

## Fotografieren mit einer virtuellen Kamera - Lernen mit multiplen Repräsentationen

Thomas Rubitzko & Raimund Girwitz

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg  
(Eingegangen: 23.03.2005; Angenommen: 21.10.2005)

### Kurzfassung

Für multimedial unterstütztes Lernen wurde eine virtuelle Kamera entwickelt. Sie ermöglicht, physikalische Zusammenhänge beim Fotografieren aufzudecken. Die Anwender können eine realistisch abgebildete Kamera oder eine Modelldarstellung wählen und unterschiedliche Motive fotografieren. Die verschiedenen Darstellungen sollen die kognitive Flexibilität in diesem Themenbereich fördern. Arbeitshefte unterstützen ein zielorientiertes Lernen.

In einer Studie mit Realschülern der zehnten Klassenstufe führte der Einsatz des Programms zu einem Lernzuwachs. Die Lernenden konnten die benötigten Informationen sowohl aus der realitätsnahen Darstellung als auch aus dem Modell entnehmen. Allerdings blieb der Lernzuwachs auf das Erlernen eindimensionaler Zusammenhänge beschränkt. Komplexe Zusammenhänge wurden nur unzureichend erkannt. Dabei profitierten naturwissenschaftlich leistungsstarke Schülerinnen und Schüler eher von Arbeitsheften mit weniger bestimmenden Vorgaben. Beim Einsatz im Unterricht sollten deshalb die Arbeitshefte auf die Fähigkeiten der Zielgruppe abgestimmt werden. Komplexe Zusammenhänge sind in einem ergänzenden Unterricht weiter auszuarbeiten.

### 1 Einführung

Fotografieren mit manuell einstellbaren Kameras bietet vielfältige gestalterische Möglichkeiten. So kann beispielsweise Tiefenunschärfe bei Portraits gezielt als Stilmittel eingesetzt werden. Dazu sind Kenntnisse über die physikalischen Zusammenhänge von Einstellung und Strahlengang in der Kamera notwendig. Für ein Lernen mit Eigenaktivitäten stehen jedoch kaum Geräte zur Verfügung und wenn, dann sind die physikalischen Prozesse nicht direkt beobachtbar.

Ein Computerprogramm kann jedoch genau dies bieten. Es eröffnet Handlungsmöglichkeiten mit unmittelbarer Rückmeldung und kann überdies

durch verschiedene Darstellungen unzugängliche physikalische Prozesse veranschaulichen.

Basierend auf verschiedenen Orientierungshilfen zum Design von Multimedia-Anwendungen (vgl. Girwitz, 2004) wurde ein Lernangebot zum Fotografieren entwickelt. Es soll kognitive Flexibilität in diesem Themengebiet fördern. Zusätzlich wird mit Arbeitsheften aktives Lernen unterstützt. Eine empirische Studie prüft dann, ob und wie das mediale Lernangebot ein Erreichen der Zielvorgaben tatsächlich unterstützt. Daraus lassen sich Folgerungen für multimedial gestützten Unterricht ableiten.



Abb. 1: Maxwellscher Papagei im Käfig, mit verschiedenen Kameraeinstellungen fotografiert

## 2 Fotografieren

Kameras im Automatikmodus wählen in der Regel mittlere Einstellungen für Blende und Belichtungszeit, um einerseits Bewegungsunschärfe durch Verwackeln zu verhindern, andererseits auch Vorder- und Hintergrund noch einigermaßen scharf abzubilden. Das macht Fotografieren zwar einfach, schränkt aber die Gestaltungsmöglichkeiten ein. Eine Vorwahl wie „Sportfotografie“ liefert zwar scharfe Aufnahmen, ist aber gerade dann völlig ungeeignet, wenn man die Dynamik von Bewegungsabläufen durch Bewegungsunschärfe im Bild ausdrücken will. Solche besonderen Effekte lassen sich erst mit dem gezielten Einsatz von Extremwerten bei Blende und Belichtungszeit erreichen, die auch bei besseren automatischen Digitalkameras zu wählen sind. So war beispielsweise in Abb. 1 in allen drei Bildern die Beleuchtung gleich. Die Entfernungseinstellung wurde so gewählt, dass die Ebene des Papageis scharf abgebildet wird. Von links nach rechts nimmt sowohl die Blendenzahl als auch die Belichtungszeit zu.

- Bild links: Die Bewegung wirkt wie eingefroren, der Hintergrund ist „verwaschen“. Blende: 2,8; Belichtungszeit: 1/500 s
- Bild Mitte: Automatische Belichtungseinstellung, das Bild wirkt eher unfreiwillig unscharf. Blende: 8; Belichtungszeit: 1/60 s
- Bild rechts: Die Bewegungsunschärfe vor dem scharfem Hintergrund wirkt dynamisch. Blende: 22; Belichtungszeit: 1/8 s

Für solche Einstellungen ist ein Grundverständnis für optische Abbildungen nötig und der Fotoapparat ist auch in vielen Lehrplänen und Schulbüchern als Anwendung zur Optik ausgewiesen.

Vorwerk (1992) sieht gerade im Aspekt der Schärfentiefe und in der Abbildung von Bewegung auch Gestaltungsmittel für Lernende, die sich mit künstlerischen Aspekten der Fotografie beschäftigen wollen.

