besonders lernförderlich anzusehen seien. Alle drei Typen erzielen in ihren Untersuchungen eine deutlich höhere Lernwirksamkeit als spezifische Problemlöseaufgaben. Wir knüpfen in unserem Vorhaben an diese Arbeiten an, wobei der Rahmen für unsere Untersuchung zwei wesentliche Unterschiede aufweist: Während in der eben beschriebenen Arbeit sich Schülerinnen und Schüler mit Hilfe eines Simulationsprogramms neue Zusammenhänge erarbeiten, dienen die Übungen begleitend zur Vorlesung der Festigung und Vertiefung. Die Vorwissensbasen sind also sehr unterschiedlich. Weiterhin war die Arbeit der Schülerinnen und Schüler auf Fragen nach den Bedingungen für das Schwimmen oder Sinken von Gegenständen in Wasser beschränkt. Im Unterschied dazu arbeiten die Studierenden in unserem Vorhaben mit dem gesamten physikalischen Themenspektrum des ersten Studienjahres.

4. Aufgabenbeispiel

In unserer Untersuchung werden die Eigenschaften der Lernziel- oder Problemlösezielorientiertheit in ähnlicher Weise operationalisiert wie in den Arbeiten von Wirth, Künsting und Leutner ([13, 14]). Aus untersuchungsökonomischen Gründen beschränken wir uns zunächst auf einen Vergleich der Wirksamkeiten spezifischer Problemlöseaufgaben mit spezifischen Lernzielaufgaben, da hier mit Blick auf die Vorarbeiten die größten Effekte und Unterschiede zu erwarten sind ([14], S. 142). Als Beispiel seien zwei Aufgaben betrachtet, die sich mit einem getriebenen harmonischen Federpendel befassen. Das Programm, mit dem die Studierenden arbeiten, ermöglicht es, Werte für den Startpunkt und die Startgeschwindigkeit der Masse zu wählen, außerdem die Größe der Masse, die Federkonstante, Dämpfung und Amplitude sowie Frequenz einer Anregung. Bei beiden Aufgabentypen wird je derselbe Vorspann gegeben: „Wir betrachten ein Pendel mit der Federkonstanten $D = 400 \text{ N/m}$,

an das eine Masse von $m = 1 \text{ kg}$ gehängt ist, und das am Ort $x = 1 \text{ m}$ mit der Geschwindigkeit $v = 0 \text{ m/s}$ startet. Es gibt eine äußere Anregung mit der Amplitude $0,2 \text{ m}$.“

Problemlösezielorientiert: „Ihre Aufgabe ist es, für die beiden folgenden Beispiele geeignete Werte für die Reibung und die Anregungsfrequenz zu finden, sodass die Simulation der hier gezeigten Bilder reproduziert.“ Den Probanden werden dazu die in Abbildung 1 gezeigten Bilder präsentiert.

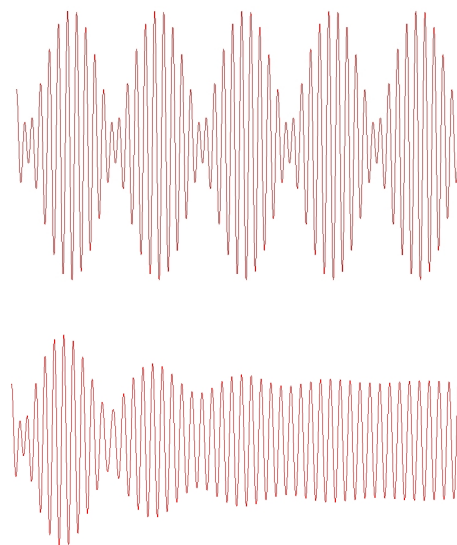


Abb.1: Diese Bilder sind Teil des in Abschnitt 4 gegebenen Aufgabenbeispiels.

Lernzielorientiert: „Wählen Sie für die Dämpfung den Wert 0 s^{-1} , für die Anregung $\omega = 18 \text{ s}^{-1}$. Wiederholen Sie die Simulation, nun aber mit einer Dämpfung von $0,3 \text{ s}^{-1}$. Vergleichen Sie die beiden Bilder und erläutern Sie, wie es zu den Unterschieden kommt.“

Während die an einer Problemlösung orientierte Aufgabe den Probanden dazu auffordert, einen bestimmten Zustand auf dem Bildschirm zu erzeugen, zielt die auf das Lernen gerichtete Aufgabe darauf, dass ein Zusammenhang erläutert wird. Dennoch heben beide Aufgaben auf dieselben fachlichen Relationen ab, und es werden auch dieselben Mittel zur Bearbeitung angeboten (Programm und Abb. 1 als Printmedium).

5. Untersuchungsmethode

Vor und nach dem Semester nahmen die Studierenden an einem Wissenstest mit zwölf single-choice Aufgaben teil. Jede Aufgabe bezog sich

thematisch auf genau eines der im Semester verwendeten Programme. Der Test lag in zwei zu einander parallelen Versionen vor. Das single-choice-Antwortformat wurde deshalb gewählt, um zu gewährleisten, dass die Testaufgaben keine prinzipielle Ähnlichkeit mit den problem- oder lernzielorientierten Übungsaufgaben hatten, da dort grundsätzlich andere Formen der Lösungsdokumentationen gefragt waren.

