

Eine Untersuchung zur Lernwirksamkeit einer multimedialen Repräsentationsform

Medienpsychologie als Grundlage einer effektiveren Vermittlung mathematischer Inhalte

von

Mutfried Hartmann, Nürnberg

Zusammenfassung: Aufbauend auf einer Analyse einschlägiger medienpsychologischer Untersuchungen wurde mit dem „Pop-up-Ikonogramm“ eine Konzeption zur multimedialen Aufbereitung speziell mathematischer Inhalte entwickelt und hinsichtlich ihrer Effektivität beim „Lernen von mathematischen Sätzen und Beweisen“ getestet. Im Vergleich zu klassischen Varianten der medialen Aufbereitung erweist sich das so genannte „Pop-up-Ikonogramm“ im Hinblick auf mathematische Reproduktionsleistungen als signifikant überlegen.

Summary: Based on an analysis of relevant high-profile psychological studies the „Pop-Up-Ikonogramm“ has been developed as a concept for a multi-media format of specific mathematical content. This concept was tested empirically in reference to its effectiveness for learning of mathematical propositions and proofs. Compared to the classical versions of media formats the „Pop-Up-Ikonogramm“ proves to be significantly superior in regard to the mathematical reproduction efficiency.

1 Einleitung

„Multimedia“ ist eines der Schlüsselwörter für die Aus- und Weiterbildung in unserer Gesellschaft geworden. Es werden große Hoffnungen von Gesellschaft und Politik in den Einsatz multimedial aufbereiteter Lehrgänge gesetzt. Entsprechend hohe Summen werden in die Erstellung multimedialer Lehr- und Lernumgebungen investiert. Allein die Bundesregierung hat im Rahmen des Förderprogramms „Neue Medien in der Bildung“¹ für die Haushaltsjahre 2000–2004 einen Betrag von 400 Millionen DM für die Entwicklung von Lehr- und Lernsoftware in den Bereichen Schule, Hochschule und berufliche Bildung bereitgestellt. Offensichtlich erwarten sich die Geldgeber einen Mehrwert durch die Computernutzung im Bereich des Lehrens und Lernens.

Können wir aber davon ausgehen, dass dieses Geld gut angelegt ist? Wellen der Euphorie gab es bereits in den sechziger Jahren mit dem „Programmierten Unter-

¹ <http://www.gmd.de/PT-NMB/>

richt“ und in den Siebzigern mit dem Aufkommen der Lehrfilme. Trotz teilweise beachtlicher Erfolge konnten sich diese Medien auf Dauer kaum durchsetzen und fristen heute in der Ausbildung eher ein Nischendasein wie etwa das „Telekolleg“ in Bayern. Darüber hinaus zeichnen Metaanalysen zur Effektivität multimedialer Lernumgebungen nach Hasebrook (1995) kein einheitliches Bild. Er merkt etwa zur Metaanalyse von Kulik und Kulik aus dem Jahre 1991 an: „Nur 100 der 248 in die Analyse aufgenommenen Studien konnten statistische signifikante Ergebnisse nachweisen“ (S. 95). Dennoch sieht auch Hasebrook bestärkt durch die Ergebnisse verschiedener Einzeluntersuchungen „beträchtliche Potenziale“ (S. 95) in Multimediaanwendungen. Immerhin bieten moderne Computer und Programme eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für die didaktische Aufbereitung von Lerninhalten. Insbesondere können Lerninhalte in modernen multimedialen Systemen nebeneinander in unterschiedlicher Weise dargeboten werden, neben Lehrtexten etwa auch zusätzliches Filmmaterial bzw. explorative Komponenten. Altbekannte Formen der Wissensvermittlung gewinnen so als Bausteine multimedialer Lernumgebungen wieder an Bedeutung. Der Vorteil einer facettenreichen, verschiedene mediale Darbietungsformen umfassenden Lernumgebung ist, dass einzelne Lerninhalte gezielt in einer für sie angemessenen Form präsentiert werden können.

Eine besondere Chance, Multimedia effektiv einzusetzen, könnte aber gerade auch darin bestehen, nicht alte Formen der Präsentation von Lerninhalten *nebeneinander* auf einer Plattform zu vereinen, sondern diese einzelnen Präsentationsformen zu einer eigenständigen neuen Präsentationsform zu verbinden.² Ziel dessen wäre es, auf Grundlage medienpsychologischer Erkenntnisse Nachteile einzelner Darbietungsformen auszuschalten und damit Synergieeffekte zu erzeugen. Im Rahmen des BMBF-Projekts „MaDiN“³ wurde in Nürnberg versucht, eine solche „integrierte Darbietungsform“ zu entwickeln. Das Ergebnis dieser Entwicklung ist das „Pop-up-Ikonogramm“, eine Darbietungsform, die Lehrfilm, Bildfolge, Lehrtext und Übersichtsbild in einem Produkt vereint.⁴

2 Medienpsychologische Erkenntnisse zur medialen Aufbereitung von Lerninhalten

Um ein lernwirksames multimediales Produkt zu schaffen, ist es sinnvoll, sich an allgemeinen medienpsychologischen Erkenntnissen und an Untersuchungsergeb-

² In einigen Definitionen wird dieser Verbund unterschiedlicher Medien bereits als wesentliches Merkmal von „Multimedia“ betrachtet (Schulmeister 1997, S. 20ff).

³ Das Projekt MaDiN (Mathematikdidaktik im Netz) beschäftigt sich mit der Entwicklung und Evaluation einer internetgestützten Lehr- Lernumgebung für das Lehramtsstudium Mathematik. Ziel dabei ist, die für die Lehrerausbildung zentralen Themen möglichst umfassend darzustellen.

⁴ Erste Ergebnisse wurden bereits in Hartmann (2002a, 2002b) vorgestellt.

nissen zu einzelnen medialen Darbietungsformen zu orientieren. In diesem Abschnitt werden exemplarisch einige einschlägige Untersuchungen zu ausgewählten Aspekten der medialen Aufbereitung von Lerninhalten kurz skizziert.