Mit diesem Ansatz lässt sich das Thema in vielen Bildungsplänen unter dem Stichwort „projektorientierter, Fächer übergreifender Unterricht“ einordnen. Die Lernziele, für die das Programm eine Unterstützung bietet, ergeben sich aus den technischen und physikalischen Zusammenhängen. Beim Fotografieren müssen dem Motiv entsprechend verschiedene Einstellungen an der Kamera vorgenommen werden. Sie beeinflussen den Strahlengang in der Kamera und die Belichtungszeit (siehe Abb. 2). (Von der Entfernungseinstellung wird hier abgesehen.) Daraus lassen sich folgende Lernziele ableiten:

Die Lernenden sollen die Kamera dem Motiv entsprechend einstellen können, um Bilder mit der gewünschten Belichtung und Schärfe zu erhalten. Umgekehrt sollen sie auch ausgehend von der Bildqualität Rückschlüsse auf Kameraeinstellungen ziehen können. Für beide Vorgänge sollen sie auf physikalische, grafisch-bildhafte Modellvorstellungen zurückgreifen können.

## 3 Die virtuelle Kamera

Das Programm soll die Zusammenhänge zwischen Charakteristika des Motivs, Einstellung der Kamera, Strahlengang in der Kamera und resultierendem Bild zugänglich machen (Abb. 3a und 3b).

### 3.1 Aufbau der virtuellen Kamera

- In der Modelldarstellung der Kamera werden die Strahlengänge angezeigt, die sich entsprechend den jeweiligen Motiven und Einstellungen verändern.
- Blende und Belichtungszeit lassen sich an einer realistisch abgebildeten Kamera und in der Modelldarstellung einstellen.
- Beim Druck auf den Auslöser entstehen entsprechende Aufnahmen, die sofort angezeigt werden und eine direkte Rückmeldung bieten.
- Als Motiv kann zwischen einem schwingenden Pendel und einer Reihe Münzen in verschiedenen Entfernungen gewählt werden.

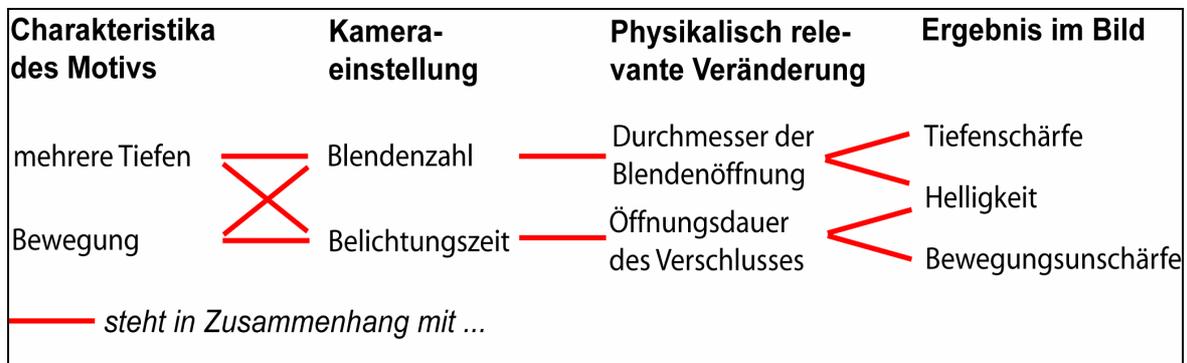


Abb. 2: Übersicht über die in der Studie berücksichtigten Zusammenhänge beim Fotografieren

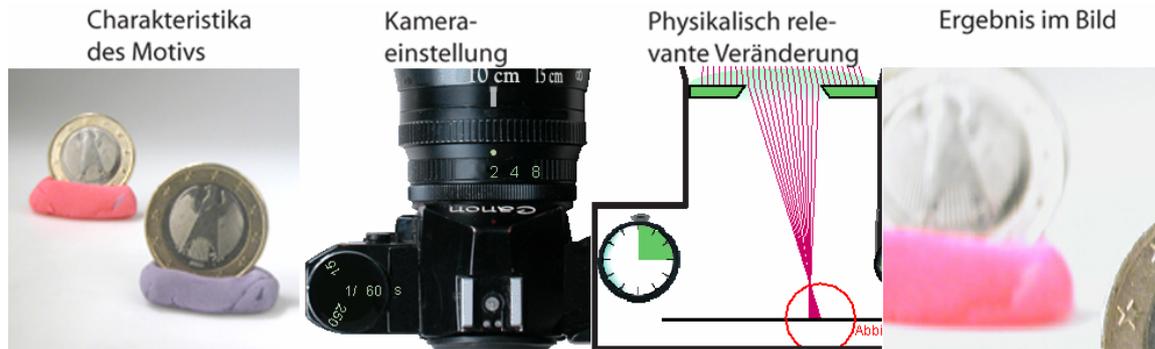


Abb. 3a: Münzen in verschiedenen Ebenen mit Blendenzahl 2 und Belichtungszeit  $1/60$  s fotografiert führt zu einem überbelichteten Bild ohne Tiefenschärfe.

