

Dynamik-Lernen mit multimedial-experimentell unterstütztem Werkstatt-Unterricht – Erfahrungen mit einem Unterrichtskonzept

K.Blaschke, D. Heuer

1 Dynamik zu lernen ist schwer

Da die vorunterrichtlichen Vorstellungen aus dem Alltag und die im Physikunterricht zu erlernenden Konzepte häufig im Gegensatz zueinander [7] stehen, ergeben sich im Dynamikunterricht gravierende Lernschwierigkeiten bei Schülern und Studenten. Seit Anfang der achtziger Jahre untersucht und dokumentiert die naturwissenschaftsdidaktische Lernforschung solche Lernschwierigkeiten, und diskutiert Lernstrategien zu ihrer Überwindung, die zum Teil auch umgesetzt wurden (s. z. B. [1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]).

Am Lehrstuhl Didaktik der Physik in Würzburg wurden von 1993 bis 1997 das Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Kraftkonzept von über 800 Schülerinnen und Schülern der 11. Klassen an 20 bayerischen Gymnasien und technischen Fachoberschulen untersucht. Für diese Erhebungen wurden Multiple-Choice-Aufgaben von R. Thornton und D. Sokoloff [3], [5] überarbeitet und teilweise ergänzt¹. Der größte Teil der Aufgaben thematisiert Zuordnungen von physikalischen Aussagen zu eindimensionalen Bewegungen anhand von Orts-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Kraftgrafiken. Die Auswertungen zeigen, s. Heuer, Wilhelm [8], daß die deutschen Schüler ähnliche Schwierigkeiten haben, wie die von R. Thornton und D. Sokoloff untersuchten Schüler und Studenten.

2 Neue Methodenelemente für einen Dynamikunterricht

2.1 Wie kann der Lernerfolg verbessert werden?

Die entscheidende Frage für den Schulalltag ist, wie der Lernerfolg im Dynamikunterricht verbessert werden kann. Das ist gleichzeitig die Frage nach typischen Lernschwierigkeiten und wie sie abgebaut werden können. Eine dieser Schwierigkeiten ist, neue Sachverhalte aus durchgeführten Versuchen zu erschließen. Hier ist es nötig, Versuchsabläufe so aufzubereiten, daß der kognitive Aufwand, Versuchsaussagen zu erkennen und sie dann auch im Zusammenhang mit anderen

¹ Die Testaufgaben können bei den Verfassern angefordert werden

Sachverhalten zu vergegenwärtigen und in Beziehung zu setzen, für die Lernenden möglichst gering wird.

Eine solche Aufbereitung von Versuchsabläufen ist heute leicht möglich, wenn Versuche und Inhalte zur Kinematik und Dynamik rechnerunterstützt erarbeitet werden. Wenn allerdings die Versuchsabläufe in der üblichen Form der Diagramme aufbereitet werden, hat dies den gravierenden Nachteil, daß diese Diagramme dem Lernenden anfänglich recht abstrakt erscheinen. Außerdem muß die Zuordnung des beobachteten Versuchsablaufes zu den Diagrammverläufen erst rekonstruiert werden, was für Novizen i. allg. mühevoll ist.

Viel hilfreicher sollte es daher sein, wenn die Versuchsabläufe zunächst in Echtzeit so bildlich aufbereitet werden, daß wichtige Aussagen durch die gewählte Kodierung möglichst ohne lange logische Implikationen direkt erfassbar werden. Dazu eignen sich besonders ikonische Bildelemente, die sowohl Versuchssituationen als auch physikalische Größen dynamisch in quantitativer Form repräsentieren können. Gegenüber statischen Lehrbuchabbildungen erschließen solche Visualisierungen dann neue Lernzugänge. Denn solche Darstellungen können durch ihre dynamisch ikonischen Bildelemente nicht nur die jeweilig vorliegende *momentane* Versuchssituation auf das Wesentliche reduziert wiedergeben, sondern sie können zusätzlich Strukturgrößen und Strukturzusammenhänge in einer Form anzeigen, mit der in der Vorstellung leichter operiert werden kann.

Für die beschleunigte Bewegung eines Luftkissengleiters, auf den ein Zuggewicht wirkt, gibt die Abb.1a ein Beispiel für diese Darstellung des Realversuchs am Bildschirm. Allerdings ist durch die statische Wiedergabe in der Abbildung die dynamisch ikonische Repräsentation der alten und der neuen Geschwindigkeit sowie der Geschwindigkeitsänderung dv^{\perp} eingefroren. Aus der Abfolge solcher Bilder sind dann Versuchsaussagen über die Geschwindigkeit vor und nach der Reflexionsphase unmittelbar ersichtlich. Auf diese Weise können gleichzeitig sowohl Oberflächenmerkmale vermittelt werden, die den Versuchsablauf charakterisieren, als auch Tiefenstrukturen, die physikalische Konzepte verdeutlichen. So kann der Aufbau mentaler Modelle durch bildhafte Vorstellungen intensiv unterstützt werden, s.[10].