Themen dabei sind

- der Einsatz von Organizern und Übersichten,
- der Einsatz von Bildern bzw. Bildfolgen,
- die Wirksamkeit von Animationen,
- sowie unterschiedliche Kombinationen von Ton und Animation.

2.1 Advance Organizer

Als „advance organizer“ bezeichnet man eine einem Text vorangestellte Organisationshilfe, die ein höheres Abstraktionsniveau als der Text hat. Dies könnte z.B. bei einem Beweis die Erläuterung der Beweisidee im Rahmen einer heuristischen Analyse sein. „Hauptfunktion einer Organisationshilfe ist, die Kluft zu überbrücken zwischen dem, was der Lerner bereits weiß, und dem, was er wissen muss, bevor er erfolgreich die jeweilige Aufgabe lernen kann“ (Ausubel 1974, S. 160).

Die Lernwirksamkeit geeigneter „advance organizer“ gilt inzwischen als gesichert. Der Begriff „advance organizer“ hat allerdings in den letzten Jahrzehnten gewisse Veränderungen erfahren. „Führt man die ältere und neuere Forschung zu Vorstrukturierungen unter Optimierungsperspektive zusammen, so empfiehlt es sich, Advance Organizer zu konstruieren, die zwar auf einem höheren Abstraktionsniveau liegen als der Text selbst, gleichzeitig aber konkrete Konzepte und Analogien enthalten, die den Aufbau eines mentalen Modells ermöglichen“ (Christmann/Groeben 1999, S. 186). Für die Erläuterung der Beweisidee könnte dies z.B. einen konkreten Verweis auf eine ähnlich gelagerte, bereits bekannte Situation bedeuten.

2.2 Übersichtsdarstellungen

Neben Organizern stellen Übersichtsdarstellungen ein weiteres Hilfsmittel dar, mit dem die Lerneffizienz gesteigert werden kann. Übersichtsdarstellungen strukturieren größere bzw. komplexere Lerninhalte. Sie sollen dem Lerner helfen, ein mentales Modell dieser Strukturen aufzubauen. Dieses mentale Modell soll die Einsicht in den Lerninhalt erhöhen und die Abrufbarkeit des Wissen erleichtern. Bei einem Beweis könnte z.B. neben der zentralen Beweisidee auch die Beweisstruktur veranschaulicht werden. Abb. 1 zeigt, wie eine solche Übersicht zum Beweis des Sennensatzes aussehen könnte.

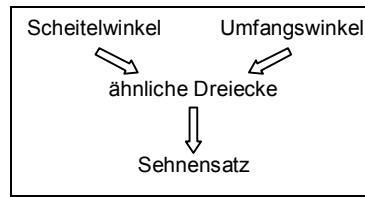


Abb. 1

2.3 Bilder bzw. Bildfolgen

In mehreren Einzeluntersuchungen prüften Meyer und Gallini (1990) den Einfluss unterschiedlicher Text-Bild-Kombinationen auf den Lernerfolg. Um diesen zu ermitteln, wurden vier Gruppen gebildet, die jeweils mit einer der folgenden Darbietungsarten beschult wurden:

1. *Nur Text* (Kontrollgruppe): Diese Gruppe bekam ausschließlich den Text ohne zusätzliche Illustrationen.
2. *Einzelbild/Teile*: Hier wurde neben dem Text zu jedem Beispiel ein Einzelbild geliefert, in dem die wesentlichen Bauteile beschriftet wurden (Abb. 2).
3. *Einzelbild/Ablauf*: Diese Gruppe erhielt ebenfalls Einzelbilder. Im Gegensatz zur zweiten Gruppe wurde das System aber nicht im Ruhe- sondern im Arbeitszustand abgebildet. Darüber hinaus wurde an Stelle der Teilebeschriftung der jeweilige Funktionsablauf beschrieben (Abb. 3).
4. *Bildfolge Teile und Ablauf*: Diese Gruppe erhielt jeweils beide Bilder. Hier wurde neben der Bauteilebeschriftung zusätzlich der jeweilige Arbeitsablauf erläutert (Abb. 4):

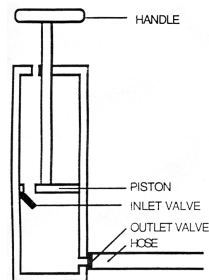


Abb. 2

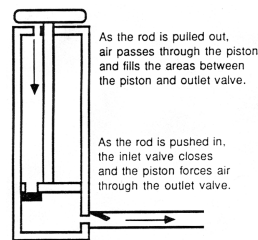


Abb. 3

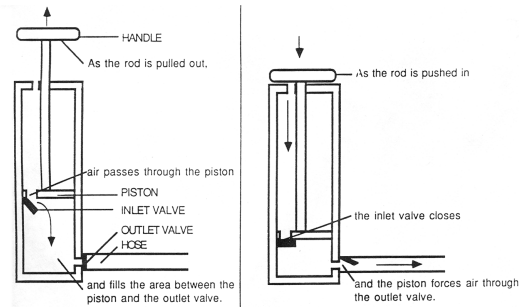


Abb. 4

Die Versuchsteilnehmer waren ausnahmslos Studierende der Psychologie. Jeder Versuchsgruppe wurde der gleiche Lehrtext zur Verfügung gestellt. Es handelte sich dabei um einen Lexikontext über technische Systeme wie Pumpen und Bremsen mit einem Umfang von 812 Wörtern.

Der Lernerfolg, der mit den unterschiedlichen Darstellungsarten erreicht werden konnte, wurde getrennt ermittelt für Personen, die nach eigener Einschätzung ein sehr geringes bzw. eher höheres Vorwissen in diesem Bereich mitbrachten. Die für die Mathematik relevanten Lernerfolgskategorien waren dabei Reproduktionsvermögen („conceptual recall“) und Problemlösevermögen. Die Reproduktionsaufgaben beinhalteten z.B. Fragen zur Funktionsweise der Pumpen, die Problemlöseaufgaben Fragen wie: „Was kann getan werden, um eine Pumpe weniger störungsanfällig zu machen?“.