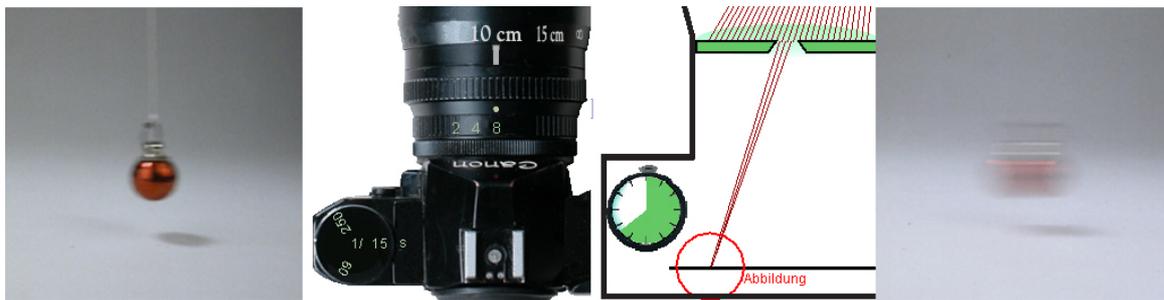


Abb. 3b: Bewegtes Pendel mit Blendenzahl 8 und Belichtungszeit  $1/15$  s fotografiert führt zu einem richtig belichteten Bild mit Bewegungsunschärfe.

Durch Experimente mit der virtuellen Kamera können Lernende ihre Hypothesen überprüfen. In der realitätsnahen Darstellung kann der Zusammenhang zwischen einstellbarer Belichtungszeit und Blendenzahl einerseits und den resultierenden Bildern andererseits erarbeitet werden. Der inhaltliche Schwerpunkt bei der Modelldarstellung liegt auf den physikalischen Details im Inneren der Kamera. Hier können Strahlengänge untersucht werden. Dabei kann unter anderem beobachtet werden, wie eine kleinere Blendenöffnung ein Lichtbündel mit kleinerem Öffnungswinkel erzeugt und dadurch die Abbildung in allen Tiefen schärfer wird. Bei bewegten Motiven lässt sich aber auch direkt die Bewegung des Lichtbündels über die Abbildungsebene beobachten.

Es kann beliebig zwischen Realdarstellung und modellhafter Darstellung gewechselt werden. Dabei werden in beiden Darstellungsformen die entsprechenden Elemente an jeweils der gleichen Stelle des Bildschirms gezeigt. Dadurch soll der Zusammenhang zwischen Kameraeinstellung und den resultierenden Strahlengängen erkannt werden (Abb. 4 und 5). So erfolgt eine Verknüpfung von Belichtungszeit, Blendenzahl bzw. Blendenöffnung und dem Strahlengang in der Kamera.

### 3.2 Besondere Gestaltungselemente

Die abgebildeten Bedienelemente sind detailliert genug, um einen Realitätsbezug sicherzustellen (Abb. 4). Allerdings wurde bewusst auf Zwischenwerte bei den Einstellungen von Belichtungszeit und

Blendenzahl verzichtet, damit die Effekte bei Veränderungen deutlich erkennbar werden. Durch die realistischen Funktions- und Bedienelemente sowie die fotografischen Abbildungen zeigt das Programm wesentliche Charakteristika von interaktiven Bildschirmexperimenten (vgl. hierzu beispielsweise Kirstein & Rothenhagen, 2002). Durch die modellhafte Ebene bietet es aber eine zusätzliche Erweiterung. So sind wichtige Schlüsselemente wie der Gegenstandspunkt und die zugehörige Abbildung auf dem Film mit einem roten Kreis unterlegt. Beim Pendel wurde eine Animation verwendet, um aufzuzeigen, wie sich während der Belichtungszeit der Bildpunkt auf der Abbildungsebene bewegt und daraus eine Bewegungsunschärfe resultiert (siehe Abb. 3b).

Bei der modellhaften Repräsentation ist das Gehäuse stark schematisiert (siehe Abb. 5). Hier ist nur noch der räumliche Bezug zwischen Linse, Blende und Film wichtig. Dagegen ist die Blende detailliert abgebildet. So bekommen Lernende eine Vorstellung von diesem Bauteil. Überdies wurden zur besseren Übersicht im ganzen Programm interaktiv steuerbare Elemente grün markiert, und Tooltips bezeichnen wichtige Bauteile direkt an der Kamera (siehe Abb. 4).

Unter <http://www.film-phl.de> kann die virtuelle Kamera vom Netz herunter geladen werden. (Inzwischen können Entfernungseinstellung, Beleuchtung der Motive und im Programm integrierte Hinweise zusätzlich gewählt werden.)



Abb. 4: Fotografisch-realistische Repräsentation

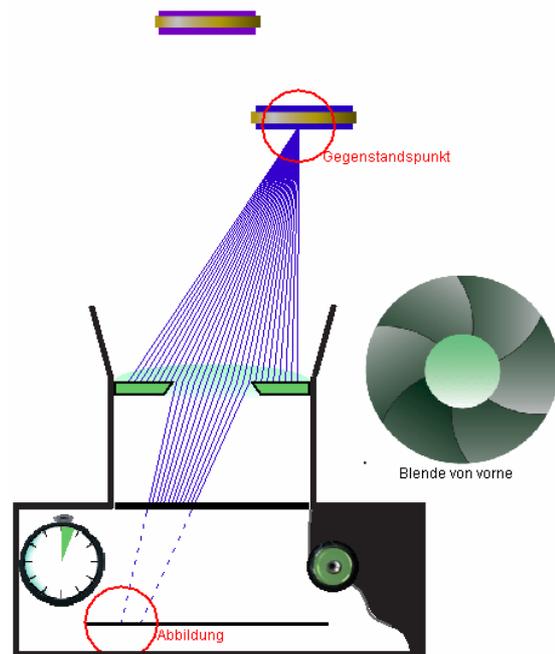


Abb. 5: Grafisch-modellhafte Repräsentation

#### 4 Kognitive Flexibilität, mentale Modelle und multiple Repräsentationen

Verschiedene lernpsychologische Leitlinien wurden der Programmentwicklung zugrunde gelegt. Sie werden kurz skizziert und bilden auch die Grundlage für die anschließend beschriebene Untersuchung.