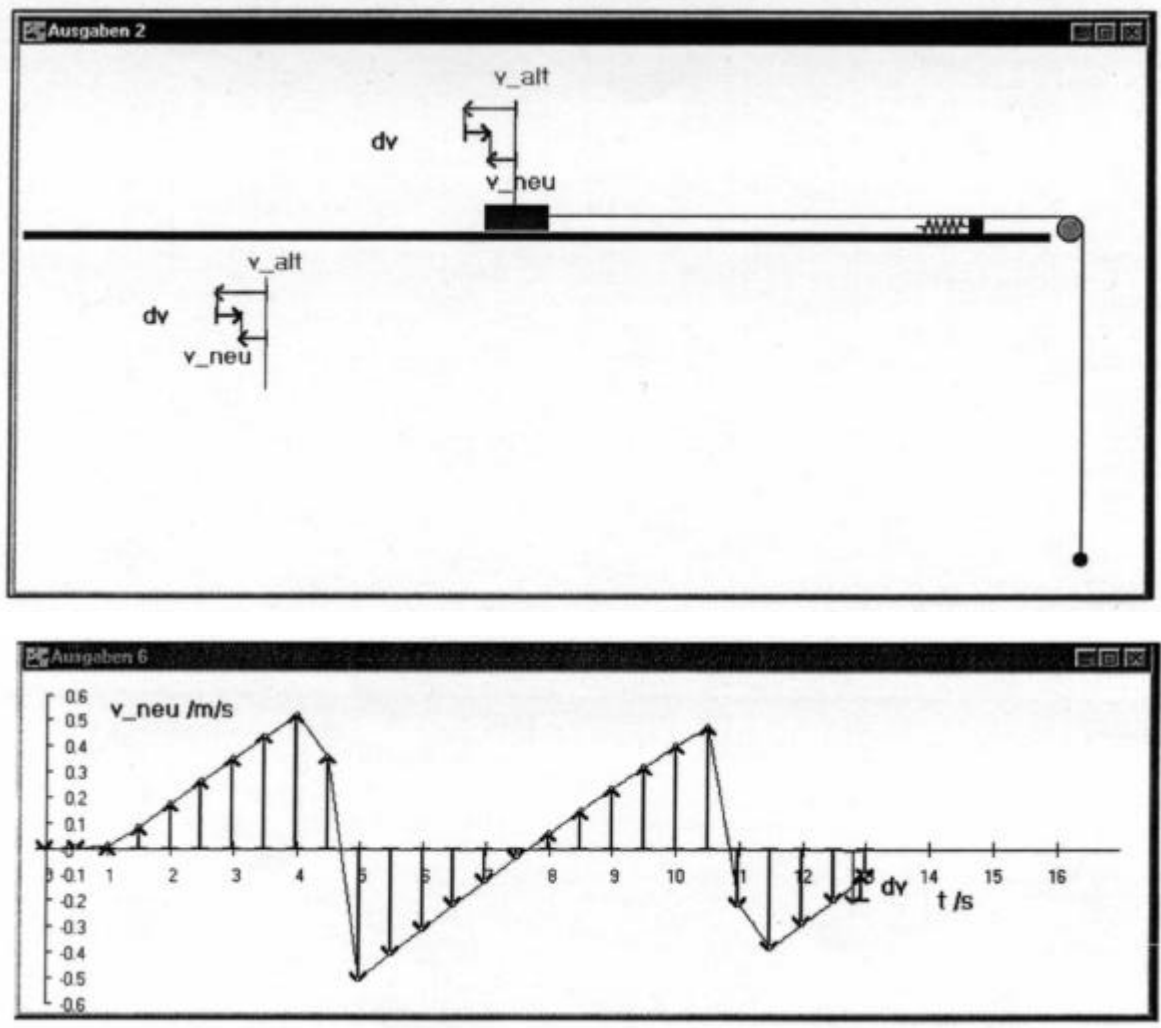


Bild 1 Ein Luftkissengleiter wird von einem Zuggewicht beschleunigt und am Fahrbahnenende reflektiert. (a) Die alte Geschwindigkeit v_{alt} , die neue Geschwindigkeit v_{neu} und die Geschwindigkeitsänderung dv werden als Vektoren dargestellt, sowohl mitbewegt mit dem Gleiter als auch ortsfest. (b) Als Übergang zur herkömmlichen Repräsentationen des Bewegungsablaufs durch ein Diagramm wird zusätzlich zur dynamischen ikonischen Repräsentation aus Bild 2(a) das $v(t)$ -Diagramm mit dargestellt, in das die Geschwindigkeitsvektoren mit eingezeichnet werden.

2.2 Neue Lernzugänge durch dynamisch ikonische Repräsentationen

Wie das oben angedeutete Beispiel verdeutlicht, bietet ein Unterrichtskonzept, das durch Visualisierungen neue Lernzugänge schafft, auch neue methodische Möglichkeiten.

- Aussagen über physikalische Größen und ihre Zusammenhänge werden zusammen mit dem darzustellenden Versuchsablauf durch dynamisch ikonische Repräsentationen dargestellt, so daß diese direkter erschlossen werden als durch Graphen.

Der synchrone Einsatz mehrerer Kodierungssysteme bietet dem Lernenden Möglichkeiten, kurzzeitig von einer noch ungewohnten, logisch abstrakten Kodierung auf eine gewohntere bildlicher zu wechseln, um mit den so gewonnenen zusätzlichen Informationen Verständnisschwierig-

keiten auszuräumen. Die Zusammenschau von Abb. 1a und Abb. 1b, in denen der Bewegungsablauf sowohl durch dynamisch ikonische Bildelemente als auch durch ein Diagramm repräsentiert wird, gibt dazu ein Beispiel. Zusätzlich hilft die parallele zeitliche Darstellung des Versuchsablaufs, also von Oberflächenmerkmalen, Vernetzungen zwischen Realsituationen und Strukturaussagen herzustellen.

- Dynamisch ikonische Repräsentationen helfen durch die Möglichkeit der Rückgriffe das Erlernen und Nutzen eines noch ungewohnten, abstrakteren Kodierungssystems zu erleichtern.

Leicht zu realisierende ikonische Darstellungen, die wichtige Strukturaussagen während des Versuchsablaufs oder seiner Reproduktion visualisieren, ermöglichen es für die Erarbeitung auf "Zwischenebenen" mit reduzierter Komplexität zu arbeiten, z. B. statt der Beschleunigung anfänglich wie in Abb. 1a angedeutet nur die Geschwindigkeitsänderung $d\vec{v}$ zu betrachten.

- ?? Mit Hilfe ikonischer Darstellungen, die relevante Strukturaussagen visualisieren, können neue fachmethodische Zugänge für komplexere Inhalte geschaffen werden.

Ein anderes Beispiel deutet die Abb. 2 an: Bei einem Gleiter auf einer schiefen Ebene, deren Neigung während des Versuchs kontinuierlich verändert wird, werden die Hangabtriebskraft \vec{F}_H , die Geschwindigkeit \vec{v} und die Beschleunigung \vec{a} fortlaufend gemessen. Der Ablauf und noch mehr seine Reproduktion evt. mit Einzelbildschaltung machen durch die ikonisch dynamischen Repräsentationen unmittelbar deutlich, daß ganz unabhängig von \vec{v} die Beschleunigung \vec{a} und die Kraft \vec{F}_H zueinander proportional sind.

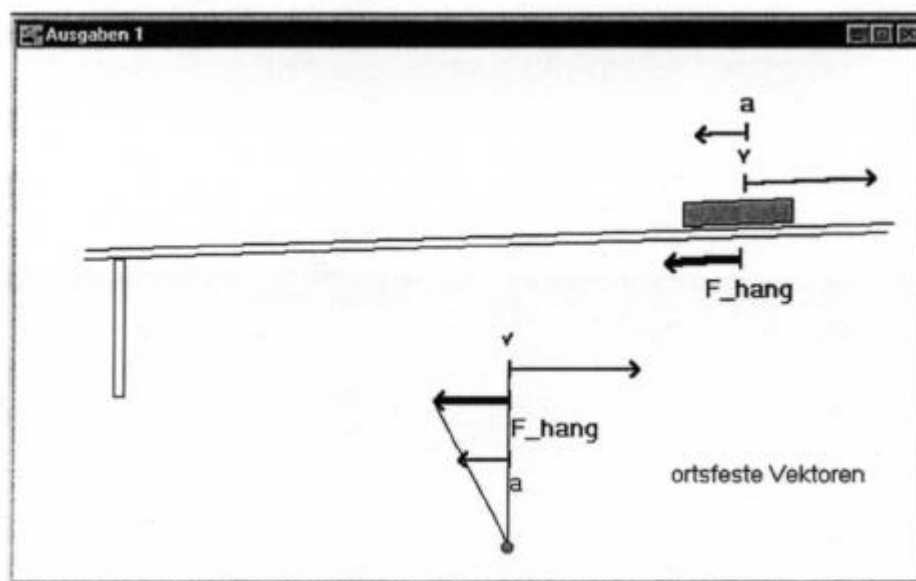


Bild 2 Aus dem Zusammenhang der Vektoren \vec{F}_H , \vec{a} sind die Grundaussagen des 2. Newtonschen Gesetzes sofort ablesbar.

Es ist klar, daß die mit der Software des Rechners erstellten Repräsentationen für den Lernenden zuerst nur ein Angebot darstellen, das es ihm ermöglicht, seine Vorstellungen zu erproben und auszuschärfen. So sollen die Repräsentationen zu aktiver Auseinandersetzung anregen, d. h. eigene Vorstellungen müssen artikuliert, diskutiert und an der Realität gemessen werden. Dazu bieten sich als Unterrichtsformen das Unterrichtsgespräch mit Demonstrationsversuchen, Gruppenarbeit mit Schülerversuchen und Gruppenarbeit mit korrespondierenden Simulationen an, wobei diese Aktivitäten auch im zeitlichen Wechsel eingesetzt werden können und sollten.

?? Das Zusammenwirken der drei Elemente:

?? Formulieren der eigenen Vorstellungen,

?? Sich auseinandersetzen mit fremden Argumenten und

?? Einbeziehen von Aussagen aus gezielt durchgeführten Experimenten und korrespondierenden Simulationen

ergeben ein anregendes und produktives Lernklima. So entsteht eine effiziente Wechselbeziehung von externer Welt und mentalem Modell des Lerners, die dem Lerner hilft, sein mentales Modell zu erweitern und zu verändern .

