

# Physik-Simulationen im Computerraum – ein Lernpotential, das genutzt werden sollte

Kurt Blaschke, Dieter Heuer

Aus PdN 48, Heft 8, 1999

## 1. Multimedial-experimenteller Werkstattunterricht als Vorbereitung der Schülergruppenarbeit.

Über die Schwierigkeiten, die Schüler beim Lernen der Dynamik haben, ist in zahlreichen in- und ausländischen Untersuchungen berichtet worden, s. z. B. Schecker [1], Wilhelm, Heuer [2] und diese Lernschwierigkeiten sind auch einer größeren Zahl von Lehrern bewusst<sup>1</sup>. Allerdings gibt es zu der Frage, wie im Unterricht vorzugehen ist, um ein effizienteres Lernen zu ermöglichen, weit weniger überzeugende Untersuchungsergebnisse und daraus zu folgernde Unterrichtskonzepte. Es ist klar, daß es nicht „das“ Unterrichtskonzept geben kann sondern nur Elemente dazu, die auch angepaßt an die jeweilige Situation in schlüssiger Weise auszuwählen und zu verbinden sind. Leitgedanken, aus denen solche Elemente abzuleiten und zu begründen sind, lassen sich recht leicht in der pädagogischen Diskussion auffinden. Zum Teil haben sie historische Wurzeln, die noch über die Reformpädagogik zurückweisen. Solche Elemente, die schon vorgeschlagen bzw. eingesetzt wurden, um eine Verbesserung des Lernerfolgs beim Dynamik-Lernen zu erreichen sind insb.

- ?? authentische Fragestellungen bearbeiten, um direkt umsetzbares Wissen zu schaffen (s. z. B. Mandl [3], Wilhelm, Heuer, Gia [4],.
- ?? Vorhersagen von Versuchsabläufen von jedem Schüler machen und diese begründen lassen und anschließend darüber in Kleingruppen bzw. im Unterrichtsgespräch darüber diskutieren s. z. B. Thornton [5], Mazur [6], Blaschke [7],
- ?? Fragestellungen anhand von Experimenten und deren Variationen zu klären versuchen,
- ?? Versuchsabläufe so mit dem Rechner durch ikonische Repräsentationen (auch in Realzeit) aufbereiten, dass Versuchsaussagen für den Schüler leicht erschließbar werden und durch die Repräsentationen der Aufbau mentaler Modelle unterstützt wird, s. Heuer [8, 9, 10], Blaschke, Heuer [11].

Dem Unterricht, über den im weiteren zu berichten ist und in dem Schüler Simulationen im Rechneraum bearbeiteten, ging ein etwa 2monatiger Kinematik/Dynamik-Unterricht voraus, der inhaltlich dem Bayerischen Lehrplan für Physik, Kl. 11 (math. nat. Zweig), folgte. Dieser Unterricht setzte die oben aufgeführten Methodenelemente um. Man kann ihn kurz als multimedial-experimentell unterstützten Werkstattunterricht (MEW) charakterisieren, in dem die Experimente als Lehrerdemonstrationen durchgeführt wurden, die Schüler aber einzelne Abläufe als Reproduktionen auch in Einzelschritt-Anzeige am Bildschirm mit den zugehörigen dynamischen Repräsentationen Zeitintervall für Zeitintervall betrachten konnten.

## 2. Fragestellungen

Nach diesem Unterricht äußerten viele, vor allem auch schwächere Schüler den Wunsch, mit Versuchen selbständig aktiv umzugehen und daran ihre Vorstellungen und Konzepte zu erproben. Die-

---

<sup>1</sup> Auf den Artikel Lit [2] gingen über 35 Leserzuschriften ein, die ganz überwiegend auch von eigenen Unterrichtserfahrungen berichteten, die das Bewußtsein über die Lernschwierigkeiten der Schüler belegen.

ses Anliegen setzten wir durch kooperativen und durch Eigenaktivitäten geprägten Unterricht im Computerraum um. Zusätzlich zu den Lehrerdemonstrationsversuchen im Physiksaal sollten korrespondierende Simulationen, die Fragestellungen der Demonstrationsversuche aufgreifen und gegebenenfalls ergänzen, in Kleingruppenarbeit durchgeführt werden, aber auch neue Projekte zur gleichen Thematik.

Bei dieser Untersuchung standen folgende Fragen im Vordergrund:

- ?? Wie hilfreich können Simulationen als Ergänzung zu Unterrichtsexperimenten für den Konzeptwechsel und den Aufbau physikalischer Kompetenz sein?
- ?? Können beim Schüler mit diesem Vorgehen durch eigen- und fremdgesteuerte Eigenaktivität Lernschwierigkeiten leichter abgebaut werden als durch herkömmliche Unterrichtsexperimente?
- ?? Wie werden solche mit Simulationen gewonnen Lernerfahrungen, in denen für die Darstellung unterschiedlich abstrakte Repräsentationen genutzt werden, von den Schülern angenommen und eingeschätzt?

