

Lernen von Konzepten zur Dynamik - dynamische Physikrepräsentation am Computer zur Visualisierung

1. Beantwortung von Fragen zu "Beschleunigung" und "Kraft"

Lehrer sind sich häufig nicht im Klaren darüber, wieviele ihrer Schüler auch nach dem eigenen Unterricht noch unphysikalische Vorstellungen zur Dynamik haben. In der durchgeführten Untersuchung ging es darum festzustellen, wieweit Schüler kurz nach dem Dynamikunterricht in der elften Klasse Gymnasium und Fachoberschule eher Vorstellungen haben, die man als newtonsch, oder eher solche, die man als aristotelisch bezeichnen kann. Zu diesem Zweck wurden 436 Schülern aus 24 Klassen eine größere Zahl recht einfacher, physikalisch ähnlicher Fragen gestellt. Die Fragen waren angelehnt an einen Fragebogen, der für ähnliche Zwecke von RONALD THORNTON an der Tufts University in Boston entwickelt wurde.

Außer den Multiple-Choice-Fragen zu den Begriffen Kraft, Beschleunigung und Geschwindigkeit wurde von jeder Klasse zu jeweils zwei Aufgaben eine schriftliche Begründung der Antwort verlangt, um zusätzlich Schülervorstellungen etwas detaillierter zu erheben.

Im ersten Aufgabenblock bewegt sich ein Schlitten reibungsfrei auf einer Eisfläche. Es ist jeweils die Kraft auszuwählen (vorgegebene Antwortsätze), die den Schlitten in beschriebener Weise weiterfahren läßt. Diese einfachen Aufgaben wurden aber je nach Aufgabe nur von 17 bis 50 % der Schüler richtig im Sinne der newtonschen Sichtweise beantwortet (s. Abb. 1). 41 bis 58 % der Schüler gaben aber Kräfte an, die in Bewegungsrichtung wiesen und sich mit der Geschwindigkeit veränderten (s. Abb. 1). Viele involvierte Lehrer waren über die Ergebnisse ihrer Schüler sehr erstaunt und z.T. regelrecht frustriert.

Auf der dritten Seite wurden nochmals bei einer ähnlichen Aufgabenstellung ähnliche Fragen gestellt. Hier war allerdings ein Koordinatensystem vorgegeben und die möglichen Antworten für die gesuchte Kraft waren als Graphen dargestellt. Hier antworteten nur 15 bis 27 % im newtonsch-sinnigen Sinne - also nur gut halb so viele wie bei dem ersten Aufgabenblock, aber 67 bis 76 % der Schüler im aristotelischen Sinne. Bei der Darstellung der möglichen Antworten in Graphen gaben also noch mehr Schüler eine Kraft proportional zur Geschwindigkeit an. Aufgaben, bei denen zu einer beschriebenen Bewegung der passende Geschwindigkeitsgraph gewählt werden sollte, zeigten aber, daß die Schüler bei einfachen Aufgaben keine Probleme mit Grapheninterpretation hatten (91 bis 98 % der Schüler antworteten richtig). Eine Vermutung ist, daß es für die Schüler schwerer ist, wenn sie zusätzlich zur Überlegung, welche Kraft wirkt, gleichzeitig noch Graphen interpretieren sollen.

Schwierig wird es auch für die Schüler, wenn sie den passenden Beschleunigungsgraph zu einer beschriebenen Bewegung angeben sollen. 25 bis 51 % der Schüler - je nach Aufgabe - wählten

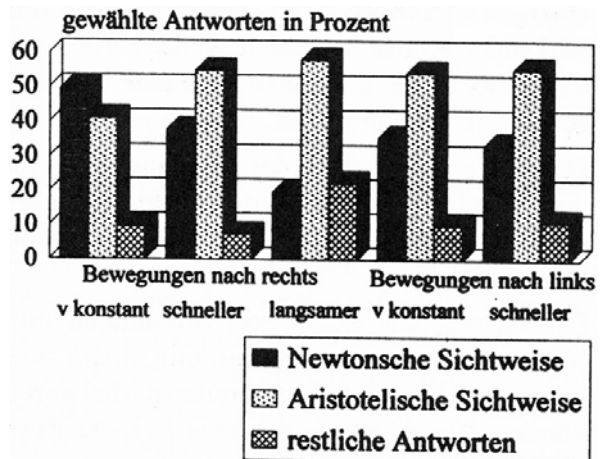


Abb. 1: Beantwortung des 1. Frageblocks zum Begriff "Kraft", 188 Schüler/11. Klasse Gymnasium