Setzt man die dargestellten Methodenelemente integriert ein, so kann man von einer neuen Methoden-Konzeption sprechen. Mit einem Schlagwort kann man diese Konzeption kurz als **multimedial-experimentell unterstützten Werkstatt-Unterricht (MEW-Unterricht)** charakterisieren. Multimedial-experimentell ist der Unterricht zu nennen, weil unterschiedliche Medien wie rechnerunterstützte Experimente und Simulationen mit parallel eingesetzten unterschiedlichen Kodierungen genutzt werden. Das Stichwort: Werkstatt-Unterricht soll die Offenheit des Lernvorgangs, das eigene Erarbeiten auf der Basis der bisher gebildeten Vorstellungen und mentalen Modelle und damit die konstruktivistische Komponente des Lernens herausstellen.

2.3 Umsetzung der neuen Unterrichtskonzeption: Multimedial-experimentell unterstützter Werkstattunterricht zur Dynamik

K. Blaschke setzte von 1996 bis 1998 in zwei Pilotstudien in jeweils zwei 11ten naturwissenschaftlichen Klassen mit insgesamt 43 bzw. 37 Schülern obiges MEW-Konzept um. Zur Realisierung der computerunterstützten Versuche mit dynamisch ikonischen Repräsentationen, sowie für

die eingesetzten Simulationen wurde PAKMA² benutzt. Der MEW - Unterricht wurde einmal in Verbindung mit Schülerversuchen 1996/97 und zum anderen nur mit Lehrerdemonstrationsversuchen 1997/98 durchgeführt. Bei der zweiten Studie wurden nach dem Zwischentest noch zusätzlich ausgewählte PAKMA - Simulationsprojekte in Zweiergruppen im Computerraum bearbeitet.

Bei der Untersuchung zum MEW - Unterricht mit Lehrerdemonstrationsversuchen ging es vor allem darum, die oben dargestellte Unterrichtskonzeption zu erproben. Unsere Projekte mit MEW-Unterricht in Verbindung mit Schülerversuchen (SV) bzw. Lehrerdemonstrationsversuchen (LV) wurden lehrplankonform durchgeführt und benötigten mit allen Versuchen³ insgesamt ca. 28 Stunden und bei dem Unterricht mit nur Demonstrationsversuchen ca. 23 Stunden⁴.

Im Folgenden soll nur über die Umsetzung, die Erfahrungen mit dem Konzept MEW-LV und die daraus gewonnen Ergebnisse berichtet werden. Denn das Unterrichtskonzept mit Schülerversuchen ist wegen der experimentellen Ausstattung, der Vorbereitung und dem notwendigen Arbeitsaufwand deutlich aufwendiger und daher für viele Kollegen viel schwieriger durchzuführen. Auch werden die Ergebnisse aus den Testfragen beim MEW-SV Unterricht in etwa vergleichbarer Weise beantwortet wie beim MEW-LV Unterricht, s. auch [11].

Um das in 2.2 begründete Konzept des MEW-Unterrichts mit Lehrerversuchen umzusetzen, wurde zur Klärung von Fragestellungen im Unterricht in methodisch ähnlicher Weise vorgegangen wie es R. Thornton, D. Sokoloff in [4] vorschlägt. Auf die experimentelle Vorstellung eines Sachverhalts im Lehrerdemoexperiment hin versuchen die Schüler eine Erklärung zu geben, zuerst in Einzelarbeit evtl. mit vorbereitetem Arbeitsblatt. Nach ergänzender rechnerunterstützter Durchführung des Experiments mit dynamisch ikonischen Repräsentation wird in Kleingruppenarbeit über unterschiedliche Ergebnisse diskutiert, diese vor der Klasse vorgestellt und dann versucht, im gemeinsamen Unterrichtsgespräch eine Lösung zu finden, evtl. unter Wiederholung und Variation der Ausgangsexperimente. Neue Versuchsvarianten werden überlegt, realisiert und geklärt, auch unter Einbeziehung von Transfersituationen.

² Die PAKMA-Version 2.5 ist zusammen mit zahlreichen Projekten auf der CD zum Lösungsheft Dorn-Bader ·Physik 11 Lösungen ·Gymnasium SEK II im Schroedel Verlag 1998 erschienen, ISBN 3-507-10730-9. Aktuelle Informationen zum Softwaresystem PAKMA findet sich im Internet unter <http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de>

³ Eine Übersicht über die eingesetzten Versuche kann bei den Autoren angefordert werden.

⁴ Nach dem bayerischen Lehrplan für Physik (Amtsblatt (1991)) [21] sind für einfache lineare Bewegungen und die Newtonschen Gesetze mit Anwendungen für alle gymnasialen Zweige ca. 20 Unterrichtsstunden vorgesehen. Im naturwissenschaftlichen Zweig können noch einmal als eines von zwei Addita Experimente zu ausgewählten Kapiteln der Mechanik mit 13 Stunden dazukommen.

Ein Ziel ist, wo es notwendig wird, einen Konzeptwechsel (conceptual change) anzubahnen [14]. Dabei wird nicht angestrebt, daß die Schüler ein Konzept gegen ein anderes austauschen. Die Schüler sollen vielmehr durch situiertes Lernen erfahren, daß in bestimmten Situationen ihre Alltagsvorstellungen (z. B. über Beschleunigungen und Kräfte) keine ausreichende Orientierung mehr bieten, sie daher abzuändern sind, und daß in diesen Situationen naturwissenschaftliche Beschreibungsmodelle herangezogen werden müssen.

2.4 Ein Beispiel für eine Unterrichtssequenz: Kräfte in und gegen Bewegungsrichtung

In dieser Unterrichtssequenz sollen die Schüler eine Anwendung des 2. Newtonschen Axioms für veränderliche Kräfte erfahren. Auf einer schiefen Ebene wird durch rhythmisches Heben und Senken ein Gleiter so hin- und herbewegt, dass er an den Enden nicht anstößt. Über ein hochauflösendes Zählrad wird der Ort bestimmt und daraus dann die Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet. Die Hangabtriebskraft wird aus der in jedem Moment gemessenen Neigung berechnet und auf dem Bildschirm mit dargestellt, [15]. Dieser Versuch wird als Grundversuch ohne Reibungskräfte durchgeführt und später als analoger Versuch mit Reibung. Es wurde in folgenden Schritten S 1 bis S 8 vorgegangen:

- S 1 Der Lehrer zeigt den Schülern die Anordnung und lässt den Gleiter durch geschicktes rhythmisches Kippen hin- und herfahren.
- S 2: Die Schüler werden aufgefordert, auf einem vorbereiteten Antwortbogen zu verschiedenen typischen Situationen (linkes Ende der Fahrbahn angehoben, waagrecht, rechtes Ende angehoben, waagrecht) die Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Kraftpfeile einzuzichnen. Auf einem zweiten Bogen sollen dann die $v(t)$ -, $a(t)$ - und $F(t)$ -Diagramme für eine Bewegung hin- und zurück gezeichnet und die einzelnen Phasen mit "schneller werden, langsamer werden, Umkehrpunkt, schneller werden, langsamer werden" beschriftet werden.
- S 3: Der Versuch wird mit Rechnerunterstützung durchgeführt. Das Ergebnis wird zuerst in Form von dynamisch ikonischen Repräsentationen wiedergegeben. Für die Diskussionsphasen lässt der Lehrer das Versuchsergebnis in Reproduktion und Einzelschrittbeachtung einmal bzw. mehrmals ablaufen.
- In einem weiteren Durchlauf wird das Ergebnis in Form von Diagrammen dargestellt.
- S 4: Schüler vergleichen ihre Vorhersagen mit den Versuchsergebnissen auf dem Bildschirm und diskutieren in Kleingruppen darüber.
- Einige Gruppen stellen ihre Ergebnisse der Klasse vor und erläutern, wo sie Schwierigkeiten gehabt haben.
- Typische Fehlkonzepte:
- (1) Die Abbremsphase wird nicht gesehen, d.h. der Geschwindigkeitsgraf geht sofort auf Null zurück.
- (2) Beim Zurückfahren wird der Beschleunigungsgraf entgegengesetzt zum Grafenstück bei der Abbremsphase gezeichnet, denn "die Beschleunigung müsste doch immer in die Richtung wirken, in der sich der Wagen bewegt" (Schüleräußerung).
- S 5: Lehrer fordern einzelne Gruppen auf, ihre Überlegungen kurz der gesamten Klasse vorzustellen und zu begründen.