### 3. Der Unterricht

Bestimmte Themen (z. B. Kräfte bei der Reflexion auf der schiefen Ebene oder Wirkung mehrerer Kräfte), die den meisten Schülern im Lehrerdemonstrationsunterricht Verständnisschwierigkeiten bereitet hatten, sollten am Rechner mit PAKMA-Projekten<sup>2</sup> bearbeitet und in Gruppen- bzw. Klassendiskussionen sollte eine weiterführende Klärung erreicht werden. Dazu wurden Situationen, die im Unterricht experimentell unter einem bestimmten Aspekt erarbeitet wurden, in Simulationen am Rechner vertieft.

Die Unterrichtssequenzen, die insgesamt einen Zeitraum von drei mal zwei Unterrichtsstunden umfassten, wurden folgendermaßen konzipiert und umgesetzt:

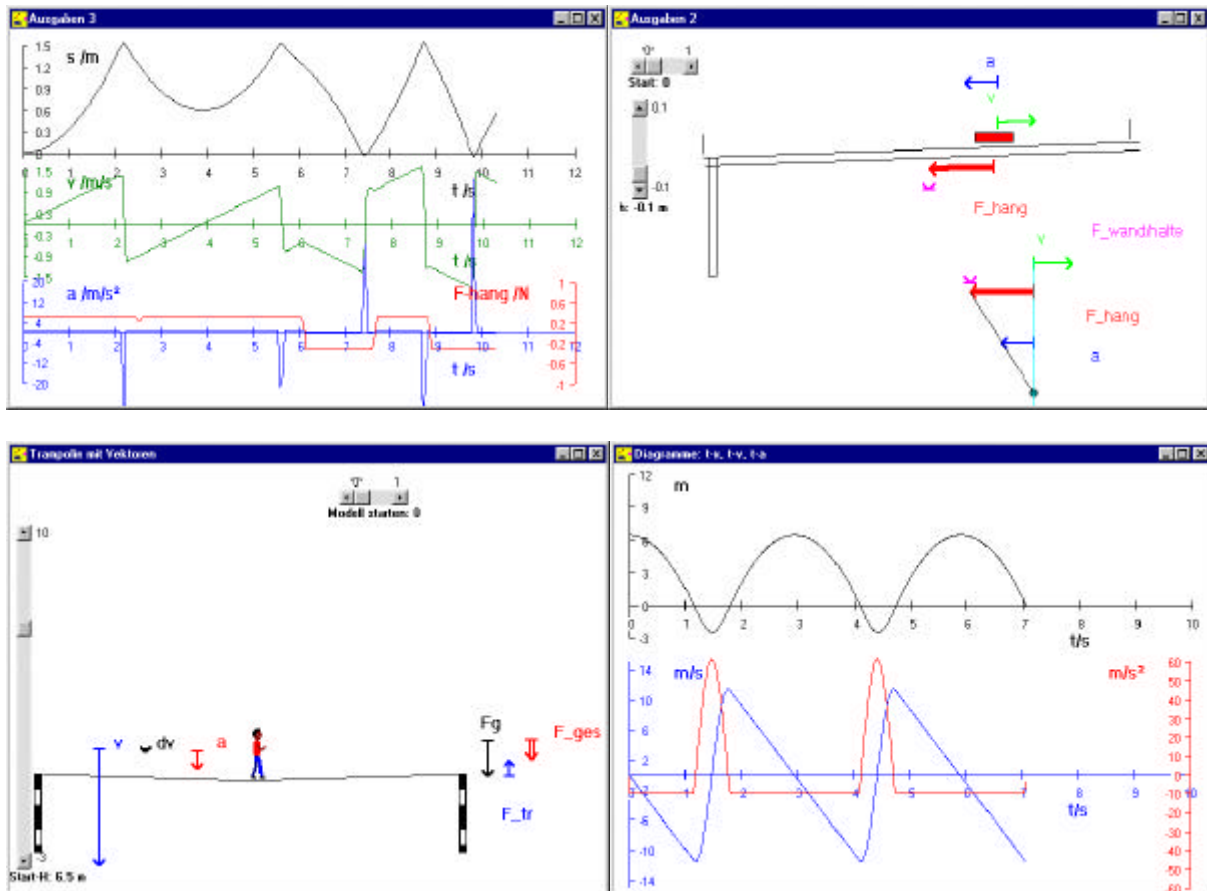
- ?? Die Schüler, die in Zweiergruppen die Projekte bearbeiten, können zum größten Teil ihr Lerntempo selbst bestimmen.
- ?? Zu jedem Projekt erhalten die Schüler ein teilweise vorstrukturiertes Arbeitsblatt (s. Anhang), auf dem das Projekt und der Unterrichtsauftrag skizzenhaft dargestellt sind.
- ?? Vor der Bearbeitung der jeweiligen Simulation werden die Gruppen aufgefordert, Vorhersagen über den Versuchsausgang in schriftlicher Form und / oder als Grafen zu treffen, danach ihre Vorstellungen zu artikulieren und kurz miteinander darüber zu diskutieren.
- ?? Anschließend können die Schüler ihre mentalen Modelle und Vorstellungen erproben, indem sie die Simulationsprojekte bearbeiten, die Ergebnisse den Vorhersagen gegenüberstellen, sie vergleichen und darüber diskutieren.
- ?? Die einzelnen Parameter der Simulation können in gewissem Umfang von der Schülergruppe verändert und die Abläufe in Einzelschrittbetrachtung im Detail analysiert und erörtert werden.
- ?? Der Lehrer geht von Gruppe zu Gruppe, beobachtet die Gruppentätigkeit, gibt, wo gewünscht, Hilfestellung und Hinweise und kontrolliert die Lernfortschritte.
- ?? Am Ende eines Projektes werden einzelne Gruppen aufgefordert, kurz ihre Probleme, Diskussionen und Ergebnisse der gesamten Klasse vorzustellen.