Das Arbeiten mit dieser Software soll helfen, mentale Modelle aufzubauen und die kognitive Flexibilität im Themengebiet zu verbessern. Nachfolgend verstehen wir unter kognitiver Flexibilität in Anlehnung an Spiro (1988) „die situationsabhängige Auswahl einer geeigneten mentalen Repräsentation und ihre angemessene Verwendung“.

Zur Förderung von kognitiver Flexibilität in komplexen Themengebieten schlagen Spiro et al. (1988, 1992) unter anderem vor:

- ein Angebot unterschiedlicher Repräsentationen bereitzustellen,
- aktives Lernen zu unterstützen.

Diese beiden Forderungen werden von verschiedenen Autoren auch im Zusammenhang mit dem Aufbau mentaler Modelle genannt. Ein mentales Modell hat nach Dutke (1994) eine anschauliche Struktur und ermöglicht, Sachverhalte aus der Umwelt dynamisch zu simulieren. Geeignete mentale Modelle können damit auch kognitive Flexibilität unterstützen. Betrachten wir zuerst den Aspekt des Informationsangebots:

Ainsworth (1999) beschreibt verschiedene Funktionen, die multiple Repräsentationen beim Lernen haben können. Dabei sind in diesem Zusammenhang zwei herauszuheben:

- Die Einzelrepräsentationen ergänzen sich sowohl inhaltlich als auch hinsichtlich der unterschiedlichen mentalen Prozesse, die sie auslösen.
- Abstraktion oder Erweiterung der Vorstellungen durch weitere Repräsentationen kann zu tieferem Verständnis eines Themengebiets führen.

Gerade beim Multimedialernen ist aber auch darauf zu achten, dass nicht zuviel kognitive Ressourcen von nicht lernrelevanten Reizen belegt werden. Nur dann gelingt eine effektive Informationsaufnahme. Mayer (1997, 2001) formuliert Designprinzipien, die dies gewährleisten sollen. Speziell berücksichtigt wurden hier der von Mayer & Moreno (2003) beschriebene Signaleffekt (z. B. Hervorheben von wichtigen Details) und der Effekt der räumlichen Kontiguität (z. B. Bezeichnungen direkt am Bildelement).

Vor dem Hintergrund der hier skizzierten theoretischen Überlegungen zu multiplen Repräsentationen lassen sich folgende Forschungsfragen formulieren:

- Welche Art von Information wird aus den beiden unterschiedlichen Darstellungen jeweils vorrangig entnommen?
- In welcher Weise und in welchem Maß kann durch die Arbeit mit dem Computerprogramm ein Aufbau von Konzepten zum Fotografieren gefördert werden?
- Wie komplex dürfen die Konzepte sein, damit sie von den Adressaten noch verarbeitet werden können.

## 5 Aktives Lernen mit Unterstützung

Die Lernumgebung soll kognitive Aktivitäten anregen. Aktivierung und Unterstützung können durch den Computer selbst, aber auch zusätzlich durch Arbeitshefte erfolgen. Dabei sind die gegebenen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Lernenden zu berücksichtigen.

### 5.1 Arbeitshefte

Exploratives Handeln ist nach Dutke (1994) beim Aufbau eines mentalen Modells förderlich. Auch er betont, dass hierfür eine spezifische Unterstützung sinnvoll ist.

Arbeitshefte können dies gewährleisten, wobei sich die Frage stellt, wie sie zu gestalten sind. Um dies weiter aufzuklären, wurden zwei verschiedene Versionen entwickelt. Unterschiede bestehen vor allem in der Komplexität der Anforderungen und im Grad der Lenkung.

Das erste Arbeitsheft betont die **Reduktion der kognitiven Belastung** und orientiert sich an Forderungen der *Cognitive-Load-Theorie* (Chandler & Sweller 1991). Es bietet unter anderem Beispiele an, die mit Hilfe der Lernsoftware überprüft oder vervollständigt werden sollen. Dabei ist bei starker Lenkung die Komplexität in den Anforderungen als eher gering einzuschätzen (siehe Abb. 6).

Das zweite Arbeitsheft unterstützt **entdeckendes Lernen**. Es leitet zur Hypothesenbildung an, gibt Anregungen zum experimentellen Vorgehen und unterstützt bei der Datenanalyse (vgl. hierzu de Jong & van Joolingen, 1998). Dabei weist das Arbeitsheft eine geringere Lenkung und eine größere Komplexität in den Anforderungen auf (siehe Abb. 7).

### 5.2 Lernvoraussetzungen

Als weitere wichtige Komponente beim Lernen mit Multimediaanwendungen wird häufig das Vorwissen

diskutiert. So betont Dutke (1994) im Zusammenhang mit dem Aufbau eines mentalen Modells, dass ganz ohne Vorwissen das geforderte explorative Arbeiten kaum möglich ist. Einen empirischen Befund hierzu liefern auch Mayer & Moreno (2003). Demnach können bessere Lernergebnisse erzielt werden, wenn grundlegende Begriffe und auch die Funktionsweise von Systemkomponenten bekannt sind. Deshalb wurde in der Studie dem eigentlichen Programm eine Animation vorangestellt, die wichtige Elemente der Kamera einführt.