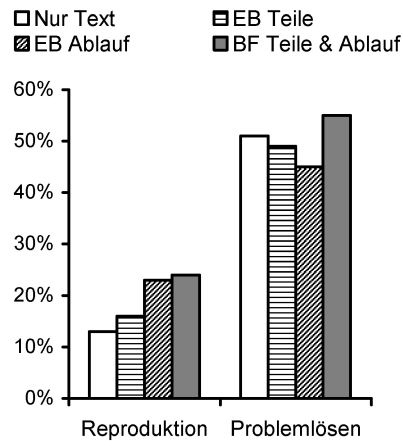


Abb. 5

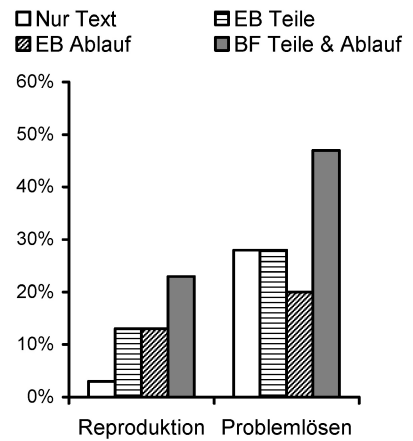


Abb. 6

Die Ergebnisse zeigten sich abhängig vom Vorwissen der Lerner. Für *Probanden mit hohem Vorwissen* (Abb. 5) war die Darbietungsart weniger relevant für den Lernerfolg. Die Einzelbildgruppe mit Ablaufbeschreibung und die Bildfolgegruppe mit Teile- und Ablaufbeschreibung schnitten bei den Reproduktionsfragen zwar tendenziell besser ab als die Kontrollgruppe, die keinerlei Illustrationen erhielten, beim Problemlösevermögen ergaben sich aber nicht einmal mehr tendenzielle, geschweige denn signifikante Unterschiede.

Lerner mit *geringen Vorkenntnissen* (Abb. 6) scheinen hingegen wesentlich stärker von Illustrationen abhängig zu sein. Das Fehlen der Bilder wirkt sich dabei besonders gravierend auf deren Reproduktionsleistungen aus. Bemerkenswert ist das gute Abschneiden der Bildfolgegruppe mit Teile- und Ablaufbeschreibung. Diese erreichte hier sowohl bei den Reproduktionsaufgaben als auch bei den Transferaufgaben die signifikant besten Ergebnisse.

Es sollte allerdings nicht nur die Vorbildung der Lerner, sondern auch die Komplexität des Lehrtextes berücksichtigt werden. In einem weiteren Test, diesmal mit einem längeren und anspruchsvolleren Text über Generatoren, konnten Mayer und Gallini (1990) auch für die Gruppe der besser vorgebildeten Lerner bei einer Schulung mit der Bildfolgedarstellung signifikant bessere Reproduktionsergebnisse feststellen.

Inwieweit diese am Beispiel technischer Systeme gewonnenen Ergebnisse auf mathematische Lerninhalte übertragen werden können, mag dahingestellt bleiben. Zumindest in der Geometrie liegt es nahe, einen Bezug zwischen Bauteilen und geometrischen Objekten, wie Punkten, Geraden oder aber auch Abbildungen einerseits sowie zwischen technischen Abläufen und geometrischen „Aktionen“ wie Konstruktions- oder Beweisschritten andererseits herzustellen.

2.4 Animationen

Die Lernwirksamkeit animierter Wissensrepräsentationen scheint aus psychologischer Sicht eher umstritten. Szabo und Poohkay (1996) stellen zehn Untersuchungen, die signifikante Effekte für Animationen nachweisen konnten weitere zehn gegenüber, die keine signifikanten Unterschiede zwischen Standbildern und Animationen zeigen. Sie resümieren: „Any widespread belief in the superiority of animation over nonanimated instruction within the context of CBI [Computer Based Instruction] must consider the even split among these 20 studies.“ (S. 393)

In einer eigenen Untersuchung konnten Szabo und Poohkay (1996) allerdings signifikante Erfolge bei der Beschulung mit Animationen gegenüber statischen Bildern nachweisen. Sie prüften an 174 Lehramtsstudenten den Einfluss animierter Darstellungen auf das Erlernen von Dreieckskonstruktionen mit Zirkel und Lineal. Dazu bildeten sie drei Gruppen:

1. *Nur Text*
2. *Text mit statischen Bildern* (Abb. 7)
3. *Text mit Animation* (wie Abb. 7; Bilder aber animiert)

Der Lernerfolg wurde auch hier getrennt ermittelt für Personen, die in einem mathematischen Vortest gut bzw. weniger gut abgeschnitten hatten.

Das Ergebnis dieser Untersuchung (Abb. 8) zeigte unabhängig vom Vorwissen nicht nur signifikant bessere Ergebnisse der Gruppe mit statischen Bildern gegenüber der reinen Textgruppe, sondern auch ein signifikant besseres Abschneiden der mittels Animationen gegenüber den mit statischen Bildern beschulten Probanden.

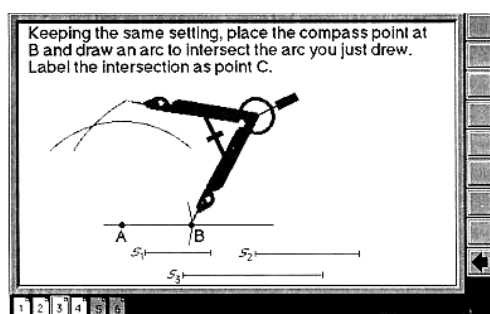


Abb. 7

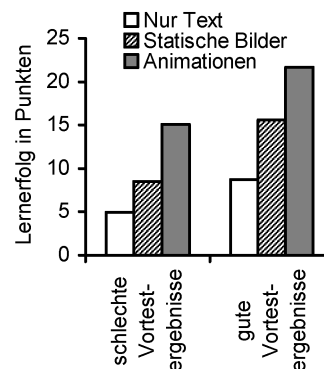


Abb. 8

Thompson und Riding (1990) untersuchten an 108 Schülern zwischen 11 und 14 Jahren den Einfluss von Animationen auf den Lernerfolg. Der Lerninhalt war der Scherungsbeweis des Pythagoreischen Lehrsatzes. Hier wurden folgende drei Gruppen unterschieden:

1. *Bildfolge Papier* (Kontrollgruppe 1; Abb. 9): Diese Gruppe bekam den Beweis ausschließlich auf einem Blatt Papier in Form eines Bildfolgediagramms mit insgesamt zehn Einzelbildern.
2. *Bildsequenz Computer* (Kontrollgruppe 2): Dieser Gruppe wurde zusätzlich zu diesem Blatt der Beweis am Computer schrittweise in Einzelbildern dargeboten.
3. *Kontinuierliche Animation*: Hier wurden im Gegensatz zur Kontrollgruppe 2 die Scherungen und Drehungen kontinuierlich animiert.

Ein Lehrtext stand keinem der Probanden zur Verfügung. In dem anschließenden Lernerfolgstest schnitt die „Animations-Gruppe“ mit durchschnittlich 12,33 von erreichbaren 20 Punkten besser ab als die beiden Kontrollgruppen mit 10,58 und

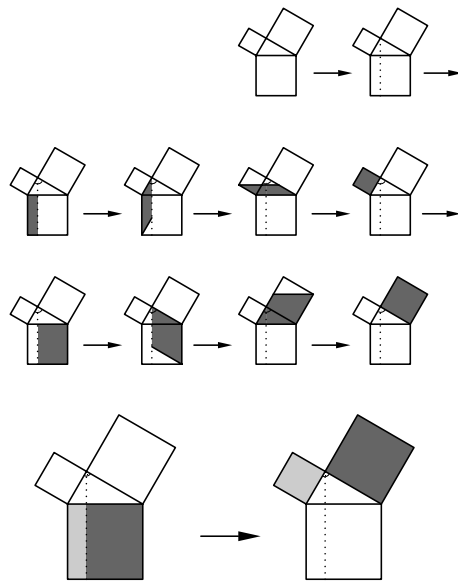


Abb. 9

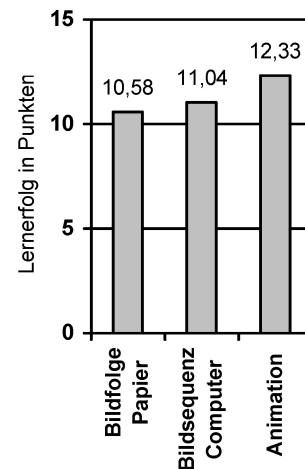


Abb. 10

11,04 Punkten (Abb. 10). Diese Effekte sind zwar signifikant, aber dennoch überraschend schwach. Dies ist umso bemerkenswerter, als der Lerninhalt in diesem Experiment geradezu optimal für eine Animation geeignet scheint.

Eine Ursache, warum die Effekte in dieser Untersuchung nicht größer ausfallen, könnte allerdings sein, dass in diesem Experiment Texte keine Rolle spielten. In reinen Papierversionen stellt der Wechsel zwischen Text und Bild eine zusätzliche Belastung für den Lerner dar, die den Lernvorgang gerade bei solch relativ komplexen Lerninhalten negativ beeinflussen kann. Am Computer kann dieses Problem hingegen umgangen werden, indem Begleitinformationen zu den Animationen akustisch dargeboten werden. Vergleicht man Bildversionen mit begleitenden Texten und Animationen mit akustischen dargebotenen Informationen, so ist deshalb zu erwarten, dass die Unterschiede im Lernerfolg noch stärker zu Gunsten der Animationen ausfallen werden. Wie eine solche akustische Unterstützung von Animationen idealerweise zu gestalten ist, zeigt die folgende Untersuchung.

2.5 Kombinationen von Ton und Animation

Akustische Informationen zu Animationen können auf unterschiedliche Weisen realisiert werden. Üblicherweise werden Ton und Animation gleichzeitig dargeboten. Es wäre aber auch denkbar, dass einzelne Animationsabschnitte jeweils unmittel-

bar in Folge der entsprechenden akustisch dargebotenen Erläuterungen gezeigt werden.

Mayer und Anderson (1992) untersuchten die Lernwirksamkeit sieben unterschiedlicher Kombinationsmöglichkeiten von Ton und Animation auf das Erlernen der Funktionsweisen von Pumpen und Bremsen. Dazu wurden sieben Gruppen zu je 17 Studierenden in jeweils einer bestimmten Weise mit Hilfe eines Computerprogramms über die Funktionsweise bestimmter Pumpen bzw. Bremsen aufgeklärt. Die Informationen waren bei allen Probanden in kleine Abschnitte aufgeteilt, die jeweils individuell durch die Teilnehmer weitergeschaltet werden konnten. Eine achte Gruppe erhielt als Kontrollgruppe keinerlei Informationen.

- | | |
|--|-------------|
| 1. <i>Animationsschritte und Ton gleichzeitig</i> | A+T A+T A+T |
| 2. <i>Animationen gehen jeweils dem Ton voraus</i> | AT AT AT |
| 3. <i>Ton geht jeweils den Animationen voraus</i> | TA TA TA |
| 4. <i>auf alle Animationen folgen alle Erläuterungen</i> | A A A T T T |
| 5. <i>auf alle Erläuterungen folgen alle Animationen</i> | T T T A A A |
| 6. <i>nur Animationen</i> | A A A |
| 7. <i>nur Erläuterungen</i> | T T T |
| 8. <i>keine Informationen (Kontrollgruppe)</i> | |

Zeigten sich bei den *Reproduktionsleistungen* keine gravierenden Unterschiede, so scheint die Darbietungsreihenfolge zumindest auf die *Problemlösefähigkeit* relevanten Einfluss zu haben (Abb. 11). Die Anzahl an Lösungen war hier bei der gleichzeitigen Darbietung von Ton und Animation signifikant höher als bei anderen Kombinationen.