- S 6: In einem gemeinsamen Klassengespräch wird versucht, eine Klärung herbeizuführen; hierzu wird der Versuch mit Rechnerunterstützung noch einmal durchgeführt und dabei die unterschiedlichen Repräsentationsmöglichkeiten genutzt.
- S 7: Versuchsvariante1 mit Anstoßen am jeweiligen Ende der Fahrbahn
Versuchsvariante2 wie Grundversuch aber jetzt mit horizontalen Abschnitten
- S 8: Schüler diskutieren den Versuch mit dem rhythmischen Kippen mit Reibungskräften
Typische Fehlkonzepte in Schüleräußerungen
“Ein schwerwiegenderes Problem liegt in dem Verständnis der wirkenden Kräfte während der Bewegung des Wagens” (mit Reibung) “von links unten nach rechts oben. Zwar habe ich von Beginn an verstanden, daß während dieser Phase die Reibungs- und die Hangabtriebskraft in die gleiche Richtung (nach links unten) wirken. Jedoch habe ich nie richtig begriffen, warum sich der Wagen eigentlich nach rechts oben, entgegengesetzt der wirkenden resultierenden Kraft bewegt, wenn an ihm keine Kraft in Bewegungsrichtung wirkt.
oder:
Wenn der Wagen nach oben fährt und dabei langsamer wird, warum ist die Beschleunigung größer als beim Herunterfahren, obwohl er dort schneller wurde, also da die Beschleunigung größer sein müßte. Die Beschleunigung müßte doch immer in die Richtung wirken, in der sich der Wagen bewegt.”
oder:
“Irgendeine Kraft muß in Bewegungsrichtung wirken, damit Wagen nach oben fährt, z.B. eine dritte Kraft zur Reibungskraft und zur Hangabtriebskraft, entgegengesetzt, damit er überhaupt nach oben kommt.”

2.5 Themen zur Kinematik und Dynamik eindimensionaler Bewegungen

In entsprechender Weise, wie an dem Beispiel “Kräfte in und gegen Bewegungsrichtung” ausgeführt, wurden im Unterricht schwerpunktmäßig folgende zentrale Themen zu linearen Bewegungen sowohl mit dynamisch ikonischen Repräsentationen als auch mit korrespondierenden Grafendarstellungen [15] bearbeitet. Der Einstieg in die wichtigen kinematischen Größen Ort, Ortsänderung, Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsänderung erfolgte anhand der Situationen: Anfahren, Rollen und Bremsen eines Fahrrades [16] und Hin- und Hergehen eines Schülers vor dem Sonarometer. An der geneigten Fahrbahn wurde der Begriff der Beschleunigung, der erfahrungsgemäß Lernenden sehr viel mehr Schwierigkeiten bereitet als der Begriff der Geschwindigkeit, thematisiert und ausgeschärft. Um Verständnisschwierigkeiten zu begegnen, wurden auch Bewegungen untersucht, in denen sowohl Geschwindigkeit und Beschleunigung unterschiedliche Richtungen haben als auch negative Beschleunigungen vorkommen. Dazu wurden Fahrbahnversuche mit veränderli-

cher Neigung, Reflexion am Ende und rhythmischem Kippen durchgeführt, s. dazu auch [9] und [17]. In der Dynamik kamen neben den herkömmlichen Versuchen zu Kraft und Beschleunigung (2. Newtonsche Gesetz) vor allem auch Versuche mit mehreren wirkenden Kräften, insbesondere mit konstanter Gleit- und geschwindigkeitsabhängiger Reibungskraft, zum Einsatz, s. [15]. Diese schätzen die Schüler als sehr wichtig und hilfreich ein für den Aufbau ihres physikalischen Verständnisses und für die Klärung noch vorhandener Probleme. Zum Abschluß dieser Unterrichtssequenz wurde der Versuch: Fahrradziehen mit konstanter Zugkraft [17], [18] und Bremsen, behandelt. Damit erfolgte zusammen mit den Reibungsversuchen aus Sicht aller Schüler ein wichtiger, fruchtbarer und motivierender Brückenschlag sowohl zum Eingangsversuch als auch zu Bewegungsabläufen aus dem Alltag.

3 Hypothesen, Erhebungsinstrumente und Gruppeneinteilungen

Um den Erfolg des multimedial - experimentell unterstützten Werkstattunterrichts (MEW-LV) zu evaluieren, wurden folgende Fragestellungen getestet und näher untersucht:

- Kann nach einem solchen MEW-Unterricht ein Großteil der Schüler bei Konfrontation mit Alltagssituationen die physikalische Sichtweise durchhalten?
- Können Schüler nach diesem Unterricht im Zusammenhang mit physikalischen Fragestellungen angemessen mit Diagrammen umgehen und sie interpretieren?
- Können Schüler aus den Erprobungsklassen Transferaufgaben besser als Schüler aus Vergleichsklassen lösen?

Um Vorstellungen zu Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Kraftkonzepten zu untersuchen, wurden Multiple-Choice-Tests – zum größeren Teil im Zusammenhang mit Diagrammen – als Vor-, Zwischen- und Endtest (ca. 5 Monate nach dem Erprobungsunterricht) am Ende des Schuljahres eingesetzt und zusätzlich der Force Concept Inventory (FCI) Test [19], ebenfalls als Vor- und Endtest. Weiter beantworteten Schüler der Erprobungsgruppe einen Fragebogen mit 40 Aussagen u. a. zum Lernen im Unterricht und zur Einschätzung, für wie wirksam sie dynamisch ikonischen Repräsentationen und Graphen für ihr Lernen halten.

Um den Lernerfolg zu vergleichen, wurden neben der Erprobungsgruppe mit MEW-LV Unterricht noch 29 weitere Klassen mit traditionellem Unterricht in die Untersuchung mit einbezogen. Diese wurden in 3 weitere Vergleichsgruppen (insgesamt 558 Schüler) unterteilt, je nach unter-

schiedlicher Intensität und Art des Rechneinsatzes. Diese Gruppen bearbeiteten obige Multiple-Choice-Tests am Ende des Schuljahres 11.

4 Auswertungen der Erhebungen

4.1 Der Kinematik-Dynamik-Test (KD-Test)

Die Ergebnisse der Multiple-Choice-Tests zu den $v(t)$ -Diagrammen unterscheiden sich innerhalb der einzelnen Gruppen kaum. Hingegen liegt bei allen anderen Aufgaben des KD-Tests, nämlich den Aufgaben zu den $a(t)$ - und $F(t)$ - Diagrammen, zur Schlittenaufgabe und zum senkrechten Münzwurf (KD-Test) die Antworthäufigkeit der Erprobungsgruppen, sowohl im Zwischen- wie im Endtest im Schnitt zwischen 40 und 50 Prozentpunkte höher als die der Vergleichsgruppen (s. Abb.3). Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse der Erprobungs- und Vergleichsgruppen in den Vortests nur unwesentlich. Sie liegen zwischen ca. 6% bis 12%.