Auch Sweller, van Merriënboër & Paas (1998) gehen davon aus, dass Experten über komplexere Schemata verfügen und so die Belastung ihrer kognitiven Ressourcen geringer ausfällt als bei Novizen. Bezüglich des Lernzuwachses beschreiben Kalyuga et al. (2003) den Expertise-Reversal-Effekt. Sie stellen fest, dass nicht alle Lernenden von jeder Hilfe profitieren. Vielmehr ist für Lerner mit gutem Vorwissen zu erwarten, dass sich manche Maßnahmen sogar ins Gegenteil verkehren. So kann die Redundanz der zusätzlich angebotenen Unterstützung Lernende mit hohem Vorwissen ablenken.

Diese Überlegungen gelten vermutlich auch für eine allgemeine naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit und den damit verbundenen methodischen Kompetenzen.

Basierend auf den Überlegungen zu den Arbeitsheften und dem Vorwissen lassen sich nun folgende Forschungsfragen formulieren:

- Inwiefern haben die Unterschiede in der naturwissenschaftlichen Leistungsfähigkeit Einfluss auf den Lernerfolg?
- Welches der beiden Arbeitshefte unterstützt den Aufbau der Konzepte besser?
- Wie profitieren Lernende mit unterschiedlichen Vorkenntnissen von unterschiedlichen Arbeitsheften?

#### Aufgabe Nr. 2

Stelle nun die Belichtungszeit 1/60 s ein. Verändere nun schrittweise die Blendenzahl und ergänze die Tabelle. (hell, mittel)

Blendenzahl	Bildhelligkeit
8	dunkel
4	
2	

Abb. 6: Aufgabe aus dem Arbeitsheft, das die Reduktion der kognitiven Belastung betont

#### Aufgabe 1)

Gib, **bevor du es ausprobiert hast**, einen Tipp ab, wie du das dunkelste Bild und das hellste Bild mit den Münzen einstellen würdest.

Bild besonders	hell	dunkel
Blendenzahl:		
Belichtungszeit:		

#### Aufgabe 2)

Fotografiere nun das hellste und das dunkelste Bild nach deinen Einstellungen von Aufgabe 2. Hat dein Tipp wirklich gestimmt? Wenn nein, verbessere deinen Vorschlag.

Abb. 7: Aufgaben aus dem Arbeitsheft, das entdeckendes Lernen unterstützt

## 6 Untersuchung

Mit der Untersuchung sollte geklärt werden, inwieweit kognitive Flexibilität bei der Analyse und Wahl von Kameraeinstellungen durch den Einsatz unterschiedlicher Darstellungen unterstützt werden kann. Außerdem sollte der Einfluss verschiedener Arbeitshefte und die Bedeutung verschiedener Lernvoraussetzungen analysiert werden.

### 6.1 Versuchspersonen und Verlauf der Untersuchung

An der Untersuchung nahmen 35 Schülerinnen und 60 Schüler der Klassenstufe zehn aus der Realschule teil. Drei Wochen vor dem eigentlichen Experiment erfolgte ein Vortest zum Wissen. Zudem wurde die naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit über die Vornoten in den Fächern Physik und Chemie erhoben. Die Probanden wurden zufällig auf zwei Gruppen verteilt, die unterschiedliche Arbeitshefte erhielten. Im Unterricht arbeiteten die Probanden mit der virtuellen Kamera an einem eigenen Notebook. Das Treatment fand im gewohnten Klassenraum statt und sollte den Zeitrahmen von einer Unterrichtsstunde nicht überschreiten. Im Mittel arbeiteten die Schülerinnen und Schüler 31 Minuten mit der Software und den Arbeitsheften. Direkt anschließend wurde der Nachtest durchgeführt (siehe Abb. 8).



Abb. 8: Verlaufsplan der Untersuchung

### 6.2 Der Untersuchungsschwerpunkt „Arbeit mit multiplen Repräsentationen“

#### 6.2.1 Design

Um herauszufinden, ob durch die Arbeit mit der Software ein Aufbau von Konzepten zum Fotografieren gefördert werden kann, bot sich ein Vortest-Nachtestvergleich an. Vortest und Nachtest waren identisch. Aufgrund der langen Zeit zwischen den Tests ist davon auszugehen, dass ein Lerneffekt durch das Bearbeiten des Vortests vernachlässigbar ist. Der Vortest-Nachtestvergleich sollte auch Aufschluss über die kognitive Flexibilität geben. Über-

dies sollte geklärt werden, ob die Lernenden Informationen aus beiden Repräsentationen für die Lösung der Aufgaben entnehmen konnten.

#### 6.2.2 Testaufgaben

Die Konzepte zum Fotografieren wurden mit einem an den vorgegebenen Lernzielen orientierten Test erfasst, der aus zwölf Multiple-Choice-Items konstruiert wurde. Die Items hatten fünf Antwortmöglichkeiten, von denen jeweils nur eine richtig war. Jede Frage bezog sich entweder auf eine Veränderung der Belichtungszeit, der Blendeneinstellung oder beides. War nur eine Einstellung nötig, so wurde das Item der Subskala „eindimensionale Zusammenhänge“ zugeordnet. Waren beide Einstellungen zu berücksichtigen, so wurde das Item der Subskala „komplexe Zusammenhänge“ zugeordnet. Beide Einstellungen sind in den Fragen gleich häufig behandelt.