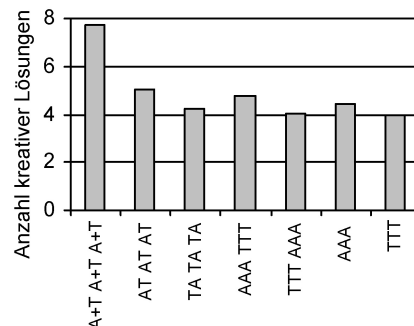


Abb. 11

An dieser Stelle muss allerdings angemerkt werden, dass die Probanden in diesem Experiment alle durchwegs in mechanischen Fragen wenig bewandert waren. So ist denkbar, dass Personen mit höherem Vorwissen von der Darbietungsreihenfolge

TA TA TA profitieren hätten können, da diese in der Lage gewesen wären, die Animationsschritte bereits mental zu simulieren. Diese mentale Simulation könnte sich positiv auf das Reproduktionsvermögen auswirken.

2.6 Zusammenfassung der medienpsychologischen Ergebnisse

Es ist sicher nicht davon auszugehen, dass durch eine bestimmte Darbietungsart in jedem Fall ein höherer Lernerfolg erreicht wird. Dennoch könnte man bei aller Vorsicht aus den Untersuchungsergebnissen gewisse Regeln für die Darstellung komplexerer Lerninhalte ableiten:

- *Nutze „advance organizer“!*
- *Stelle graphische Übersichten zur Strukturierung des Lerninhalts zur Verfügung!*
- *Verwende Bildfolgen anstelle von Einzelbildern!*
- *Verwende Animationen möglichst mit gleichzeitig dargebotenen akustischen Erläuterungen!*

3 Das „Pop-up-Ikonogramm“ als Konsequenz

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde am Lehrstuhl für Didaktik der Mathematik in Nürnberg eine neue Darbietungsform entwickelt, das „Pop-up-Ikonogramm“: Es integriert Übersichtsdiagramme, Bildfolgen und Animationen mit akustischen Erläuterungen. Ziel bei der Entwicklung war es, nicht nur die oben genannten medienpsychologischen Erkenntnisse zu berücksichtigen, sondern darüber hinaus die einzelnen medialen Komponenten so zu einem Gesamtkonzept zusammenzufassen, dass das Pop-up-Ikonogramm für ein breites Spektrum an Lernern mit unterschiedlichen Vorkenntnissen und Fähigkeiten adäquate Lernmöglichkeiten bietet. Entsprechend stellt das Pop-up-Ikonogramm den Lerninhalt dem Benutzer auf drei Ebenen zur Verfügung. Im folgenden sollen die Funktionen dieser Ebenen am Beispiel des Beweises für den Sehnensatz erläutert werden⁵:

1. Ebene (*Strukturübersicht*; Abb. 12): Hier wird ein Gerüst des Lerninhaltes in Form einer Folge einzelner kleiner Bilder („Ikonen“) abgebildet. Diese stellen hier jeweils einen Beweisschritt dar, der durch ein Stichwort benannt wird. Entsprechend der Struktur des Beweises sind diese Ikonen räumlich angeordnet und mit Implikationspfeilen verknüpft. Die Nummerierung der Ikonen entspricht ihrer Reihenfolge im Beweisgang.

⁵ Das Beispiel kann eingesehen werden unter:
<http://www.didmath.ewf.uni-erlangen.de/Ikonogramme/>

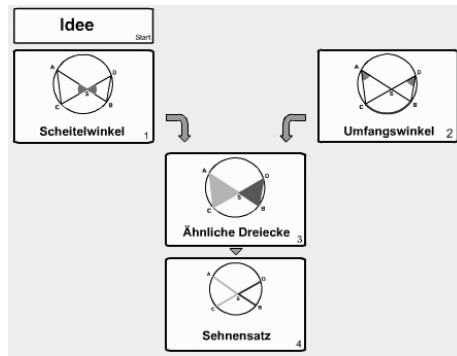


Abb. 12

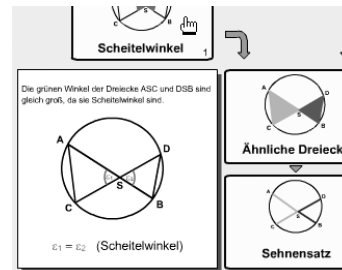


Abb. 13

Ein gut vorgebildeter Lerner könnte sich allein aus dieser Übersicht den Lerninhalt erschließen. Durchschnittlichen Lernern dient die Strukturübersicht zur Verdeutlichung der Beweisstruktur und einem leichteren Memorieren.

2. Ebene (*Pop-up-Fenster*; Abb. 13): Beim Überfahren einer Ikone mit der Maus „poppt“ ein entsprechendes Fenster auf, in dem der Beweisschritt detailliert ausgeführt ist. Zum einen kann sich der Lerner über diese Fenster den kompletten Lerninhalt in ungekürzter Form aneignen. Zum anderen erleichtern die Pop-up-Fenster Benutzern, die gestützt auf die Strukturübersicht den Lerninhalt noch einmal wiederholen wollen, bei eventuellen Wissenslücken schnell und gezielt auf entsprechende Lerninhalte zuzugreifen. Das Fenster hinter der ersten Ikone, hier mit „Idee“ bezeichnet, dient als „advance organizer“. In unserem Beispiel wird dort über heuristische Überlegungen in die Beweisidee eingeführt.