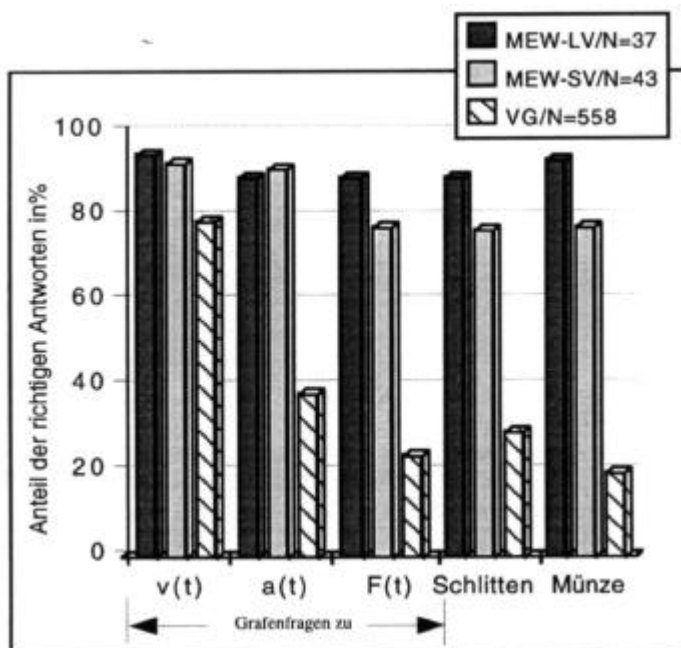


Bild 3 Globale Gegenüberstellung des Anteils der richtigen Ergebnisse im Endtest (ca. 5 Monate nach Ende der Unterrichtssequenz Kinematik und Dynamik eindimensionaler Bewegungen) zu den Aufgaben zu Kinematik, zu Kräften und zur Schlitten- und Münzaufgabe. Die Kategorien MK1 bis MK3 wurden dabei zu einer Vergleichsgruppe VG (N=558) zusammengefasst.

4.2 Die Erhebungen innerhalb der Vergleichsgruppen – Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der Erprobungsgruppen

Um Anhaltspunkte zu erhalten, wie in den Schulklassen der Vergleichsgruppen die Beantwortung der Testaufgaben von dem durchgeführten Unterricht und den eingesetzten Medien abhängt, wurden diese Klassen, entsprechend ihrem Unterricht, in vier methodische Kategorien (MK) unterteilt. **MK1**: 17 Vergleichsgruppen mit traditionellem Unterricht, charakterisiert durch wenige Versuche, diese ohne Rechnereinsatz, aber mit intensiver Grafeninterpretation ($s(t)$ -, $v(t)$ -, $a(t)$ - und $F(t)$ - Diagramme). **MK2**: 4 Vergleichsgruppen mit gelegentlichem Rechnereinsatz und normaler Grafeninterpretation (vor allem $s(t)$ -, $v(t)$ - und $a(t)$ - Diagramme). **MK3**: 8 Vergleichsgruppen mit häufigem Rechnereinsatz, zahlreichen (auch authentischen) Versuchen und intensiver Grafeninterpretation. Dazu kommen dann die Erprobungsgruppen **MK4** (MEW-SV) und **MK5** (MEW-LV) mit jeweils 2 Klassen.

In der Abb.4a sind für die richtigen Lösungen der $a(t)$ -Diagramme die jeweiligen Mittelwerte mit Standardabweichungen in den Zwischen- bzw. Endtests wiedergegeben, in Abb. 4b die entsprechenden Werte für die $F(t)$ -Diagramme.

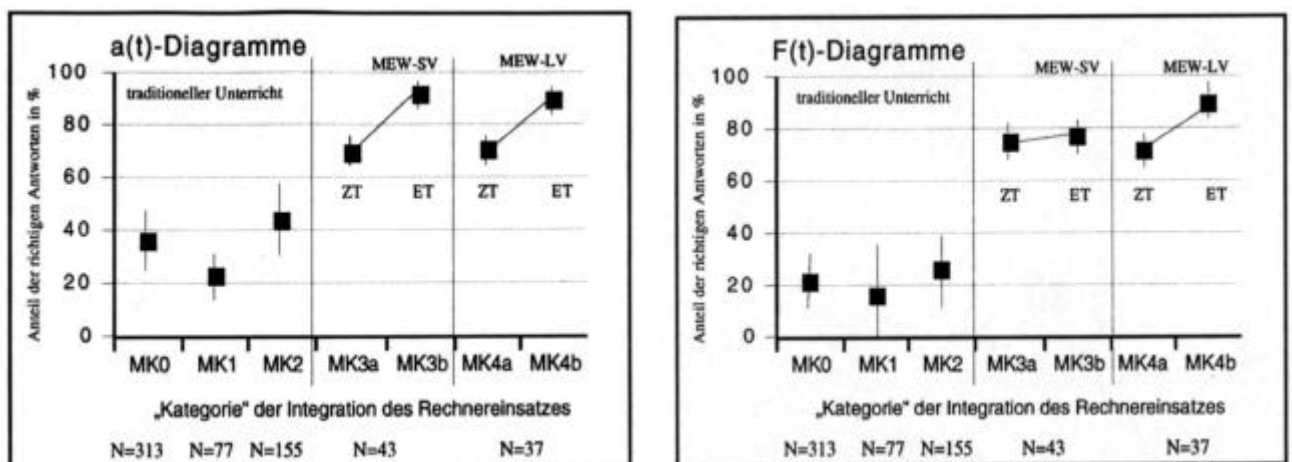


Bild 4 Nach oben sind die Mittelwerte (mit Standardabweichungen) des Anteils der richtigen Antworten für die Aufgabencluster: $a(t)$ -Diagramme (a) und $F(t)$ -Diagramme (b) aufgetragen, nach rechts die methodischen Kategorien, geordnet nach der Art und Intensität des Rechnereinsatzes. MK1-MK3 sind die Vergleichsgruppen und MK4, MK5 die Erprobungsgruppen. Für diese sind auch die Zwischentestergebnisse (ZT) angegeben.

Der Vergleich der Ergebnisse der Kategorien MK1 bis MK3 läßt den vorsichtigen Schluß zu, daß ein gelegentlicher Computereinsatz (MK2) z. B. nur zur Meßwerterfassung bei Versuchen oder zur Auswertung von Versuchstabellen keinen für das konzeptionelle Verstehen erkennbaren

Vorteil bringt gegenüber einem Unterricht mit traditionellen Medien, aber zahlreichen Versuchen und intensiver Grafeninterpretation (MK1). Hingegen zeigt ein häufigerer Computereinsatz mit entsprechend aufbereiteten Versuchssequenzen (authentische Versuche, Versuche mit Reibung, Bewegung nach rechts wie auch nach links, Kräfte auch gegen die Bewegungsrichtung usw.) in Verbindung mit intensiver Grafeninterpretation zum Teil deutlich bessere Ergebnisse (MK3).

Auffällig ist der Lernzuwachs vom Zwischen- zum Endtest bei den Kraftitems in der Erprobungsgruppe MK5, während die Gruppe MK4 diesen Anstieg (Abb.5a,b,c) vom Zwischen- zum Endtest nicht zeigt. In der Gruppe MK5 wurden ca. 1 Monat nach dem Zwischentest in fünf Unterrichtsstunden ausgewählte PAKMA - Projekte in Form des MEW - Unterrichts im Rechnerraum durchgeführt. Hier bearbeiteten die Schüler in Zweierteams die schon im Unterricht behandelten Projekte schiefe Ebene mit Reflexion am Ende und rhythmisches Kippen in Simulation und die für sie neuen Projekte Trampolin- und Fallschirmspringer. Dabei wurden vor allem die Beschleunigungen und Kräfte mit Hilfe von dynamisch ikonischen Repräsentationen thematisiert.