Die zu bearbeitenden unterschiedlichen Projektaufgaben beziehen sich einerseits auf Simulationen, die zu Experimenten korrespondieren, die schon im Physikunterricht behandelt sind, wie z. B. Bewegung (mit und ohne Reibung) auf einer schiefen Ebene (hinunter, Reflexion am Ende und wieder hinauf) und Bewegung auf einer schiefen Ebene durch rhythmisches Kippen. Es gibt aber auch Programme die Situationen thematisieren, die für die Schüler vollkommen neu sind, nämlich der Trampo-

---

<sup>2</sup> Nähere Informationen zu der Programmierumgebung PAKMA findet sich in der Literatur [ ] und auf der Homepage des Lehrstuhls für Didaktik der Physik, Universität Würzburg.

lin- und der Fallschirmspringer. Bei allen Projekten werden neben dem Situationsablauf jeweils die Größen Geschwindigkeit, Beschleunigung sowie Teil- und Gesamtkräfte dargestellt, sowohl mit Visualisierungselementen und Vektorpfeilen als auch in Diagrammen, s. z. B. Abb. 1 und 2.



#### 4. Einschätzungen der Simulationen durch die Schüler

Im Anschluss an diese Projektarbeit im Rechnerraum sollten die Schüler in einem Fragebogen ihre Einschätzungen zu folgenden Fragestellungen angeben:

1. Wie schätzen die einzelnen Schüler die Möglichkeit für ihr Lernen ein, bereits im Unterricht durchgeführte Versuche noch einmal selbst in Teamarbeit als Simulation durchzuführen?
2. Wie hilfreich für ihr Verständnis ist das Arbeiten mit Programmen, die sich mit neuen, noch nicht im Unterricht behandelten Situationen beschäftigen?

Dazu wurden sechs Fragen gestellt mit einer fünfstufigen, nicht symmetrischen bipolaren Ratingskala, die keinen als Mittelkategorie vorgegebenen Nullpunkt besitzt. Für eine differenzierte Auswertung und Interpretation werden die Probanden bzgl. ihres Leistungspotentials in 4 Niveaugruppen eingeteilt: Niveaugruppe NG1 (sehr gute Schüler), NG2 (gute Schüler), NG3 (mittlere Schüler) und NG4 (schwächere Schüler). Als Grundlage für diese Einteilung wurden folgende kognitive und motivationale Kriterien herangezogen: die schriftliche Note in der 1. Schulaufgabe, die Noten aus den Stegreifaufgaben und eine Mitarbeitsnote über den Beobachtungszeitraum von 12 Schulwochen. Für das Antwortverhalten wird folgende Kodierung gewählt:

unter „ja“ werden die Antworten „trifft ganz genau zu“ und „trifft größtenteils zu“, subsumiert unter „etwas“ die Antwort „trifft etwas zu“ und unter „nein“ die Antworten „trifft eher nicht“ bzw. „trifft gar nicht zu“.

Von 36 Schülern beurteilen über 80% (Abb.8) die Möglichkeit der Durchführung solcher Simulationen von schon im Unterricht behandelter Versuche (Frage F1) als gut und hilfreich für ihr Verständnis. Während nur knapp 65% der Niveaugruppe NG1 diese Möglichkeit voll begrüßen, stimmen alle aus der NG4 dieser Frage zu (für Binnendifferenzierung s. Abb.3)

Das Arbeiten mit Programmen, die sich mit neuen, noch nicht im Unterricht behandelten Situationen (F4) beschäftigen, sehen ebenfalls ca. 80% der befragten Schüler (Abb.8) als sehr hilfreich an. In Abhängigkeit des Leistungspotentials der einzelnen Niveaugruppen ergibt sich jedoch ein differenzierteres Bild. Während in der leistungsfähigen Gruppe NG1 die Zustimmung bei nahezu 100% liegt, sehen die schwächeren Gruppen NG3 und NG4 diese Möglichkeit des Arbeitens mit neuen Programmen nur zu etwa 65% als sehr positiv an (s. Abb.4).

