

Implementation eines innovativen Kinematik-/Dynamik-Unterrichtskonzeptes

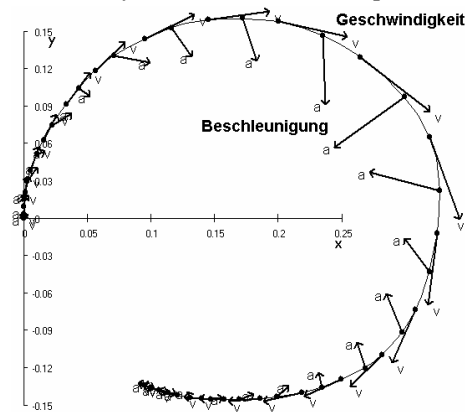
Konzeption: Um einen nachhaltigen Kinematik-/Dynamik-Unterricht zu erreichen, in dem die Schüler die physikalischen Konzepte auch verstehen, müssen Tiefenstrukturen deutlich werden. Um diese direkt sichtbar zu machen, braucht man besondere Codierungen. Auf das Wesentliche **reduzierte Animationen** des Versuchsablaufs erleichtern das Erinnern. Um physikalische Größen und ihre Zusammenhänge leichter erschließbar zu machen, werden sie im Ablauf kontextnah mit piktogrammatischen Darstellungen wie **Vektoren** und Verbindungslinien dargestellt. Diese Darstellungen nennen wir dynamisch ikonischen Repräsentationen (WILHELM, 2002 a).

Fehlvorstellungen zu den kinematischen Begriffen werden dadurch, dass im herkömmlichen Unterricht vor allem eindimensionale Bewegungen betrachtet werden, nicht aufgearbeitet bzw. sogar erst erzeugt. Denn bei den kinematischen Begriffen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung handelt es sich um vektorielle Größen, deren Vektorcharakter bei der Reduktion auf ein Vorzeichen nicht deutlich wird. Deshalb wird bei der **Einführung der kinematischen Größen** von einer **allgemeinen zweidimensionalen Bewegung** ausgegangen (WILHELM, 2002 b).

Auch in der Dynamik ist es mit einer kontinuierlichen Messung möglich, zu jedem Zeitpunkt alle interessanten Größen zu sehen und zu vergleichen. Damit kann man zeigen, dass das Grundgesetz der Mechanik selbst bei **veränderlicher Kraft** in jedem Augenblick gilt, nicht etwa nur im Mittel. Als veränderliche Kraft wurde die Hangabtriebskraft auf einer kippbaren Luftkissenfahrbahn gewählt. Eine Erweiterung mit **mehreren Kräften** zeigt $\vec{a} = \Sigma \vec{F} / m$. Eine Erweiterung mit einer **Reibungskraft** lässt diese als gerichtete Kraft erkennen (WILHELM, 2002 c).

Ikonische Darstellungen können auch in Übungs- und Testaufgaben verwendet werden. Dadurch sind mehr **qualitative**, Verständnis verlangende **Aufgaben** zu Vorgängen möglich. Damit kann der häufigen Überbetonung von Rechen- und Einsetzaufgaben entgegengewirkt werden. Die Darstellungen ermöglichen auch, vor der Durchführung der Versuche von den Schülern viele genaue **Vorhersagen** zu fordern (**Schüleraktivitäten**), insbesondere über relevante Größen und über die sie darstellenden Pfeile mit ihren Richtungen und ihren Änderungen.

Um alle Abhängigkeiten der Größen voneinander und damit **Strukturzusammenhänge bewusster zu machen**, werden Wirkungsnetze erstellt. Von einer Software (**graphische Modellbildung**) können diese Wirkungsnetze automatisch in ein Rechenprogramm umgesetzt und der physikalische Ablauf berechnet werden. Das Erstellen des Modells hilft, eigene Vorstellungen über die Strukturzusammenhänge zu klären und der Ablauf gibt eine Rückkopplung. Mit Modellbildungssystemen können authentische, komplexe Probleme behandelt werden und die wenigen Grundgleichungen der Mechanik werden betont (statt die üblichen Bewegungsfunktionen).



Evaluation: Nach dieser Konzeption wurde ein Gesamt-Unterrichtskonzept entwickelt und insgesamt **13 Lehrer in 15 Klassen** haben in Bayern danach unterrichtet. Für die teilnehmenden Lehrer wurde ein **Vorbereitungs- bzw. Begleit-Seminar** an der Universität Würzburg angeboten; Kosten wurden von der **Heraeus-Stiftung** übernommen. Die **Unterrichtsmaterialien** wurden nach Lehrerwünschen gestaltet. Insgesamt erhielten die Lehrer als Vorschläge ausführliche Stundenentwürfe, einen Stoffverteilungsplan, viele PAKMA-Projekte und VisEdit-Modelle, Videos, Aufgabenblätter, Stegreifaufgaben, Schulaufgaben, Musterlösungen usw. fertig vor. Dazu bekamen sie einen Ordner mit über 200 Seiten sowie eine CD mit fast 20 Videos und über 100 PAKMA-Projekten.