3. Ebene (*Filmsequenz*; Abb. 14): Klickt man auf die „Idee-Ikone“, so kann der Lerninhalt auch komplett über einen den Ikonen entsprechend in Sequenzen zerleg-

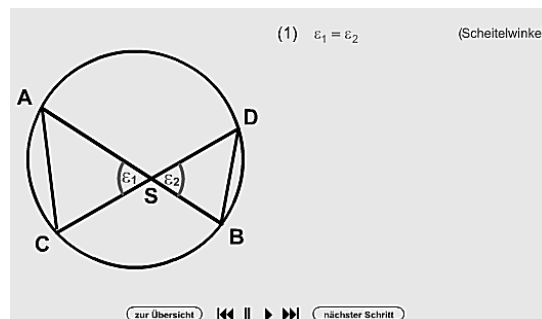


Abb. 14

ten Tonfilm abgerufen werden. Die Beweisschritte werden von einem Sprecher erläutert. Entsprechend den Erläuterungen werden graphische Elemente eingeblendet oder variiert und der Beweisschritt formal wiedergegeben. Der Film kann jederzeit angehalten und wieder gestartet werden. Am Ende der einzelnen Sequenzen hält der Film automatisch an und muss bewusst per Mausklick fortgesetzt werden. Es ist dabei jederzeit möglich, in die Strukturübersicht zurückzuspringen. Umgekehrt kann der Nutzer über jede der Ikonen aus der Strukturübersicht gezielt an eine bestimmte Sequenz des Film gelangen.

4 Untersuchung zur Lernwirksamkeit von Pop-up-Ikonogrammen

Um das Produkt hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit zu optimieren, wurde über den Entwicklungszeitraum von etwa 1,5 Jahren konsequent *formativ evaluiert*. Die Erfahrungen der Testnutzer, die in Einzel- und Gruppengesprächen herausgearbeitet wurden, flossen ebenso in die Entwicklung mit ein wie die Beobachtungen der Testpersonen im Umgang mit den Pop-up-Ikonogrammen, die teils per Videomitschnitt, teils über Protokolle erfasst wurden. Im Sommersemester 2002 wurde ein erster *summativer Test*⁶ in Nürnberg an Lehramtsstudierenden der Grund- und Hauptschule durchgeführt. Diese Untersuchung sollte im Sinne einer Voruntersuchung prüfen, ob das verwendete Design geeignet ist, Antworten auf die gestellten Fragen zu liefern, und gegebenenfalls Hypothesen generieren. Die vollständige Datenerhebung erfolgte im Wintersemester 2002/03. Die Fragestellungen, das Design der Untersuchung und die Ergebnisse einer statistischen Auswertung dieser Daten wird im Folgenden vorgestellt.

4.1 Fragestellungen

Die Pop-up-Ikonogramme wurden in erster Linie dazu entwickelt, Lehramtsstudierenden schulmathematische Inhalte, deren Aufarbeitung in den didaktischen Seminaren nicht geleistet werden kann, in geeigneter Form im WWW zur Verfügung zu stellen. Zentrales Ziel dabei ist, den Studierenden in angemessener Zeit einen Überblick über diese Inhalte zu vermitteln und z.B. zentrale Beweisideen aufzuzeigen, die sie in die Lage versetzen, die Inhalte selbstständig zu reproduzieren.

Steht damit die Lernwirksamkeit hinsichtlich des Reproduktionsvermögens im Vordergrund, so ist dennoch auch die Transferfähigkeit von Interesse, stellt diese doch einen Indikator für das in der Mathematik grundsätzlich angestrebte tiefer gehende strukturelle Verständnis der Inhalte dar.

Die Pop-up-Ikonogramme basieren auf Bildfolgen, die in Form der Strukturübersicht modifiziert wurden, und auf dem Tonfilm, der durch die Sequenzierung verändert wurde.

⁶ Ein *summativer Test* bezieht sich auf das fertig entwickelte Produkt.

Damit ergeben sich folgenden Fragen:

- Welcher Lernerfolg wird mittels Pop-up-Ikonogrammen gegenüber einer
 - „klassischen“ Einzelbilddarstellung,
 - reinen Filmversion bzw.
 - Bildfolgeversion erzielt?
- Welche Bedeutung haben bei Pop-up-Ikonogrammen die Modifikationen der einzelnen Komponenten
 - Sequenzierung des Films und
 - Strukturierung der Bildfolge?

4.2 Untersuchungsdesign

Im Gegensatz zur formativen Evaluation, die rein qualitativ durchgeführt wurde, wurde für den summativen Test ein vergleichendes quantitatives Design gewählt. Dieser Test teilte sich in drei Phasen:

- Erhebung des Vorwissens mit Aufteilung der Probanden in Gruppen
- Unterweisung der Gruppen mittels verschiedener Versionen einer Lerneinheit
- Messung des mit diesen Versionen erzielten Lernerfolgs

Verglichene Versionen: Um Antworten auf die oben genannten Fragen zu finden, wurden sechs medial unterschiedlich aufbereitete Versionen für den Beweis des Umfangswinkelsatzes und den Beweis des Sehnensatzes erstellt. In der Voruntersuchung gab es noch zwei Kontrollgruppen mit den Versionen

- *Einzelbild Papier,*
- *Einzelbild Bildschirm,*

die die Inhalte in der für mathematische Lehrbücher klassischen Form darboten und sich ausschließlich im Medium unterschieden. Da diese rein medialen Unterschiede in der Voruntersuchung keine Auswirkung auf die Lernleistung der Probanden zeigten, wurde in der Hauptuntersuchung aus organisatorischen Gründen auf eine Darbietung der Einzelbildversion über den Bildschirm verzichtet. Neben der „Vollversion“

- *Pop-up-Ikonogramm*

wurden noch vier weitere mehr oder weniger reduzierte und modifizierte Rumpfversionen erstellt:

- *Film sequenziert:* Diese Version war im wesentlichen identisch mit dem sequenzierten Tonfilm des entsprechenden Pop-up-Ikonogramms.
- *Film unsequenziert:* Diese Version besaß im Gegensatz zum sequenzierten Film keinerlei Steuerungsmöglichkeiten. Allein eine komplette Wiederholung des Films war möglich.

- *Bildfolge strukturiert*: Diese Version entsprach dem Pop-up-Ikonogramm bis auf die fehlende dritte Ebene des Tonfilms.
- *Bildfolge unstrukturiert*: Im Gegensatz zur strukturierten Bildfolge wurden hier auf einer Seite die Inhalte der Pop-up-Fenster ohne Pop-up-Funktion der Reihe nach in Form einer Bildfolge mit Texterläuterungen dargeboten.