nicht den Graphen, der die Beschleunigung, sondern den, der die Geschwindigkeit anzeigt. Auch aus den schriftlichen Begründungen geht hervor, daß viele Schüler den Beschleunigungsbegriff nicht verstanden haben, sondern daß Beschleunigung für sie so etwas wie Geschwindigkeit ist. Für andere - das wurde besonders in persönlichen Gesprächen deutlich - bedeutet Schnellerwerden stets positive Beschleunigung und Langsamerwerden stets negative Beschleunigung unabhängig von Bewegungsrichtung und festgelegtem Koordinatensystem. Beschleunigung ist hier also nur eine Betragsgröße, keine vektorielle Größe. Das führt bei Bewegungen in positive Richtung zu richtigen und bei Bewegungen in negative Richtung zu falschen Antworten.

2. Vorstellung eines Unterrichtskonzeptes

Um die bekannten Lernschwierigkeiten abzubauen, wurde ein Unterrichtskonzept für den Dynamikunterricht in der elften Klasse entworfen. Ziel war es, Alltagsphänomene physikalisch sehen zu lernen, also sich authentischen Problemen aus der täglichen Erfahrungswelt der Schüler zuzuwenden. Dazu gehört die Einbeziehung von Reibung und speziell die Betrachtung einer geschwindigkeitsabhängigen Reibung, wie wir sie im Alltag bei der Luftreibung erfahren. Dazu ist es nötig, auch "komplexe" Versuchssituationen zu untersuchen. So sollte bei der Erarbeitung des Grundgesetzes der Mechanik $F = m \cdot a$ nicht nur eine **konstante** Kraft betrachtet werden, sondern die wirkende Kraft sollte **veränderbar** sein. Ferner sollte nicht bei **einer einzigen** wirkenden Kraft stehengeblieben werden, sondern auch der Fall **mehrerer** gleichzeitig wirkender Kräfte behandelt werden. An Kräften selbst sollten die unterschiedlichsten Kräfte betrachtet werden, wie z.B. auch eine konstante Gleitreibungskraft oder eine geschwindigkeitsabhängige Reibungskraft.

Durch die Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse in immer wieder neuen Situationen soll dem Schüler geholfen werden, nicht beim Lernen einzelner Formeln stehen zu bleiben, sondern ein angemessenes mentales Modell zu entwickeln und die Tragfähigkeit und die Reichweite der Gesetze zu sehen.

Die Betrachtung komplexer Situationen mit verschiedenen Kräften und der Einsatz vieler solcher Experimente ist nur mit einem Rechner möglich, mit dem **kontinuierlich** sowohl gemessen als auch die aufbereiteten Meßwert in geeigneten Repräsentationen dargestellt werden können. Hierzu wurde die neue Systemsoftware "PAKMA für Windows" verwendet.

Für den grundlegenden Versuchsaufbau wurde eine Luftkissenbahn LB verwendet, auf der sich ein Gleiter G befand. Indem die Luftkissenbahn auf der einen Seite mit Hilfe eines Fotostatives F mit Kurbelbetrieb angehoben bzw. abgesenkt wurde, wurde eine Hangabtriebskraft erzeugt (s. Abb. 2). Mit zwei

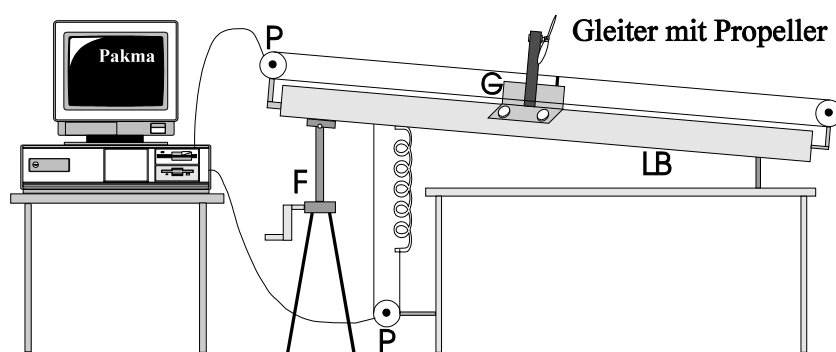


Abb. 2: Skizze des Versuchsaufbaus

Präzisionslaufrädern P und der Systemsoftware "PAKMA für Windows" wurde der Ort des Gleiters und die Höhenänderung gemessen und daraus Geschwindigkeit, Beschleunigung und Hangabtriebskraft berechnet.