In der Fragenkonstruktion wurde auch berücksichtigt, aus welcher Repräsentationsform die Information stammt. Wird nach konkreten Werten gefragt, so fand sich die benötigte Information beispielsweise ausschließlich in der fotografisch-realistischen Darstellung. Fragen zu Strahlengängen konnten nur mit Hilfe der Information aus der grafisch-modellhaften Darstellung beantwortet werden.

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen (siehe Abb. 9). Bei dieser Testfrage sind zwei Einstellungen (Blende und Belichtung) in Zusammenhang mit der Bildhelligkeit zu bringen. Es handelt sich also um einen komplexen Zusammenhang. Informationen dazu waren ausschließlich aus den Realdarstellungen zu entnehmen.

Im Test wurde insgesamt darauf geachtet, dass die Fragen sowohl ein Schließen von der Einstellung auf das Bild erfordern als auch umgekehrt.

Vor der eigentlichen Untersuchung in der Schule wurden die Software und der Fragebogen in einer Vorstudie mit Studierenden des Lehramts getestet. Nach einem ersten Versuch wurden Fragen herausgenommen, mit deren Formulierung die Studierenden Probleme hatten und teilweise durch andere ersetzt. Beim zweiten Durchgang führte der Test mit 33 Studierenden zu einem Mittelwert von 6,8 beim Vortestergebnis und einem Mittelwert von 8,5 beim Nachtest (Rubitzko & Girwidz 2005). Eine Reliabilitätsanalyse ergab dabei ein Cronbachs Alpha von 0,71 mit den zwölf verwendeten Items.

Ein Foto ist mit der Belichtungszeit 1/60 s und Blendenzahl 4 aufgenommen worden. Gleich hell ist ein Foto mit ...	... Belichtungszeit 1/15 s und Blendenzahl 2.	<input type="checkbox"/>
	... Belichtungszeit 1/15 s und Blendenzahl 4	<input type="checkbox"/>
	... Belichtungszeit 1/60 s und Blendenzahl 2.	<input type="checkbox"/>
	... Belichtungszeit 1/60 s und Blendenzahl 8.	<input type="checkbox"/>
	Keine der vier Antworten ist richtig.	<input type="checkbox"/>

Abb. 9: Beispiel für eine Testfrage

Programm und Test sind durchaus für verschiedene Leistungsgruppen gedacht, konnten aber nur mit Studierenden vorgetestet werden. Auch wenn die Zielsetzungen gleich sind, müssen die statistischen Ergebnisse daher natürlich für eine Schülerpopulation entsprechend vorsichtiger interpretiert werden.

### 6.2.3 Ergebnisse

Zur Testauswertung wurde für jede richtige Antwort ein Punkt gegeben. Zwölf Punkte waren insgesamt zu erreichen. Für Teilaspekte wurden Items zu Subtests zusammengefasst. So waren bei eindimensionalen und komplexen Zusammenhängen jeweils sechs Punkte zu erreichen. Sowohl bei der Repräsentationsform Realdarstellung als auch bei der Modelldarstellung konnten jeweils fünf Punkte erreicht werden. (Die restlichen zwei Items bezogen sich explizit auf die Verknüpfung beider Repräsentationsformen.) Bei allen Signifikanztests (zweiseitig) wurde ein Signifikanzniveau von  $\alpha < 0,05$  festgelegt. Auf Unterschiede zwischen Vortest und Nachtest wurde mit einem T-Test für verbundene Stichproben geprüft. (Die dafür notwendige Normalverteilung der Testergebnisse wurde mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft.) Die Ergebnisse von Vortest und Nachtest finden sich aufgeschlüsselt nach Untersuchungsabsicht in Tabelle 1.

Der Vortest-Nachtestvergleich ergab einen geringen Zuwachs, der statistisch höchstsignifikant war ( $T = 6,0$ ;  $p < 0,001$ ). Die Verbesserung betrifft aber keineswegs gleichermaßen eindimensionale und komplexe Zusammenhänge. Der Vortest-Nachtestvergleich belegt für eindimensionale Zusammenhänge einen Zuwachs richtiger Antworten ( $T = 7,7$ ;  $p < 0,001$ ), während der Lernzuwachs bei den kom-

plexen Zusammenhängen unbedeutend und auch statistisch nicht signifikant war ( $T = 0,64$ ;  $p = 0,52$ ). Informationen konnten aber gleich gut aus beiden Darstellungen entnommen werden (siehe Tabelle 1).

## 6.3 Der Untersuchungsschwerpunkt „Einfluss der Lernvoraussetzungen und der Arbeitshefte“

### 6.3.1 Design

Ein 2 x 2 Design wurde für diese Teiluntersuchung gewählt. Abhängige Variable war der Lernzuwachs. Die Art des Arbeitshefts war eine unabhängige Variable; die zweite unabhängige Variable war die „naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit“. Dazu wurde von jeder Versuchsperson der Notendurchschnitt aus den Fächern Physik und Chemie gebildet. Die Versuchspersonen wurden nun mittels Mediansplit in zwei Gruppen geteilt. Dabei wurden Personen, die besser als der Median waren, der Gruppe "hohe Leistungsfähigkeit" zugeordnet. Personen, die gleich gut oder schlechter als der Median waren, wurden der Gruppe "niedrige Leistungsfähigkeit" zugeordnet.

### 6.3.2 Ergebnisse

Der Lernzuwachs wurde als Differenz aus Nachtest- und Vortestergebnis berechnet. Wiederum wurde als Signifikanzniveau  $\alpha < 0,05$  festgelegt. Auf Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen wurde mit einem T-Test für unabhängige Stichproben getestet. (Die Voraussetzung *Normalverteilung für jede Untergruppe* wurde wiederum mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft.)