Aufteilung der Probanden: Der mathematische Leistungsstand der Probanden (insgesamt 144 Lehramtsstudierende) wurde zunächst mittels eines Fragebogens festgestellt. Die zentralen Aspekte der Beurteilung waren dabei Schulnoten, wie etwa die erreichte Punktzahl im Mathematikabitur, und ein kurzer mathematischer Test. Der mathematische Test beinhaltete einfache geometrische Fragestellungen wie etwa die Berechnung der Diagonallänge eines Rechtecks mittels „Pythagoras“ oder einer Dreiecksseitenlänge über die Verhältnismöglichkeit ähnlicher Dreiecke.

Die Teilnehmer, die ein breites aber kontinuierliches Leistungsspektrum aufwiesen, wurden daraufhin systematisch so in sieben Gruppen zu je 24 Teilnehmern aufgeteilt, dass diese hinsichtlich des mathematischen Leistungsvermögens parallelisiert waren. Abbildung 15 zeigt exemplarisch die Leistungsspektren der Treatment- und der Kontrollgruppe im Vergleich. Dabei ist jeweils über die 24 nach Leistungsvermögen geordneten Gruppenmitglieder ihr im Fragebogen erreichter Leistungswert in Punkten angetragen. Die mittlere Leistungsfähigkeit unterschied sich für alle Gruppen um weniger als ein Prozent.

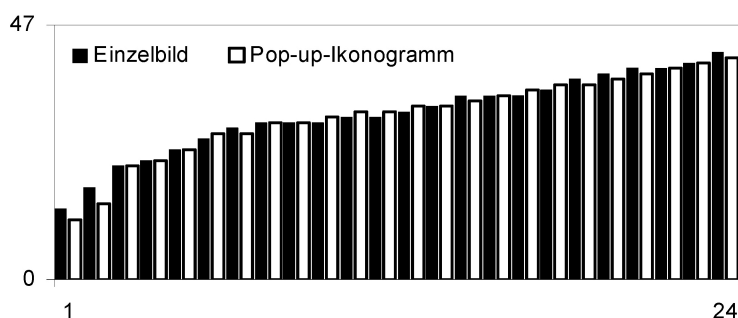


Abb. 15

Unterweisung: Jede Gruppe wurde in einem eigenen Raum von einem eigenen Betreuer mittels eines fest vorgegeben Einweisungstextes in eine der sechs Schulungsversionen eingewiesen. Nur die Gruppen mit Tonfilm hatten Kopfhörer zur Verfügung. Keine Gruppe kannte eine andere Version außer ihrer eigenen. Die Betreuer wurden ebenfalls nicht über die anderen Versionen informiert. Die Einweisung in die Präsentationsform erfolgte für alle am Beispiel des Beweises zum Umfangswinkelsatz. Inhaltliche Fragen waren nicht erlaubt. Die Lernzeit war frei, wurde aber für jeden der beiden Beweise getrennt erfasst.

Lernerfolgstest: Der Lernerfolgstest wurde genau eine Woche nach der Unterweisung durchgeführt. Zur Messung der Reproduktionsleistung musste der Beweis des Sehnensatzes geführt werden. Als Transferaufgabe war der nahezu analog zu führende Beweis des Sekantensatzes gefordert.

4.3 Ergebnisse

Hinsichtlich der *Reproduktionsleistung* (Abb. 16) zeigte sich folgendes Bild: Das schlechteste Ergebnis wurde mit der Einzelbildversion erzielt. Etwas besser schnitten die reinen Filmversionen ab. Allerdings konnte durch die Sequenzierung des Films keine Verbesserung in der Lernleistung erreicht werden. Eine mögliche Interpretation wäre, dass die durch die Sequenzierung bedingten positiven Effekte dadurch relativiert werden, dass der Lerner seine Aufmerksamkeit auf Lernstoff und Bedienung der Steuerelemente aufteilen muss. Einer besseren Verarbeitung des Lernstoffes könnte hier also eine Verringerung der zur Aufnahme des Lernstoffes verbleibenden „freien“ Aufmerksamkeit gegenüberstehen. Dieses Phänomen wird in der Psychologie unter dem Begriff der „cognitive-load-Theory“ (Sweller, Chandler 1991) diskutiert. Mit den Bildfolgeversionen wurden wiederum bessere Lernleistungen erzielt als mit den reinen Filmversionen. Die Strukturierung brachte hier gegenüber der einfachen Bildfolge geringfügig bessere Ergebnisse hervor. Dass auch hier die Unterschiede nicht allzu groß ausfielen, könnte ebenfalls durch die zusätzliche Belastung des Arbeitsgedächtnisses erklärt werden. Nimmt man diese Interpretationen ernst, so wäre durchaus zu vermuten, dass bei einem länge-