Während des Semesters wurden im Verlauf von zwölf Wochen zwölf Programme eingesetzt, die jeweils eine begrenzte Anzahl fachlicher Relationen aus den Gebieten der Mechanik, Elektrizität, Magnetismus und Wärme thematisierten. Die studentischen Lösungen der Übungsaufgaben wurden von Übungsleitern korrigiert und mit den Studierenden in Übungsgruppen besprochen. Dazu wurde die Gesamtheit der 80 Studierenden auf sechs Gruppen verteilt, die je abwechselnd drei Wochen lang Aufgaben der einen, dann Aufgaben der anderen Art bearbeiteten. Da in jeder der sechs Übungsgruppen simultan mit dem Aufgabentypus auch das Programm und das fachliche Thema der Auseinandersetzung gewechselt wurde, konnten die Testresultate danach aufgeschlüsselt werden, durch welchen Aufgabentypus ein jeder Studierender auf die betreffende Testaufgabe vorbereitet worden war.

Zusätzlich zu den Aufgabenlösungen waren die Studierenden aufgefordert, jeweils ihre Bearbeitungszeiten für die Aufgaben zu berichten. Auf diese Weise sollte gewährleistet werden, dass ein Vorteil in der Lernförderlichkeit nicht fälschlich auf den Aufgabentypus zurück geführt wird, obwohl er in Wirklichkeit zum Beispiel auf eine zeitaufwändigere Dokumentation und damit längere Lernzeit zurück geht.

6. Erste Ergebnisse

In den Ergebnissen des Vor- und Nachtests zeigt sich ein deutlicher Lernfortschritt. Während vor Beginn der Vorlesung nur etwa 20% der Items korrekt gelöst worden waren, waren es nach Abschluss des ersten Fachsemesters gut 50%. Der Typus der Aufgabe selbst zeigte keine Unterschiede, der Vorrang in der Lernförderlichkeit der lernzielorientierten Aufgaben vor den problemlösezielorientierten konnte also auf diese Weise nicht repliziert werden. Auch die Analyse der in den Übungsaufgaben erzielten Punkte zeigte keine signifikanten Unterschiede. Dabei stimmten die berichteten Bearbeitungszeiten in

der Gesamtschau überraschend genau überein (Unterschiede in der Zeit und ihrer Streuung lediglich in der Größenordnung von 1%).

Die Betrachtung einzelner Studierender und einzelner Themen zeigt jedoch zum Teil große Unterschiede, die erst bei der Mittelwertbildung über alle Individuen bzw. über alle Themen verschwinden. Dies weist darauf hin, dass die Lernwirksamkeit des Merkmals der Lern- oder Problemlösezielorientiertheit bedeutsam mit weiteren Aufgaben- und Personenmerkmalen interagiert. Für weitere Studien ist insbesondere geplant, die Bedeutung der Aufgabenschwierigkeit für die Lernwirksamkeit zu untersuchen.

7. Literatur

- [1] Issing, L. J. und P. Klimsa (Herausgeber): *Information und Lernen mit Multimedia*. Psychologie Verlags Union, Weinheim, 1997.
- [2] Schnotz, W.: *Wissenserwerb mit Multimedia*. Unterrichtswissenschaft, 29(4):292 – 318, 2001.
- [3] Wirth, J.: *Selbstregulation von Lernprozessen*. Waxmann, Münster, 2004.
- [4] Palmer, S. E.: *Fundamental aspects of cognitive representation*. In: Rosch, E. und B. B. Lloyd (Herausgeber): *Cognition and categorization*, Seiten 259 – 303. Erlbaum, Hillsdale, NJ., 1978.
- [5] Engelkamp, J. und H. Zimmer: *The Human Memory – A Multi-Modal Approach*. Hogrefe & Huber, Seattle, 1994.
- [6] Baddeley, A.: *Working Memory*. Science, 255:556 – 559, 1992.
- [7] Chandler, P. und J. Sweller: *Cognitive load theory and the format of instruction*. Cognition and Instruction, 8:293 – 332, 1991.
- [8] Starauschek, E.: *Der Einfluss von Textkohäsion und gegenständlichen externen piktoralen Repräsentationen auf die Verständlichkeit von Texten zum Physiklernen*. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 12:127 – 157, 2006.
- [9] Fischer, H. E. und D. Draxler: *Aufgaben und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht, 54(7):388 – 393, 2001.
- [10] Hofstein, A. und V. N. Lunetta: *The laboratory in Science Education: Foundations for*

- the Twenty-First Century*. Science Education, 88:28–54, 2004.
- [11] Kirschner, P. A., J. Sweller und R. E. Clark: *Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, and Inquiry-Based Teaching*. Educational Psychologist, 41(2):75–86, 2006.
- [12] Hopf, M.: *Problemorientierte Schülerexperimente*, Band 68. Logos, Berlin, 2007.
- [13] Wirth, J., J. Künsting und D. Leutner: *The impact of goal specificity and goal type on learning outcome and cognitive load*. Computers in Human Behavior, Seiten 300–305, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.004>, besucht: 30.09.2009.
- [14] Künsting, J.: *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2007.