Der deutliche Zuwachs vom Zwischen- zum Endtest bei der Clusteraufgabe mit den $a(t)$ -Diagrammen für die beiden Kategorien MK4 und MK5 ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß in diesen Gruppen die Lernsequenz zu zweidimensionalen Bewegungen ebenfalls in Form des MEW-Unterrichts behandelt wurde.

Zusätzlich zu den Testaufgaben zur Kinematik und Dynamik eindimensionaler Bewegungen wurden in den Erprobungsgruppen und in einigen Vergleichsgruppen auch der FCI-Test von [19] als Erhebungsinstrument eingesetzt. Auch bei diesem Test wird entsprechend zu den Ergebnissen von [20] ein bemerkenswert guter Lernerfolg bei den Erprobungsgruppen erreicht. So verbesserte sich der Anteil der richtigen Antworten der Gruppe MK5 von 38 % beim Vortest auf 78 % beim Nachtest. Der Hake Plot in Abb. 5 zeigt nicht nur für den FCI-Test den Lerngewinn in Abhängigkeit von den Vortestergebnissen sondern auch für den eingesetzten KD-Test, aufgeschlüsselt nach den Aufgabenclustern.

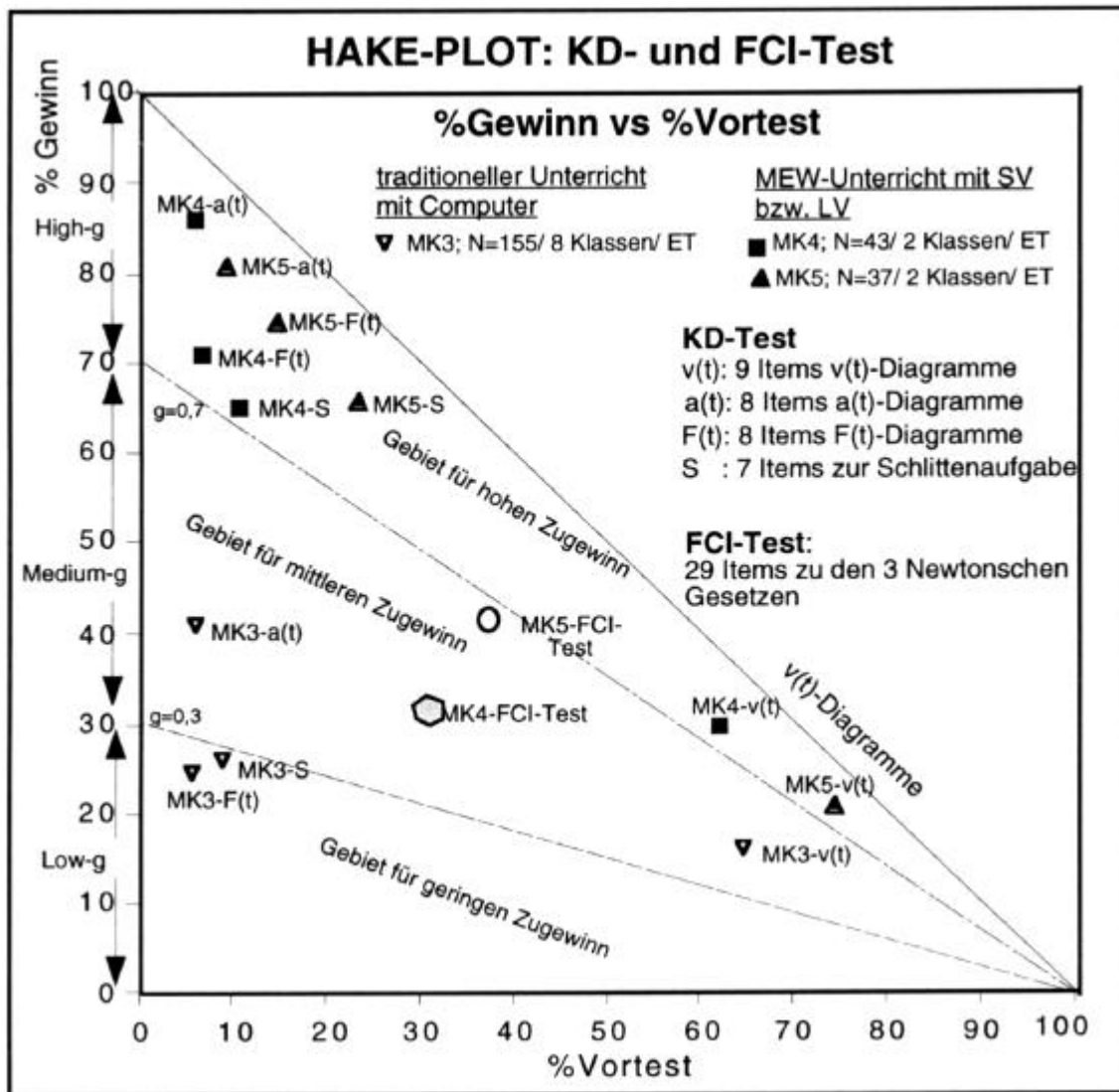


Bild 5 Im Hake Plot ist der relative Lerngewinn in Abhängigkeit der Vortestergebnisse für Aufgabencluster des des KD-Testes und für den Vortestergebnissen sondern auch für den eingesetzten KD-Test, aufgeschlüsselt nach den Aufgabenclustern.

4.3 Wie erleben Schüler der Erprobungsgruppen ihren Unterricht?

Nahezu alle Schüler begrüßen es, daß durch den Rechnereinsatz viele verschiedene Versuche in kurzer Zeit durchgeführt werden können. Animationen, Visualisierungselemente und Grafen werden von den Schülern für das Verstehen von physikalischen Begriffen und Bewegungsabläufen etwas unterschiedlich bewertet.

Die Analyse der Daten in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit der Schüler läßt die vorsichtige Aussage zu, daß die sehr guten Schüler - dies sind nur sehr wenige - für ihr physikalisches Verständnis von Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft und Bewegung nicht unbedingt dynamisch ikonische Repräsentationen benötigen. Die vielen guten bis mittelmäßigen Schüler nehmen diese

Hilfen sehr gerne an und setzen sie auch bewußt bei der Lösung von Problemen ein. Schwache Schüler jedoch haben auch mit diesen Visualisierungselementen noch teilweise Probleme, vor allem bei den Kräften. Sie haben Schwierigkeiten, die Notwendigkeit und den Nutzen dieser Elemente für den Aufbau von physikalischen Kompetenzen einzusehen und gebrauchen diese dementsprechend auch nicht so oft wie die besseren Schüler.

Daß nicht alle Lernenden in gleichem Maß von der Verwendung multimedialer Lernumgebungen profitieren, korrespondiert auch mit anderen Untersuchungen. So können lediglich Lernende mit entsprechenden Lernvoraussetzungen eine multimediale Lernumgebung angemessen nutzen und nur bei Lernenden mit einer eher konstruktivistischen Lernauffassung kann diese zu größerem Lernerfolg führen. (Jacobson & Spiro, 1994)

5 Transferaufgabe

Um zu prüfen, wie die erworbene Kompetenz für die Lösung einer komplexeren Aufgabe in einem unbekannten Kontext eingesetzt werden kann, wurde den Schülern die Aufgabe der anfangs gekoppelten Experimentierwägelchen nach [6] gestellt. In dieser Aufgabe bewegen sich zwei durch einen Kleber verbundene Wägelchen beschleunigt auf einer horizontalen Unterlage nahezu reibungsfrei nach rechts. Am linken Wagen (A) zieht ein Gewichtsstück kleiner Masse (m_A) nach links und am rechten Wagen (B) ein Gewichtsstück größerer Masse (m_B) nach rechts. Nach 3 Sekunden löst sich plötzlich der Kleber. Die Schüler sollten für diesen gesamten Vorgang jeweils qualitativ die zwei Geschwindigkeits- und resultierenden Kräftegrafen selbst zeichnen. Dabei ist es die Aufgabe zu erkennen, daß der linke Wagen (A) gleichmäßig durch (m_A) bis auf 0 abgebremst und anschließend nach links wieder gleichmäßig schneller wird. Der rechte Wagen (B) erfährt bei 3 Sekunden durch (m_B) eine größere konstante Beschleunigung nach rechts.