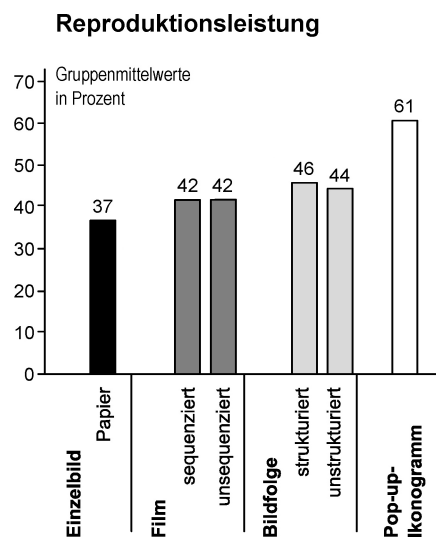


Abb. 16

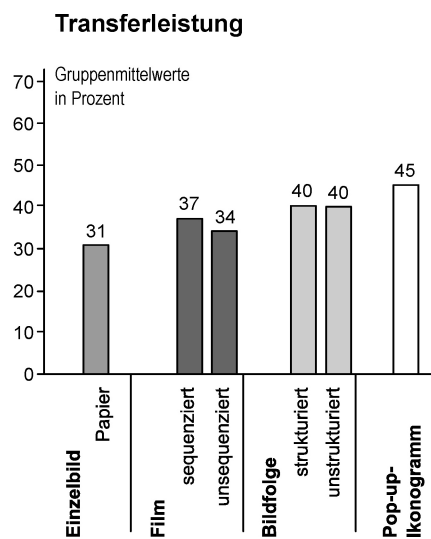


Abb. 17

ren Einsatz dieser Lernmittel im Zuge der Gewöhnung die Bedienungsproblematik in den Hintergrund gerät und die durch die Modifikationen bedingten positiven Effekte stärker zur Geltung kommen. Schwer zu erklären ist in diesem Zusammenhang das überragend gute Abschneiden der mit dem Pop-up-Ikonogramm geschulerten Gruppe. Gerade bei dieser Version ist der Lerner mit einer großen Vielfalt an Steuerungsmöglichkeiten konfrontiert. Es wäre also nicht überraschend gewesen, wenn gerade dort die übermäßige Bindung kognitiver Ressourcen die Lerner überfordert hätte.

Bei einer Varianzanalyse erwies sich das bessere Abschneiden des Pop-up-Ikonogramms gegenüber jeder der anderen fünf Versionen als signifikant. Abweichungen in der Lernwirksamkeit innerhalb dieser fünf Versionen konnten in diesem Signifikanztest hingegen nicht auf dem 5%-Niveau abgesichert werden.

Die Unterschiede in den *Transferleistungen* (Abb. 17) waren auf Grund der großen Streuungen innerhalb der Gruppen alle nicht signifikant. In der Tendenz zeigen die Gruppenmittelwerte dort aber immerhin ein ähnliches Bild wie bei den Reproduktionsleistungen.

5 Zusammenfassung

Die Auswertungen haben gezeigt, dass das Pop-up-Ikonogramm in seiner Lernwirksamkeit zumindest hinsichtlich seiner Auswirkung auf die Reproduktionsleistung der in Büchern üblichen Darbietungsform deutlich überlegen ist. Bei einem umfassenderen Einsatz von Pop-up-Ikonogrammen ist zu erwarten, dass sich diese Effekte noch verstärken, da die Lerner mit zunehmender Gewöhnung immer weniger durch die komplexen Steuermöglichkeiten belastet sein dürften. Auch werden sich erst im längeren Umgang geeignete individuelle Lernstrategien herausbilden. Inwieweit diese Ergebnisse übertragbar auf andere Lerninhalte sind, muss noch durch weitere Untersuchungen geklärt werden. Aber auch hier ist zu erwarten, dass das Pop-up-Ikonogramm zumindest bei Lerninhalten, die dynamische Veranschaulichungen erfordern, erst seine volle Wirkung entfalten kann.

Nicht zu unterschätzen ist allerdings der immense Aufwand, der mit der Erstellung solcher Materialien verbunden ist. Die reinen Filmversionen konnten gegenüber der Einzelbildversion nur eine deutlich geringere und darüber hinaus nicht signifikante Verbesserung des Lernerfolgs erzielen. Berücksichtigt man, dass der Produktionsaufwand für reine Filmversionen kaum geringer als der für Pop-up-Ikonogramme ist, so deutet dies darauf hin, dass von der Produktion solcher reinen Filmversionen abzuraten ist. Wer den Aufwand der Erstellung von Pop-up-Ikonogrammen scheut, für den könnten zumindest Bildfolgeversionen eine ernstzunehmende Alternative zur klassischen Einzelbildversion darstellen.

Literatur

- Ausubel, D.P. (1974): *Psychologie des Unterrichts*. Weinheim: Beltz
- Christmann, U./Groeben, N: (1999): *Psychologie des Lesens*. In: Franzmann, B. (1999, Hrsg.): *Handbuch Lesen*. München: K.G. Saur, S. 145–223
- Hasebrook, J.P. (1995): *Lernen mit Multimedia*. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 9(2), S. 95–103
- Hartmann, M. (2002a): *Übersichtsdarstellungen in mathematikdidaktischen WWW-Seiten*. In: Peschek, W. (2002, Hrsg.): *Beiträge zum Mathematikunterricht 2002*. Hildesheim: Franzbecker, S. 215–218
- Hartmann, M. (2002b): *Effizienz im Einsatz multimedialer Komponenten*. In: Herget, W. et al. (2002, Hrsg.): *Medien verbreiten Mathematik*. Hildesheim: Franzbecker, S. 113–119
- Mayer, R.E./Anderson, R.B. (1991): *Animations need narrations: An experimental test of a dualcoding hypothesis*. In: *Journal of Educational Psychology* 83(4), S. 484–490
- Mayer, R.E./Anderson, R.B. (1992): *Instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning*. In: *Journal of Educational Psychology* 82(4), S. 444–452
- Mayer, R.E./Gallini, J.K. (1990): *When is an illustration worth ten thousand words?* In: *Journal of Educational Psychology* 82(4), S. 715–726
- Schulmeister, R. (1997): *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme: Theorie – Didaktik – Design*. Oldenbourg: München (2. Auflage)
- Sweller, J./Chandler, P. (1991): *Evidence for Cognitive Load Theory*. In: *Cognition and Instruction* 8(4), S. 351–362
- Szabo, M./Poohkay, B. (1996): *An Experimental Study of Animation, Mathematics Achievement and Attitude Towards Computer-Assisted Instruction*. In: *Journal of Research on Computing in Education* 28(3), S. 390–402
- Thompson, S./Riding, R. (1990): *The Effect of Animated Diagrams on the Understanding of a Mathematical Demonstration in 11- to 14-Year-old Pupils*. In: *British Journal of Educational Psychology* 60, S. 93–98
- Weidenmann, B. (2001): *Lernen mit Medien*. In: Krapp, A./Weidenmann, B. (2001, Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz/PVU, S. 415–466

Anschrift des Verfassers

Mutfried Hartmann
Universität Erlangen-Nürnberg
Erziehungswissenschaftliche Fakultät
Regensburger Str. 160
90478 Nürnberg
email: mdhartma@ewf.uni-erlangen.de