Die teilnehmenden Lehrer zeigten, dass das **Kinematik-Konzept** in der vorgeschlagenen Zeit von 14 Unterrichtsstunden für ein- und zweidimensionale Kinematik durchführbar ist. Die Lehrer lobten das Konzept als **inhaltlich geschlossen** mit erkennbarem rotem Faden. Das Herausarbeiten des zentralen **Beschleunigungsbegriffes** in Abgrenzung zur Geschwindigkeit gelinge hier deutlich besser als beim traditionellen Vorgehen. Im Gegensatz zur Einführung in die Kinematik über eindimensionale Bewegungen seien Ort und Weglänge klar unterscheidbar sowie Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsbetrag. Insgesamt habe es den meisten Schülern gut gefallen und fast alle Lehrer waren überzeugt, dass die Schüler bei diesem Vorgehen die Begriffe Geschwindigkeit und insbesondere Beschleunigung besser als nach traditionellem Vorgehen **verstanden** haben.

Es wurde gelobt, dass beim Grundgesetz der Mechanik in der Form $\vec{a} = \Sigma \vec{F} / m$ nun die Summe aller angreifenden Kräfte betont wird, da dies **realitätsnäher** sei und in Wirklichkeit immer mehrere Kräfte angreifen. Insgesamt meinten die Lehrer, dass die Schüler bei diesem Unterrichtskonzept den Begriff „**Kraft**“ und insbesondere den **Zusammenhang mit der Beschleunigung** besser als nach einem traditionellen Vorgehen **verstanden** haben. Sie waren der Meinung, dass die **Visualisierungsmöglichkeiten**, insbesondere die Darstellung der Größen und ihrer Änderungen durch Vektoren, also die dynamisch ikonischen Repräsentationen etwas brächten. Es bestand die Möglichkeit, **Videos** der Versuche zu zeigen und die Messung in PAKMA als Reproduktion in Echtzeit ablaufen zu lassen, was von den meisten Lehrern bei den wirklich komplexen Versuchen mit guten Erfahrungen genutzt wurde. So ist es wohl die einzige Möglichkeit, solche neuen, komplexen Versuche, die bisher nicht gemacht werden, effizient und motivierend im Unterricht einzusetzen. Die Videos dienen der Anschauung und verdeutlichen Versuchsaufbau und -ablauf.

Neben der Erhebung der Lehrervermeinungen wurden auch noch einige **Verständnistests** als Vor- und Nachtests durchgeführt. Die folgenden Ergebnisse beziehen sich dabei stets auf die Klassen, deren Lehrer auch am Begleitseminar teilgenommen haben. Zu den Tests liegen Vergleichswerte von konventionell unterrichteten Klassen von 1994 mit 188 Schülern (WILHELM, 1997) und von 1997 mit 564 Schülern (BLASCHKE, 1999) vor. Aus der Fülle der Daten können hier nur wenige vorgestellt werden. Dass die Schüler, die nach diesem Unterrichtskonzept unterrichtet wurden, Testaufgaben zur zweidimensionalen Kinematik besser als traditionell unterrichtete Klassen lösen können, schien selbstverständlich und deshalb wurde kein Vergleich durchgeführt. Die Frage war, ob die Schüler aber so viel Verständnis gewonnen haben, dass sie auch Testaufgaben zur **eindimensionalen Kinematik mit Grapheninterpretation** genauso oder besser als konventionell unterrichtete Klassen lösen können, denn die eindimensionale Kinematik und Grapheninterpretation kam in diesem Unterrichtskonzept kürzer vor als es in den meisten konventionellen Kursen der Fall ist. Bei Aufgaben, in denen zu einer beschriebenen Bewegung der passende Geschwindigkeitsgraph zu wählen ist, ist die Testgruppe mit durchschnittlich 85% richtigen Lösungen etwas besser als die 21 Klassen 1997 mit 78%. Bei Aufgaben, in denen zu einer beschriebenen Bewegung der passende Beschleunigungsgraph zu wählen ist, ist die Testgruppe mit 46% ebenso etwas besser wie die 21 Klassen 1997 mit 38%. Dass die Ergebnisse hier in der eindimensionalen

Kinematik nun leicht (aber nicht signifikant) besser als bei konventionellen Klassen ausfallen, kann als Erfolg gewertet werden, obwohl wir noch bessere Ergebnisse erwartet hatten.

Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Aufgabe zur **Beschleunigung beim Münzwurf**, bei der die Ergebnisse nicht als Graph, sondern 1. als Vorzeichen und 2. als Pfeil angegeben werden sollten. Hier waren die Schüler der Testklassen wesentlich besser als konventionell unterrichtete Klassen (siehe Tabelle). Insbesondere konnten viele die Richtung der Beschleunigung angeben (siehe Tabelle, Aufgabe 2), während in traditionellen Klassen einige schon die Frage an sich sinnlos fanden.

Zur Ermittlung des **Kraftverständnisses** sollte in mehreren Aufgaben jeweils die Kraft herausgesucht werden, die für eine

beschriebene Bewegung verantwortlich ist. Zuerst waren die Kräfte mit Worten beschrieben. Die Testgruppe erreichte mit 37% dabei bessere Werte als die Vergleichsgruppen 1994 mit 32% und 1997 mit 29%. Bei den Aufgaben, bei denen die Kräfte als Graphen angegeben waren, ist der Mittelwert der acht Testklassen mit 41% deutlich besser als 1994 mit 30% und 1997 mit 24%.

Bei dem bekannten **FCI-Test** von Hestenes ist der Mittelwert der acht Testklassen mit 52% besser als die bisher noch wenigen bayerischen Vergleichsklassen (3 Klassen, 42%). Der Mittelwert der vier Lehrer aus dem Seminar, die Modellbildung einsetzten, ist mit 55% noch etwas besser. Interessant ist die Betrachtung der Subskalen. Die Subskala zum dritten newtonschen Gesetz fällt auffallend gut aus, was sicher auf das Unterrichtskonzeptes zurückzuführen ist. Auch die Subskala Superposition fällt sehr gut aus. Darin befindet sich eine Aufgabe zur Vektoraddition, bei der die Schüler durch die zweidimensionale Kinematik im Vorteil sind und drei Aufgaben, bei denen die Summe der Kräfte Null ist. Hier macht sich die Betonung von $\vec{a} = \Sigma \vec{F} / m$ bemerkbar. Bei der Subskala Kraftverständnis gibt die Testgruppe ebenso ein sehr gutes Ergebnis ab.

Eine kurze **Zusammenfassung**: Mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen am Computer sind neue Zugänge und neue Unterrichtsstrategien in der elften Klasse möglich. Das entwickelte Gesamtkonzept wird von Lehren sehr positiv beurteilt und hat nach deren Meinung das Verständnis bei den Schülern gefördert. Gute Erfahrungen wurden auch beim Einsatz der graphischen Modellbildung gemacht. Trotz positiver Testergebnisse müssen wir zugeben, dass wir mehr erwartet hatten.

Literatur

- WILHELM, T.; HEUER, D. (1997): „Aristoteles siegt immer noch über Newton. Unzulängliches Dynamikverstehen in Klasse 11“. In: MNU 50, Nr. 5, S. 280 - 285
- WILHELM, T.; HEUER, D. (2002 a): „Förderung von Verständnis in der Mechanik durch den Einsatz neuer Darstellungen physikalischen Wissens am Computer“. In: Nordmeier, V. (Red.): CD zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
- WILHELM, T.; HEUER, D. (2002 b): „Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung“. In: PdN - PhiS 51, Nr. 7, S. 29 - 34
- WILHELM, T.; HEUER, D. (2002 c): „Interesse fördern, Fehlvorstellungen abbauen - dynamisch ikonische Repräsentationen in der Dynamik“. In: PdN - PhiS 51, Nr. 8, S. 2 - 11
- BLASCHKE, K. (1999): „Dynamik-Lernen mit multimedial experimentell unterstütztem Werkstatt (MEW)-Unterricht - Konzepte, Umsetzung und Evaluierung“, Dissertation

Gewählte Antwortkombination mit Interpretation	Testgruppe 2003 in % (n = 126)	Vergleich 1994 in % (n = 188)
Aufgabe 1 (+ = aufwärts)		
- - - Vorzeichen richtig	37,7	6,9
- 0 - fast-richtig	8,5	10,1
- 0 + langsamer/schneller	15,4	36,2
+ 0 - v statt a	23,1	41,0
- x x hoch richtig	66,2	53,2
x - x oben richtig	43,8	6,9
Aufgabe 2 (Richtung)		
↓ ↓ ↓ Pfeile richtig	41,5	8,5
↓ 0 ↓ Pfeile fast-richtig	17,7	15,5
↓ 0 ↑ Pfeile nach - 0 +	7,7	4,8
↑ 0 ↓ Pfeile v statt a	24,6	76,6