Nach Redish mißt dieser Test stärker das physikalische Verständnis von Schülern und ihre Fähigkeit, diese zur Lösung eines geeigneten komplexen Problems einzusetzen, als die Multiple-Choice-Fragen zu Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Kraftdiagrammen. Hier müssen die Probanden zeigen, ob sie ein Verständnis für Geschwindigkeitsgrafen und für das 2. Newtonsche Gesetz in einer komplexen Situation entwickelt haben. Die Ergebnisse in Abb.6 zeigen, daß die Schüler der Erprobungsgruppen (MK4 und MK5) bei der Konstruktion der einzelnen Grafen - dargestellt sind die Ergebnisse für die $v_A(t)$ -Diagramme - deutlich besser abschneiden als die

übrigen Gruppen. Ein noch deutlicherer Unterschied ergibt sich, wenn man danach fragt, welche Schüler die vollständig korrekte Lösung bzgl. Geschwindigkeiten und Kräften finden.

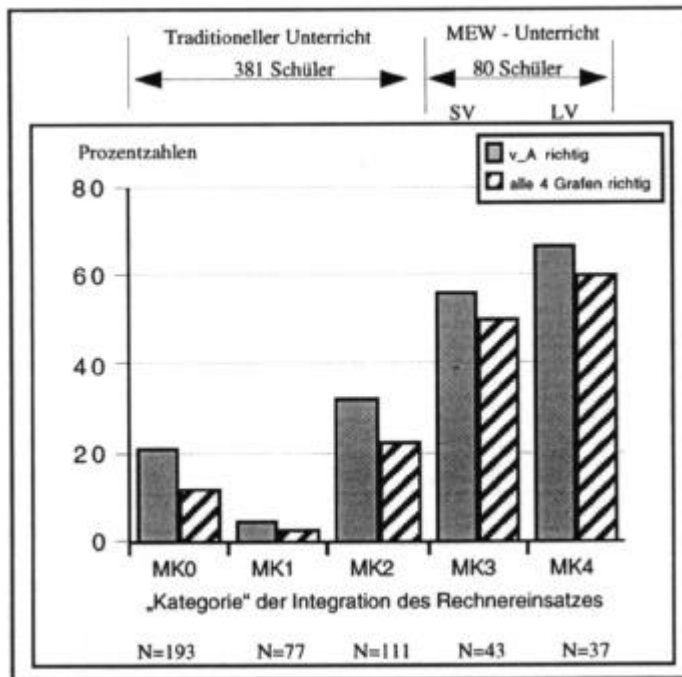


Bild 6 Wie in Bild 4a, b ist der Prozentsatz der richtigen Antworten für die komplexere Aufgabe: Bewegung gekoppelter Experimentierwägelchen unter dem Einfluss von Kräften // dargestellt.

6. Resumée

6.1 Die Bedeutung des multimedial unterstützten experimentellen

Werkstattunterrichts (MEW)

Erst das Zusammenwirken der beiden Hauptelemente des umgesetzten Unterrichtskonzeptes, nämlich der Werkstattcharakter und der Einsatz des Werkzeugs, das Versuchsabläufe und Simulationen durch dynamisch ikonische Repräsentation aufbereitet, ermöglicht den Lernerfolg der Schüler. Lernpsychologisch ist sofort klar, daß der Werkstattcharakter unverzichtbar ist. Denn erst der Werkstattunterricht schafft Situationen und Möglichkeiten, in denen das neu Kennengelern in Variationen von den Schülern selbst aktiv eingesetzt, durchgearbeitet und ausgeschärft werden kann. Durch diesen Unterricht mit der Möglichkeit des Vorhersagens, Diskutierens und der Durcharbeitung von Versuchsvariationen werden alle Schüler angesprochen und nicht nur einige wenige, wie beim herkömmlichen traditionellen Unterricht. Ebenso wird dieses Konzept durch den Einsatz des Werkzeugs entscheidend unterstützt, da die dynamisch ikonischen Repräsentationen zu analogen Verankerungen werden, an denen physikalische Einsichten vermittelt und

Strukturzusammenhänge leichter erschlossen werden können. Ein an Bildern orientiertes Denken erleichtert den Aufbau verinnerlichter Strukturen und mentaler Modelle [10], die dann beim Vorhersagen, Analysieren, Vergleichen und Klären neuer Aussagen leichter verfügbar sind.

6.2 Detailaussagen

Die Beantwortung der Testfragen bei den Erprobungsgruppen, die nach dem dargestellten Unterrichtskonzept unterrichtet wurden, weist einen bemerkenswert hohen Lerngewinn auf. So zeigt die Gruppe mit den Lehrerversuchen bei den eigenen Testfragen (KD-Test) einen Lerngewinn von 70% bis 85% des noch möglichen Lernzuwachses und beim FCI-Test einen Zuwachs von ca. 65%. Bei den Vergleichsgruppen liegt hingegen der Lerngewinn nur in einem Bereich von 10% bis max. 40%, wobei nur für einen Teil der Gruppen Vortests durchgeführt wurde.

Wie Schülerbefragungen zeigen, werden die dynamisch ikonischen Repräsentationen von fast allen Schülern für das Verständnis der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung als wichtig angesehen. Bei komplexeren Fragestellungen verschiebt sich die Akzeptanz erkennbar zu den leistungstärkeren Schülern hin. Die Präsentation der Versuchsabläufe auf dem Bildschirm zusammen mit den entstehenden Grafen wird für das Verständnis als sehr hilfreich eingeschätzt, ebenso die Möglichkeit der Reproduktion mit Einzelschrittmodus. Auch zeigt die Befragung, daß das Interesse, physikalische Sachverhalte zu verstehen, sich bei Jungen und Mädchen wenig unterscheidet.

Aus den Daten der Erhebungen (Abb.4 u. 5), aus den beschriebenen Unterrichtserprobungen (MEW-LV bzw. MEW-SV) und den durchgeführten zahlreichen Schülerinterviews –z.T. mit Experimenten – lassen sich für die Gestaltung effektiver, situierter Lehr-Lernumgebungen folgende Feststellungen treffen bzw. Schlußfolgerungen ziehen:

- Ein Unterricht ohne das Medium Computer, aber mit intensiver, variantenreicher Grafeninterpretation zusammen mit zahlreichen Versuchen kann bezüglich der Testaufgaben effektiver sein als ein Unterricht mit gelegentlichem Computereinsatz. D.h. ein gelegentlicher Computereinsatz ohne didaktischen Rahmen und entsprechende Konzeptionen, scheint das Bilden physikalischer Vorstellungen wenig zu fördern.

- Je intensiver der Computer mit entsprechenden Versuchsvarianten eingesetzt wird, um so wirkungsvoller scheint der Lernprozeß abzulaufen; überzeugende Lernerfolge wurden aber erst mit dem hier vorgestellten Konzept des MEW-Unterrichts erreicht.
- Die dynamisch ikonischen Repräsentationen sind für die guten bis schwächeren Schülerinnen und Schüler eine wertvolle Hilfe, die auch aktiv von ihnen genutzt wird. Die schwächsten Schüler schaffen auch mit dieser Hilfe Problemlösungen eher selten, wenige sehr gute Schüler benötigen die Hilfe nicht.
- Die Ergebnisse hinsichtlich der eingesetzten Erhebungsinstrumente können bei beiden Erprobungsgruppen etwa als gleich gut angesehen werden. MEW - Unterricht auch bei der zweidimensionalen Bewegung verbessert das Verständnis des Begriffes Beschleunigung. Zusätzliche Teamarbeit an ausgewählten PAKMA - Simulationsprojekten scheint die Lösungskompetenz in der Kategorie MEW-LV noch einmal erkennbar zu erhöhen.
- Mitteltute und schwächere Schüler wünschen deutlich eine aktive Auseinandersetzung mit den Experimenten in Form von computergestützten Schülerversuchen oder als Simulationsexperimente am Rechner.