Während eines Versuchsdurchgangs sieht man nun in Echtzeit in einer Animation, wie die Luftkissenbahn gekippt wird und sich der Gleiter bewegt (s. Abb. 3). Geschwindigkeit, Beschleunigung und die wirkende Hangabtriebskraft können dann als Pfeile an den Gleiter angezeichnet werden und auch ortsfest gezeigt werden (siehe Abb. 3). Diese dynamische Repräsentation der relevanten Größen ist anschaulich und intuitiv erfassbar. Man kann sie auch mit den aufgenommenen Meßwerten erneut - auch in Zeitlupe - ablaufen lassen, wobei dann damit immer ein bestimmtes Geschehen verbunden bleibt - nämlich das des realen Versuchsablaufs.

Im Unterricht, der hier nur als kurze Ergänzung am Schuljahresende zu realisieren war, waren von den Schülern vor jedem Experiment genaue Vorhersagen zu machen, die gesammelt und in diesem Stadium nicht bewertet oder hinterfragt wurden. Dadurch waren die Schüler gespannt, welche Vorhersagen richtig waren, sie beobachteten genau und erkannten auch leicht, welche ihrer Vorhersagen richtig und welche falsch waren.

Zentral für den Unterricht war der Versuch, bei dem die Höhe und damit die Kraft kontinuierlich verändert wurde. An den ortsfesten Vektoren sahen die Schüler sofort, daß sich die Beschleunigung entsprechend mitverändert (s. Abb. 3). Um deutlich zu machen, daß es auf die vektorielle Summe aller angreifenden Kräfte ankommt, wurde der gleiche Versuch auch mit eingeschaltetem Propeller durchgeführt. Entsprechend wurde auch erarbeitet, daß es notwendig ist, Reibungskräfte stets als gerichtete Kräfte zu berücksichtigen. Eine konstante Gleitreibungskraft wurde durch ein kleines Stück Schaumstoff am Gleiter erreicht. Mit vier starken Magneten, die auf den Gleiter gesetzt wurden, konnte noch eine zur Geschwindigkeit proportionale Wirbelstromkraft erzeugt werden. Bei einer konstanten Antriebskraft stellte sich hier schnell eine konstante Geschwindigkeit ein, was von den Schülern sofort mit den Bewegungen im Alltag verglichen wurde.

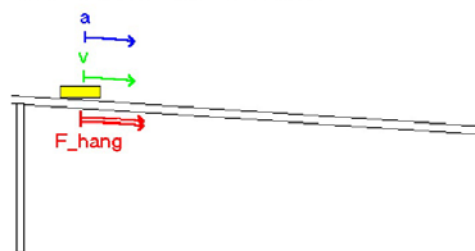
Literatur:

HEUER, D.: *Dynamische Physik-Repräsentationen als Brückenschlag zwischen realen Experimenten und inneren Bildern* - In: Deutsche Physikalische Gesellschaft (Hrsg.): *Didaktik der Physik: Vorträge - Physikertagung 1993* - Esslingen, S. 367 - 370

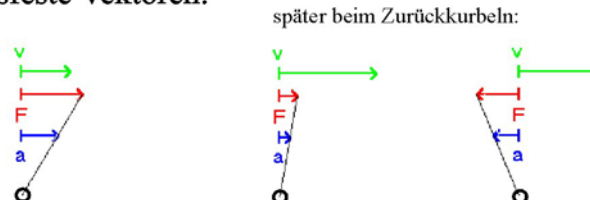
HEUER, D.: *Dynamische Physik-Repräsentationen in Realexperimenten: Beispiele* - In: DPG (Hrsg.): *Didaktik der Physik: Vorträge - Physikertagung 1993* - Esslingen, S. 371 - 378

WILHELM, T.: *Lernen der Dynamik geradliniger Bewegungen - Empirische Erhebungen und Vorschlag für ein neues Unterrichtskonzept*, Staatsexamensarbeit, Universität Würzburg, 1994

Animation mit Vektoren:



Ortsfeste Vektoren:



Zeit-Graphen mit Pfeilen:

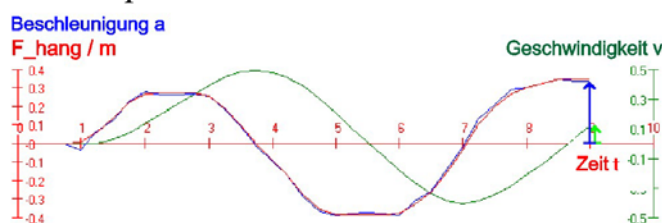


Abb. 3: Darstellungsmöglichkeiten mit dynamischer Physikrepräsentation