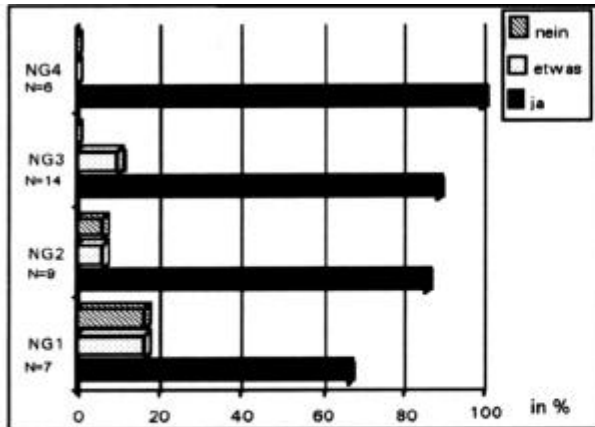


Abb.3: F1: Wir hatten in Kleingruppen am Rechner Versuche als Simulation wiederholt, die im Unterricht schon behandelt wurden. Dieses Vorgehen, schon behandelte Versuche (z.B. rhythmisches Kippen, Reflexion am Ende usw.) als Simulation neu zu bearbeiten, finde ich gut und hilfreich für mein Verständnis.

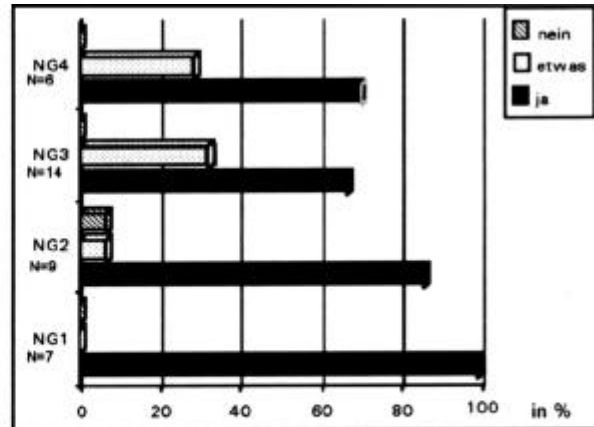


Abb.4: F4: Ich sehe das Arbeiten mit Programmen, die sich mit neuen, noch nicht im Unterricht behandelten Situationen beschäftigen (z.B. Überholvorgang, Raketenlandung, Fallschirmspringer, Trampolinspringer usw.) hilfreich für mein Verständnis an.

Leistungsfähigere Schüler sind also eher bereit, unbekannte Projekte aufzugreifen und daran ihre neugewonnenen Vorstellungen und Konzepte zu erproben. Schwächere Schüler orientieren sich lieber an Experimenten, die für sie aus dem Unterricht schon vertraut sind. Darin sehen sie wohl mehr Möglichkeiten, ihre noch aus dem Lernprozess vorhandenen konzeptionellen Schwierigkeiten aktiv in Gruppenarbeit gezielt anzugehen und zu klären.

Über 70% der Schüler (Abb.8) halten solche Simulationen für wichtiger als weitere zusätzliche Versuche im Physiksaal (F3). Allerdings ist hier die Zustimmung bei den guten bis schwächeren Schülern signifikant größer als bei den sehr guten Schülern (Abb.5). Da die Niveaugruppe NG1 den theoretischen Hintergrund der Thematik schon weitestgehend verstanden hat, würde sie weiterführende zusätzliche experimentelle Versuche im Unterricht eher begrüßen.

Diese Einschätzung korrespondiert in etwa auch mit dem Antwortverhalten bei dem Item F2 (Abb.6). Für die mittleren und schwachen Schüler sind solche zusätzlichen Simulationen für ihr Physikverständnis deutlich hilfreicher als für die sehr guten Schüler.

Die Möglichkeit, den jeweiligen Ausgabebildschirm des Projektes im Einzelschrittmodus weiterzuschalten, wird von den beiden Niveaugruppen NG1 und NG2 als sehr hilfreich für den Aufbau ihres Verständnisses angesehen. Schwächere Schüler (Abb.7) haben dagegen Schwierigkeiten, den Nutzen solcher Möglichkeiten einzusehen. Die Situationen, in denen dies für sie von entscheidendem Vorteil bei der Klärung eines komplizierten Sachverhaltes sein kann (z.B. genaue Untersuchung der Beschleunigung bei der Reflexion an der Feder auf der schiefen Ebene oder der Kräfte beim Trampolinspringer.) erscheinen ihnen zu schwierig und abstrakt. Diese Einschätzung zeigte sich auch ganz

deutlich bei den methodischen Elementen des „Vorhersage-Treffen-Lassens“ und den Diskussionsbeiträgen.