Literaturverzeichnis:

- [1] Nachtigall, D. (1987). Skizzen zur Physikdidaktik, S. 142 ff. in Didaktik und Naturwissenschaft. Herausgegeben von D. Nachtigall, Nr. 4.
- [2] Schecker, H. (1985). Das Schülervorverständnis zur Mechanik, Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftlicher Aspekte, Diss. an der Universität Bremen.
- [3] Thornton, R., K. & Sokoloff, D., R. (1990). Learning motion concepts using real - time micro-computer - based laboratory tools. Am. J. Phys. 58 (9), S. 858 - 867.
- [4] Thornton, R., K. & Sokoloff, D., R. (1997). Assessing student learning of Newton`s laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula.. Am. J. Phys. 66 (4), S. 338 - 352.
- [5] Sokoloff, D.R., Laws, P.W. & Thornton, R.K. (1993). Real Time Physics: Active Learning Laboratories, Mechanics. University of Oregon, Tufts University, Dickinson College.
- [6] Redish, E., Saul, J. & Steinberg, R. (1997). On the effectiveness of active-engagement micro-computer-based laboratories. Am. J. Phys. 65 (1), S.45 - 54.
- [7] Mandl, H., Gruber, H. und Renkel, A. (1993). Lernen im Physikunterricht - Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlichen Erfahrungen, in DPG Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.) Didaktik der Physik, Vorträge Frühjahrstagung 1993. Esslingen; Verlag DPG,

Bad Honnef.

- [8] Heuer, D.& Wilhelm, Th. (1997). Aristoteles siegt immer noch über Newton. MNU 50, Heft 5, S. 280-285.
- [9] Blaschke, K. (1996). Schülerversuche mit Computereinsatz: Ein geeignetes Mittel zum Erwerb physikalischer Kompetenz? PdN-Ph. 45 Heft 5, S. 26 - 31.
- [10] Weidenmann, B.(1994). Informierende Bilder. In:Bernd Weidenmann (Hrsg.) Wissenserwerb mit Bildern Hans Huber-Verlag, Bern, S. 9-58.
- [11] Blaschke, K. & Heuer, D. (1998). Physik-Simulationen im Computerraum - Ein Lernpotential, das genutzt werden sollte. PdN-Ph. 48.
- [12] Edelmann, W. (1996). Lernpsychologie. Beltz Psychologie Verlags Union.
- [13] Häußler, P. et al. (1998). Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), Kiel.
- [14] Duit, R. (1995): Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. Workshop Lernen in den naturwissenschaftlichen Fächern; Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.
- [14] Mandl, H., Gruber, H. und Renkel, A. (1995): Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. Forschungsbericht 50. München: Universität München, Institut für Pädagogische Psychologie und empirische Pädagogik.
- [15] Heuer, D. (1996). Dynamische Repräsentationen, Verständnishilfe für Physikalische Experimente, PdN-Ph. 4/45. Jg. 1996.
- [16] Wilhelm, Th., Heuer D., Phan Gia, A.: Kinematik- und Dynamiklernen am Fahrrad. PdN-Ph. 46, Heft 4 (Juni), S. 2-8, 1997.
- [17] Blaschke, K. (1997). Anfahren und Bremsen mit dem Fahrrad. Unterrichtliche Erfahrungen zu einer Lernsequenz: Erste empirische Ergebnisse einer Unterrichtseinheit mit einem komplexen Experiment aus der Erfahrungswelt der Schüler. S. 31-35, PdN-Ph. 4/46.
- [18] Heuer, D., Phan-Gia, A.: Anfahren mit dem Fahrrad. PdN-Ph. 46, Heft 4, S. 9-12, 1997.
- [19] Hestenes, Wells & Swackhammer (1992). Force Concept Inventory. The Physics Teacher, 30, S. 141-158.
- [20] Hake, R.R. (1998): Interactive-engagement versus traditional methods: A six- thousand-student survey of mechanics test for introductory physics courses. Am J. Physs. 66(1), S
- [21] Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (1991): Lehrplan für das bayerische Gymnasium Fachlehrplan für Physik, S. 1284 - 1285, KMBI I So.-Nr. 9.

Anschrift der Verfasser:

OStR Kurt Blaschke, Gymnasium Bad Kissingen, Steinstraße 18, 97688 Bad Kissingen

Prof. Dr. Dieter Heuer, Lehrstuhl Didaktik der Physik, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074
Würzburg

Abbildungstexte

Abb.1: Ein Luftkissengleiter wird von einem Zuggewicht beschleunigt und am Fahrbahnde reflektiert.

- a) Die alte Geschwindigkeit \vec{v}_{alt} , die neue Geschwindigkeit \vec{v}_{neu} und die Geschwindigkeitsänderung $d\vec{v}$ werden als Vektoren dargestellt, sowohl mitbewegt mit dem Gleiter als auch ortsfest.
- b) Als Übergang zur herkömmlichen Repräsentation des Bewegungsablaufs durch ein Diagramm wird zusätzlich zur dynamisch ikonischen Repräsentation aus Abb. 2a) das $v(t)$ -Diagramm mit dargestellt, in das die Geschwindigkeitsvektoren mit eingezeichnet werden.

Abb 2: Ein Gleiter bewegt sich auf einer schiefen Ebene, deren Neigung während des Versuches kontinuierlich verändert wird. Aus den Zusammenhang der Vektoren \vec{F}_H , \vec{v} , \vec{a} sind die Grundaussagen des 2. Newtonschen Gesetzes sofort ablesbar.

Abb.3: Globale Gegenüberstellung des Anteils der richtigen Ergebnisse im Endtest (ca. 5 Monate nach Ende der Unterrichtssequenz Kinematik und Dynamik eindimensionaler Bewegungen) zu den Aufgaben zu Kinematik, zu Kräften und zur Schlitten- und Münzaufgabe. Die Kategorien MK1 bis MK3 wurden dabei zu einer Vergleichsgruppe VG (N=558) zusammengefaßt.

Abb.4: Nach oben sind die Mittelwerte (mit Standardabweichungen) des Anteils der richtigen Antworten für die Aufgabencluster: $a(t)$ -Diagramme (Abb.4a) und $F(t)$ -Diagramme (Abb.4b) aufgetragen, nach rechts die methodischen Kategorien, geordnet nach der Art und Intensität des Rechnereinsatzes. MK1-MK3 sind die Vergleichsgruppen und MK4, MK5 die Erprobungsgruppen s. Abschnitt 4.2. Für diese sind auch die Zwischentestergebnisse (ZT) angegeben.

Abb. 5: Im Hake Plot ist der relative Lerngewinn in Abhängigkeit der Vortestergebnisse für Aufgabencluster des KD-Testes und für den FCI-Test dargestellt. Eingetragen sind die Ergebnisse für die Vergleichsgruppe MK3 und für die Erprobungsgruppen MK4 und MK5.

Abb.6: Wie in Abb.4a,b ist der Prozentsatz der richtigen Antworten für die komplexere Aufgabe: Bewegung gekoppelter Experimentierwägelchen unter dem Einfluß von Kräften (Redish, 1997) dargestellt, (beschrieben in Abschnitt 5).