Die Ergebnisse für den zweiten Untersuchungsschwerpunkt sind in Tabelle 2 aufgeführt.

n = 95	Gesamttest (max. = 12)		eindimensional (max. = 6)		mehrdimensional (max. = 6)		Realdarstellung (max. = 5)		Modelldarstellung (max. = 5)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Vortest	3,2	1,8	1,5	1,1	1,8	1,3	1,2	0,9	1,5	1,1
Nachtest	4,6	2,2	2,8	1,4	1,8	1,2	1,8	1,1	2,1	1,4
Differenz	1,4	2,3	1,3	1,7	0,1	1,5	0,6	1,4	0,6	1,3
T-Wert	6,0		7,7		0,6		4,6		4,3	
Signifikanz	< 0,001		< 0,001		0,52		< 0,001		< 0,001	

Tab. 1: Ergebnisse zum Untersuchungsschwerpunkt „Arbeit mit multiplen Repräsentationen“

n = 95	Reduktion der kognitiven Belastung	Entdeckendes Lernen	Beide Treatments
Leistungsstarke Lernende	n = 23 M = 0,4; SD = 1,8	n = 21 M = 2,2; SD = 2,1	n = 44 M = 1,3; SD = 2,1
Leistungsschwache Lernende	n = 25 M = 1,4; SD = 2,3	n = 26 M = 1,7; SD = 2,5	n = 51 M = 1,5; SD = 2,4
Alle Lernenden	n = 48 M = 1,0; SD = 2,1	n = 47 M = 1,9; SD = 2,3	n = 95 M = 1,4; SD = 2,3

Tab. 2: Ergebnisse zum Untersuchungsschwerpunkt „Einfluss von Lernvoraussetzungen und der Arbeitshefte“

Es konnte insgesamt kein signifikanter Unterschied im Lernzuwachs zwischen naturwissenschaftlich leistungsstarken und leistungsschwachen Lernenden festgestellt werden ( $T = 0,51$ ;  $p = 0,62$ ). Allerdings erreichten Lernende mit dem Arbeitsheft zum entdeckenden Lernen signifikant bessere Ergebnisse als mit dem Arbeitsheft, das die Reduktion der kognitiven Belastung betont ( $T = 2,1$ ;  $p = 0,035$ ).

Betrachtet man ausschließlich die leistungsschwachen Lernenden, so sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Treatments mit verschiedenen Arbeitsheften festzustellen ( $T = 0,43$ ;  $p = 0,67$ ).

Betrachtet man hingegen die leistungsstarken Lernenden, so zeigen sich hier hochsignifikante Unterschiede zwischen den Gruppen mit den verschiedenen Arbeitsheften ( $T = 3,0$ ;  $p = 0,004$ ). Dabei profitierten die Leistungsstarken deutlich mehr von den Heften, die das entdeckende Lernen unterstützen.

## 7 Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden werden beide Teiluntersuchungen diskutiert und ein Unterrichtskonzept skizziert, das den Ergebnissen Rechnung trägt.

Die Leistungsunterschiede zwischen Vor- und Nachtest waren relativ gering. Speziell bei der Subskala „komplexe Zusammenhänge“ war ein Bodeneffekt zu erkennen. Entsprechende Lerneffekte waren wohl in dieser kurzen Zeit nicht erreichbar. Allerdings sollte die Unterrichtszeit bewusst auf eine Schulstunde begrenzt bleiben, um eine Einschätzung zu ermöglichen, was unter realistischen Rahmenbedingungen zu leisten ist.

### 7.1 Arbeit mit multiplen Repräsentationen

Die Informationsentnahme konnte aus beiden Repräsentationsformen erfolgen. Offensichtlich blieben hinreichend kognitive Ressourcen zur Verarbeitung und Verknüpfung beider Darstellungen verfügbar. Allerdings waren die Unterschiede zwischen Vortest und Nachtest nicht so groß wie erhofft und zudem beschränkte sich der Lernzuwachs auf eine Verbesserung bei eindimensionalen Zusammenhängen. Komplexe Zusammenhänge wurden nach dem Unterricht nicht wesentlich besser erkannt als zuvor. Man muss also davon ausgehen, dass die aufgebauten mentalen Modelle bei vielen Lernenden noch sehr unvollständig oder in Einzelbausteinen getrennt waren.

### 7.2 Arbeitshefte und Leistungsfähigkeit

Der Lernzuwachs war bei den naturwissenschaftlich leistungsfähigeren Lernenden insgesamt nicht größer als bei den leistungsschwachen. Dies lässt sich vermutlich unter anderem auf die einführende Animation und damit auf den von Mayer und Moreno (2003) beschriebenen Effekt des Vortrainings zurückführen. Damit waren vermutlich eventuelle geringe Unterschiede im ohnehin nur geringen themenspezifischen Vorwissen bereits weitgehend ausgeglichen.

Dennoch spielte die allgemeine naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit eine Rolle. Im Mittel lernten die Leistungsstärkeren besser mit dem Arbeitsheft zum entdeckenden Lernen. Hierfür sind zwei Ursachen denkbar:

Erstens könnten für die leistungsstarken Schüler die etwas komplexeren Anforderungen beim Arbeitsheft zum entdeckenden Lernen anregend und eine angemessene Herausforderung gewesen sein.