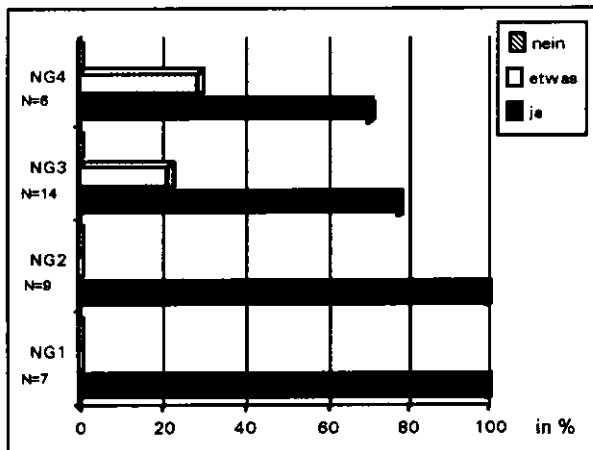


Abb. 7: F5: Als hilfreich für mein Verständnis sehe ich das Arbeiten in Einzelschrittbetrachtungen bei den einzelnen Situationen an, z. B. die genaue Untersuchung der Kräfte beim Trampolinspringer.

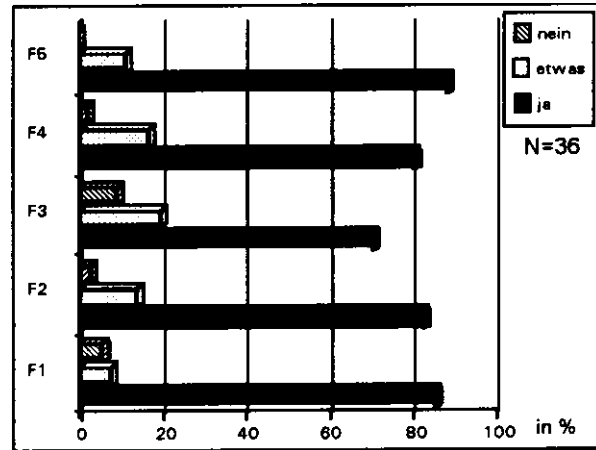


Abb. 8: Globales Antwortverhalten der Schüler bei den Fragen F1 bis F5.

Bei der Frage nach der optimalen Gruppengröße beim Arbeiten im Computerraum geben 50% der Befragten die Zahl mit 2 und die andere Hälfte mit 3 Teilnehmern an. Diejenigen Schüler, die 3 Gruppenmitglieder für angemessen halten, argumentieren mit der breiteren und vielfältigeren Diskussionsbasis durch drei Teilnehmer.

## 5. Empirische Erhebungen

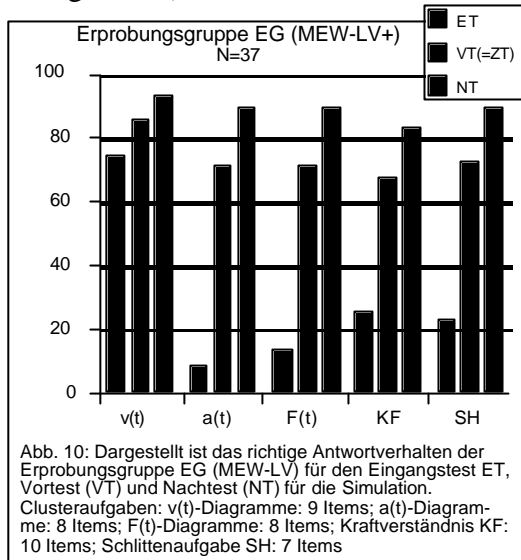
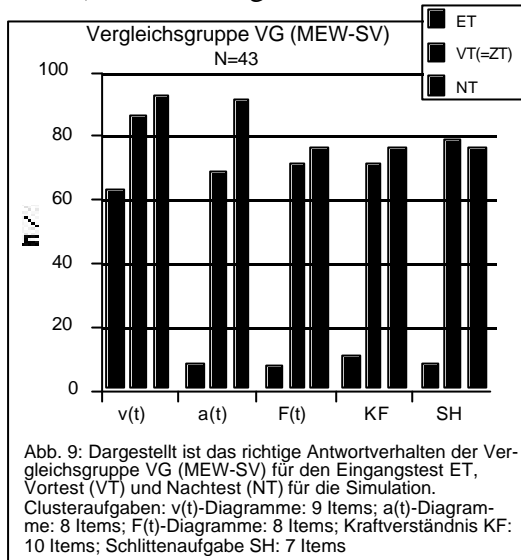
Diese Unterrichtssequenz mit Simulationen im Computerraum lief im Rahmen einer größeren, insgesamt 2 Jahre dauernden Untersuchung von 1996 bis 1998 ab, in der das MEW-Unterrichtskonzept unter Bedingungen der Schulpraxis erprobt und evaluiert wurde.

Zur Untersuchung der physikalischen Kompetenz der Schüler im Bereich Kräfte und Bewegungen dienten im wesentlichen der von uns weiter entwickelte Test zur Kinematik und Dynamik eindimensionaler Bewegungen von Thornton und Sokoloff [12], der Force Concept Inventory Test von Hestenes [13] und concept maps. Der Kinematik- und Dynamik Test wurde zu drei Meßzeiträumen, am Beginn als Vortest, am Ende der Unterrichtssequenz Kinematik und Dynamik eindimensionaler Bewegungen als Zwischentest und am Ende des Schuljahres 11 (ca. 6 Monate nach dem Zwischentest) als Endtest eingesetzt, der Force Concept Inventory Test nur am Anfang und am Ende des Schuljahres.

Da für die Erprobung und Umsetzung der Simulation im Computerraum keine direkten, speziell dafür konzipierten Vor- und Nachtests durchgeführt wurden, werden für unsere beiden in Abschnitt 2 genannten Fragestellungen die Zwischen- und Nachtests bzgl. der Kinematik und Dynamik eindimensionaler Bewegungen<sup>3</sup> zugrunde gelegt, die im Rahmen der größeren Erhebung zum MEW - Unterrichtskonzeptes durchgeführt wurden. Die Erprobungsgruppe EG zwei Klassen aus dem Schuljahr 97/98, die nach dem MEW Unterrichtskonzept mit Lehrerversuchen (MEW-LV+) unterrichtet und bei denen diese Simulationen erprobt wurden. Als Vergleichsgruppe VG können nur die beiden Klassen aus dem Vorjahr 1996/97 herangezogen werden, bei denen dasselbe MEW - Konzept allerdings mit Schülerversuchen (MEW-SV) umgesetzt wurde, hier jedoch ohne Simulationen im Computerraum. Um Aussagen auf die eingangs gestellten Fragen zu erhalten, werden die Aufgabenc-

luster ausgewertet, in denen physikalische Abläufe eindimensionaler Bewegungen zu Zeit - Geschwindigkeits-, Zeit - Beschleunigungs- und Zeit - Kraftgrafiken (Aufgaben A7:  $v(t)$ -

Diagramme, A8:  $a(t)$ -Diagramme und A9:  $F(t)$ -Diagramme) zuzuordnen sind. Zu weiteren Aufgaben ist zu solchen Abläufen die umgangssprachlich beschriebene Kraft auszuwählen, die auf ein Objekt wirkt (A10: Kraftfragen KF und A11: Schlittenaufgabe SH).



Nach der Auswertung im Eingangstest (ET) zu Beginn des Schuljahres weist die Erprobungsgruppe EG (MEW-LV+) eine etwas höhere Performance auf als die Vergleichsgruppe VG (MEW-SV) (s. Abb.9 und 10). Der Zwischentest, der für unsere Fragestellung als Vortest genutzt wird, zeigt aber, daß beide Gruppen für die Aufgaben A7 bis A11 ähnliche Ergebnisse von zwischen knapp 70% und 87% richtigen Antworten ohne signifikante Abweichungen erreichen (in Klammern an erster Stelle die Durchschnittswerte der VG, an zweiter Stelle die der EG) bei den Clusteraufgaben A7 ( $v(t)$ -Diagramme: 87%/87%), A8 ( $a(t)$ -Diagramme: 69%/72%), A9 ( $F(t)$ -Diagramme: 72%/72%), A10 (Kraftfragen: 72%/68%) und A11 (Schlittenaufgabe: 79%/73%).

Im Nachtest (NT) (ca. 5 Monate nach dem Unterricht mit Simulationen) hat die Erprobungsgruppe EG in den Testfragen zu Beschleunigungs- und Kraftdiagrammen sowie in den Fragen zum Kraftverständnis und zur Schlittenaufgabe einen bemerkenswerten Zugewinn von ca. 18 Prozentpunkten erreicht, dies entspricht etwa zwei Dritteln des überhaupt möglichen Lerngewinns. Hingegen hat die Vergleichsgruppe VG zu allen Fragen keinen deutlich erkennbaren Lerngewinn außer zu den Fragen bzgl.  $a(t)$ - Diagrammen. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, daß in beiden Gruppen zwischen Vor- und Nachtest zusätzlich rechnergestützte Versuche nach dem MEW - Konzept zu zweidimensionalen Bewegungen im Rahmen von Schülerversuchen durchgeführt wurden, s. Reusch, [14].

## 6. Ergebnisse und Ausblick

- Zusätzliche Kleingruppenarbeit mit Simulationen im Computerraum kommt dem sehr häufig geäußerten Wunsch der Schüler nach Eigenaktivität und selber „experimentieren“ entgegen.
- Die sehr guten Schüler NG1 bevorzugen neue, noch nicht im Unterricht behandelte Situationen. Schwächere Schüler NG3 und NG4 möchten eher ihre noch vorhandenen Schwierigkeiten an für sie teilweise bekannten Versuchen klären.