Zweitens kann der „Expertise-Reversal-Effekt“ bewirkt haben, dass die zusätzliche Unterstützung durch das sehr stark leitende Arbeitsheft gerade für Leistungsstarke nachteilig war. Der Versuch, die kognitive Belastung möglichst gering zu halten, könnte dort zu einem Aufmerksamkeitsverlust oder zu einer Unterforderung geführt haben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Information aus beiden Repräsentationsformen zu einem Lernzuwachs beigetragen haben, der sich allerdings vorwiegend bei eindimensionalen Zusammenhängen zeigt. Dabei sollte die Art des Arbeitsbogens auf die Vorkenntnisse der Lernenden abgestimmt sein.

### 7.3 Die virtuelle Kamera im regulären Physikunterricht.

Die bisherigen Erfahrungen haben uns zu folgendem erweiterten Unterrichtsvorschlag geführt. Er umfasst etwa zwei bis drei Schulstunden und soll auch die komplexeren Zusammenhänge zugänglich machen. Dabei sind Ergänzungen mit anderen Medien und auch das Unterrichtsgespräch wichtig.

- 1) Der Einstieg kann über verschiedene Fotos mit künstlerischen Aspekten erfolgen. So bieten sich Fotos von Fahrgeschäften eines Jahrmarktes zum gezielten Einsatz von Bewegungsunschärfe (entsprechend Abb. 1) oder auch Portraits mit und ohne Tiefenschärfe an.
- 2) Ein Teil der Erarbeitungsphase kann mit dem Computer und den Arbeitsheften erfolgen. Je nach Klassenstufe, Schulart und Vorwissen sollte ein geeignetes Arbeitsheft gewählt werden. So können einfache Zusammenhänge selbstständig von den Schülern erarbeitet und eine Grundlage für ein anschließendes Unterrichtsgespräch gelegt werden.
- 3) Im Unterrichtsgespräch können die einzelnen Erkenntnisse über die Zusammenhänge zu einem komplexeren Modell zusammengeführt und dieses dann mit der Simulation auf seine Tragfähigkeit getestet werden. Neben dem Computer selbst können hier auch experimentelle Aufbauten wie eine optische Bank mit Linse, Lochblende und Schirm helfen.

Aber auch der Einsatz weiterführender Computersimulationen, beispielsweise zur Brechung, wie es von Mikelskis (1997) mit dem Programm phenOpt vorgeschlagen wird, ist sinnvoll. Eine weitere Ergänzung ist das frei erhältliche Programm zur Optik mit Lichtbündeln von Ditt-

mann und Hacker (2003), das beispielsweise auch die Kaustik bei Linsen gut zeigt.

- 4) Als Sicherung wird eine an der Abbildung 2 orientierte Übersicht über die Zusammenhänge beim Fotografieren erarbeitet. Dadurch findet auch eine grafische Repräsentation statt. Dabei können auch je-desto-Sätze formuliert oder konkrete Werte der Kameraeinstellung diskutiert werden.
- 5) Die Anwendung und das Üben erfolgt anschließend mit einer herkömmlichen Spiegelreflexka-

mera oder einer einstellbaren Digitalkamera. Damit können dann Fotografien gemacht werden, wie sie zum Einstieg gezeigt wurden.

Abschließend möchten wir noch betonen, dass auch hier dem Computer zwar eine ergänzende, aber keinesfalls eine ersetzende Rolle im Unterricht zukommt und er andere sinnvolle Maßnahmen nicht verdrängen soll.

## 8 Literatur:

- Ainsworth, S. (1999). The Functions of Multiple Representations. *Computers & Education*, 33, S. 131-152.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8, S. 293-332.
- De Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68 (2), S. 179-201.
- Dittmann, H. & Hacker, G. (2003). Programm zur Bündeloptik. <http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/download/window.htm> (24. 8. 2005).
- Dutke, S. (1994). Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. *Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen, Stuttgart: Verlag für angewandte Psychologie.
- Girwidz, R. (2004). Lerntheoretische Konzepte für Multimediaanwendungen zur Physik. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1/3, S. 9-19.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist*, 38 (1), S. 23-31.
- Kirstein, J. & Rothenhagen, A. (2002). Bildschirmexperimente. *Unterricht Physik*, 13 (69), S. 20-21.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38 (1), S. 43-52.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia Learning: Are We Asking the Right Questions? *Educational Psychologist*, 31, S. 1-19.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mikelskis, H. (1997). Der Computer - ein multimediales Werkzeug zum Lernen von Physik. *Physik in der Schule*, 35 (11), S. 394-398.
- Rubitzko, T. & Girwidz, R. (2005). Fotografieren mit einer virtuellen Kamera - Lernchance für Anfänger und Fortgeschrittene. Erscheint im Tagungsband der Frühjahrstagung der DPG 2005. in press.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. & Anderson, D. K. (1988). Cognitive Flexibility Theory: Advanced Knowledge Acquisition in Ill-structured Domains. In: V. Patel (Ed.), Tenth annual conference of the cognitive science society (S. 375-383). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J., Coulson, R. L. (1992). Cognitive Flexibility, Constructivism, and Hypertext: Random Access Information for Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. In: T. Duffy, D. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the Technology of Instruction: A Conversation*. (S. 57-75) Hillsdale N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Sweller, J., van Merriënboër, J. & Paas, F. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), S. 251-296.
- Vorwerk, B. (1992). Die Gestaltung von Fotos als Unterrichtsprojekt. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 11, S. 24-30.