<sup>3</sup> Die Testbatterie kann bei den Autoren angefordert werden. Einige Aufgaben sind auch in der MNU 1988, Wilhelm, Heuer abgedruckt

- Dieser Wunsch kann durch eine leicht zu realisierende Binnendifferenzierung anhand von unterschiedlichen Aufgabentypen entsprochen werden.
- Schüler der Niveaugruppen NG2 bis NG4 sprechen sich eher für solche Simulationen zu bekannten Versuchen aus als Schüler der Gruppe NG1, die neue Realexperimente bevorzugen.
- Die Möglichkeit der Einzelschrittbetrachtung wird von fast allen Schülern begrüßt und als wichtiges Element für den Aufbau ihres Verständnisses angesehen.
- Nicht nur die Einschätzung der Schüler spricht für die Durchführung ergänzender Physik-Simulationen im Computerraum, sondern auch die bei der vorliegenden Untersuchung erreichten Lernergebnisse zeigen, daß solche Simulationen ein bemerkenswertes Lernpotential beinhalten. Schüler mittlerer Leistungsstufe (NG2, NG3) haben typische Zugewinne, wie sie Abb. 10 gegenüber Abb. 9 verdeutlicht. Schüler der Gruppe NG4 weisen noch größeren Lernzuwachs auf, wenn sie auch das Leistungsniveau aus Abb. 10 nicht erreichen.

Für den durchgeführten Unterricht im Computerraum sind folgende Methodenelemente charakteristisch:

- (M1) Kooperatives Lernen in kleinen Gruppen
- (M2) Eröffnung von Handlungs- und Diskussionsfreiräumen
- (M3) Vorhersagen treffen lassen über den Ausgang von physikalischen Abläufen
- (M4) Erörterung und Analyse des Vorhergesagten mit dem tatsächlich Beobachteten (Schaffung eines produktiven kognitiven Konfliktes)
- (M5) Schüleraktivitäten in Form von Erproben der Vorstellungen und selbstgesteuertem Lernen auf teilstrukturierten Experimentaloberflächen
- (M6) Möglichkeiten der Variation der Versuchsparameter und des Eingreifens in den Versuchsablauf mit sofortiger Rückkopplung (Bestätigung oder Widerlegung der gedanklichen Überlegungen)
- (M7) Möglichkeiten der individuellen Hilfestellung durch PAKMA - Programme und des Aufdeckens von Strukturzusammenhängen durch Visualisierungselemente

Nach Häußler et al. [15] zeigen folgende Faktoren (geordnet nach fallender Wirksamkeit) eine relativ hohe Effektstärke gegenüber einem Normalunterricht und tragen somit ganz entscheidend zur Qualität des Unterrichts bei (Effektstärke, verstanden als ein Maß für die Wirksamkeit einer bestimmten unterrichtlichen Maßnahme im Vergleich zu einem Unterricht, in dem diese Maßnahme nicht durchgeführt wurde):

- Faktor 1: gute Leistungen verstärken,
- Faktor 2: nach einer Frage genügend lange warten,
- Faktor 3: Mastery-learning realisieren, d.h. erst dann zum nächsten Thema übergehen, wenn ein gewisser hoher Prozentsatz der Schüler den Unterrichtsinhalt verstanden hat, sonst Wiederholung des individuellen Hilfen,
- Faktor 4: Schüleraktivitäten ermöglichen und

- Faktor 5: den Unterricht strukturierende, wohlüberlegte Fragen stellen und nicht die ad hoc im fragend-entwickelnden Unterricht gestellten Fragen.

Eine Gegenüberstellung mit unseren Methodenelementen zeigt eine Vergleichbarkeit von Faktor 2 mit M2, von Faktor 4 mit M1 und M5, von Faktor 3 mit M6 und M7, von Faktor 5 mit M3 und M4 und eine teilweise Vergleichbarkeit von Faktor 1 mit M5 und M6. Die Methodenelemente M3 und M6 werden darüber hinaus auch von der TIMSS - Studie gefordert, s. Baumert [16].

Eine naheliegende Weiterführung des hier dargestellten Vorgehens, Physik-Simulationen im Rechnerraum zur Vertiefung einzusetzen, ist dies nicht nur am Ende einer größeren Unterrichtssequenz zu tun, sondern kontinuierlich bei der Behandlung neuer Sachverhalte einzuplanen und umzusetzen. Möglichkeiten dazu bieten z.B. Mechanik Programme, die mit Arbeitsaufträgen auf einer CD zur Neubearbeitung der Dorn - Bader Physik 11 erschienen sind.

Autoren:

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

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



## Literaturverzeichnis

- [1] Schecker, H. (1985). Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftlicher Aspekte - Dissertation Universität Bremen.
- [2] Th. Wilhelm, D. Heuer: Aristoteles siegt immer noch über Newton. MNU 50, Heft 5, S. 280-285, 1997.
- [3] Mandl, H. Gruber, H. & Renkel, A. (1995). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. Forschungsbericht 50. München: Universität München, Institut für Pädagogische Psychologie und empirische Pädagogik.
- [4] Th. Wilhelm, D. Heuer, A. Phan Gia: Kinematik- und Dynamiklernen am Fahrrad. PdN-Ph. 46, Heft 4 (Juni), S. 2-8, 1997.
- [5] Sokoloff, D., Thornton, R. (1997). Using Interactive lecture Demonstrations to Create an Active learning Environment
- [6] Mazur, E. (1997). Peer instruction: a user's manual. Published by Prentice Hall, Inc. Simon & Schuster / A Viacom Company, New Jersey.
- [7] Blaschke, K. (1996). Computerunterstützte Schülerversuche
- [8] Heuer, D. (1998). Perspektiven für ein modernes Physiklernen - Aristoteles sollte nicht mehr über Newton siegen. MNU-Vortrag, Leipzig, unveröffentlichtes Manuskript.
- [9] Heuer, D. (1997). Development of Mental Concepts through Experiments and Modelling by means of Dynamic Physics Representation. In S. Oblak, M. Hribar, K. Luchner, M. Munih: New Ways of teaching Physics, GIREP-ICPE International Conference (1996, Ljubljana), 1997 p. 453-455.
- [10] Heuer, D.(1996). Dynamische Physik-Repräsentationen - Verständnishilfe für Physikalische Experimente. PdN-Ph 45, Heft 4/1996. S. 12-18
- [11] Blaschke, K., Heuer, D. (1998). Physik - Lernen mit multimedial-experimentell unterstütztem Werkstatt-Unterricht (unveröffentlichtes Manuskript)
- [12] Thornton, R., & Sokoloff, D. (1990). Learning motion concepts using real - time microcomputer - based laboratory tools. Am. J. Phys. 58 (9), S. 858 - 867.
- [13] Hestenes, Wells & Swackhammer (1992). Force Concept Inventory. The Physics Teacher, 30, S. 141-158.
- [14] Reusch, W.
- [15] Häußler, P. et al. (1998). Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), Kiel.
- [16] Baumert, J. & al. (1997). TIMSS - Mathematisch - naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Opladen: Leske & Budrich.
- [17] Heuer, D. & al. (1998). Physik-Projekte zum interaktiven Simulieren, Messen, Reproduzieren, Modulieren und Analysieren im Lösungsheft zu Dorn-Bader Physik 11 A/B.

Anhang: Arbeitsblatt zum PAKMA Projekt „**Trampolinspringer**“ („trampo.prj“)  
Simulation in Kleingruppenarbeit im Computerraum

Informationen vor dem Start

Situation: Springer auf einem Trampolin

Ablauf: Springer wird hochgehoben und fällt auf das Trampolin, sinkt ein und wird wieder hochgeschleudert

Variablen: Absprunghöhe

Arbeitsaufträge (Beantwortung jeweils durch eine kurze Beschreibung oder eine Skizze)

Betrachte bei allen Aufträgen speziell:


- i, den Moment, in dem der Springer das Trampolin gerade berührt
- ii, den Bereich, in dem er in das Trampolin eindringt
- iii, den Moment, in dem er seinen tiefsten Punkt erreicht hat
- iv, den Moment, in dem er das Trampolin verläßt

Um die Bewegung zwischen i, und ii, besser beobachten zu können, drücke F6 und stelle in dem erscheinenden Fenster  $\Delta t$  auf 0,05s.

1a, Beschreibe die Bewegung des Springers in Stichpunkten bezüglich

- |   | <u>Vorhersagen</u> | <u>Projekt: Ergebnis</u> |
|---|--------------------|--------------------------|
| ◦ | v                  |                          |
| ◦ | a                  |                          |
| ◦ | F                  |                          |

1b, Überlege dir speziell auch, ab wann der Springer langsamer wird und wann  $F_{\text{res}} = 0$  gilt.

1c, Starte nun das Projekt (mit F11). Den Springer kannst Du mit „d“ anheben, mit „a“ absenken und mit „s“ starten lassen (und mit „h“ kannst Du Dir diese Information auf dem Bildschirm anzeigen lassen). Die Beschleunigung wird im Fenster 2 über Menüpunkt  Fenster angezeigt, die wirkenden Kräfte im Fenster.

1d, Überprüfe Deine Vorstellungen, trage das Ergebnis oben rechts ein und diskutiere die Unterschiede mit Deinem Nachbarn.

2a, Skizziere nun den  $s(t)$ -,  $v(t)$ - und  $a(t)$ - Grafen, so wie Du ihn Dir vorstellst in die linken Diagramme (Du kannst dabei mit dem Grafen beginnen, der Dir am einfachsten erscheint!)

	<u>Vorhersagen</u>	<u>Projekt: Ergebnis</u>
--	--------------------	--------------------------

2b, Starte nun das Projekt in Fenster 4 ( Fenster)

2c, Trage die vom Computer gezeichneten Grafen oben rechts ein, vergleiche die Ergebnisse mit Deinen Vorstellungen und diskutiere die Unterschiede mit Deinem Nachbarn.

2d, Wo liegen Unterschiede zu den bisher behandelten idealisierten Grafen?