

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

# BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

## Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage

[www.solstice.de](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

## **Dynamische Physik-Repräsentation in Realexperimenten -- innere Bilder, eine Hilfe zur Konzeptionalisierung**

### **Zusammenfassung:**

Computerunterstützte Experimente können dem Lernenden eine wichtige Erfahrungsbasis liefern, eigene physikalische Konzepte zu erproben, in Frage zu stellen oder gar zu korrigieren. Beim Erkennen neuer Konzepte oder nicht erkannter Teil-Strukturen ist das Lesen von Grafen eine zusätzliche Aufgabe, die die Aufmerksamkeit häufig verlagert und damit das Lernen erschwert. Eine Codierung von Versuchsaussagen in ein geeignetes Notationssystem kann Brücken zu bestehenden Vorstellungen schlagen. Vektoren, Pfeile, Strahlen sind Beispiele für solche Notationen, die in der Physik in unterschiedlichsten Inhaltsbereichen eingesetzt werden und unmittelbarer zu erfassen sind als Grafen. Statt des 'Lesens' eines Grafen ist ein piktogrammartig dargestellter Prozeß zu erfassen, der als Bildsequenz dem inneren Bild vom Versuchsablauf direkt zugeordnet werden kann. Anders als das Lehrbuch, das nur eine einzelne statische physikalische Repräsentation zu einem Versuchsablauf anbietet, kann der Rechner parallel zu realem Versuchsablauf die Umsetzung in eine dynamische Physik-Repräsentation zeigen und damit entscheidend das unmittelbare Erfassen physikalischer Konzepte und Vorstellungen unterstützen. Damit erschließen sich neue didaktische Möglichkeiten für das Lernen. Dies wird an Beispielen zu verschiedenen Typen von Bewegungsvorgängen und Kondensatorauf- entladung aufgezeigt. Mit den dynamischen Physik-Repräsentationen werden qualitative Zusammenhänge vermittelt. Zur Präzisierung ist ein Übergang zum Arbeiten mit Grafen zu vollziehen, der durch gleichzeitige Darstellung beider Repräsentationen erleichtert werden kann. - Realisiert wurde das Erfassen der realen Versuchsabläufe und der parallel durchgeführten dynamischen Physik-Repräsentation mit dem offenen PAKMA-System.

### **1. Erforschen und Entwickeln angemessener physikalischer Unterrichtskonzepte**

Wie kann man Schülern helfen, besser Physik zu lernen, angemessene Konzepte zu entwickeln und Fehlkonzepte abzubauen? Ein Lösungsansatz ist, typische Lernschwierigkeiten festzustellen, zu lokalisieren, bevor Unterrichtskonzepte entwickelt werden, die diese Lernschwierigkeiten abbauen und überwinden helfen. Solche Untersuchungen sind sehr arbeits- und zeitaufwendig. Obwohl bereits viele Arbeiten zu Lernschwierigkeiten erschienen sind, steht man noch immer am Anfang der wissenschaftlichen Analyse. Unterrichtsprogramme, die gezielt von festgestellten Lernschwierigkeiten ausgehen, gibt es nur punktuell.

Als Fazit muß man festhalten: Dies ist ein langer, steiniger Weg. Er muß trotzdem verfolgt werden, weil man in der Zukunft auf grundlegende Erfolge hoffen kann. Bei der augenblicklichen Entwicklung kann er in den nächsten Jahren aber für das Physikalernen sicherlich nur punktuell hilfreich sein.

Ich meine deshalb, daß parallel zu diesem ersten unbedingt ein zweiter Weg gegangen werden muß: Wir müssen auf der Basis unserer bisherigen Teilkenntnisse über Lernschwierigkeiten und mit den heute zur Verfügung stehenden vielfältigen methodischen Möglichkeiten schon jetzt forschend und entwickelnd versuchen, Lernprozesse erfolgreicher zu gestalten. Das heißt, wir müssen schon jetzt an heute einsetzbaren Unterrichtskonzepten arbeiten und diese erproben und einsetzen.

Eine Forderung ist, daß der Lernende mehr Gelegenheit haben soll,  
- qualitatives Verstehen und Erklären physikalischer Vorgänge zu vollziehen.

Ebenso kommt es darauf an,  
- an einem breiten Spektrum konkreter Situationen und Probleme physikalische Vorstellungen aktiv selbst zu erproben und, soweit notwendig, dabei Erweiterungen und Korrekturen der eigenen Vorstellungen vorzunehmen.

Diese bisher nicht genügend realisierten Zielsetzungen lassen sich auf methodisch sehr unterschiedliche Weise ansteuern.

## **2. Durchlaufen formaler Lösungsstufen**

A. V. Heuvelen u. a. /1/ haben zum erfolgreichereren Lernen vorgeschlagen, daß der Lernende stets bestimmte formal zu beschreibende Lösungsstufen bearbeitet. Ausgehend von Wortbeschreibungen soll stets zu bildlicher, dann zu physikalischer und schließlich zu mathematischer Repräsentation fortgeschritten werden, ohne Zwischenstufen zu überspringen. Dieses Schema kann dann den Studenten helfen, die Lösung von Aufgaben schrittweise zu erarbeiten, wobei das Durchlaufen einer Lösungsstufe wichtige Hilfe für die nächste Stufe geben soll. Erste Untersuchungsergebnisse an Studienanfängern zeigen die Tragfähigkeit dieses Konzeptes.

## **3. Computerunterstützte Experimente als Erfahrungsbasis**

Experimente sind ein ganz anderer Ansatzpunkt, die aufgeführten Zielsetzungen qualitatives Verstehen und aktives Arbeiten mit eigenen physikalischen Vorstellungen bei der Physikausbildung umzusetzen. Herkömmliche Demonstrations- und Praktikumsversuche sind hierzu i. allg. wenig geeignet, da das Messen und Prüfen einer Formel im Vordergrund steht. Erst bei computerunterstützten Experimenten, bei denen das Erfassen der Meßdaten und das Erstellen von Grafen automatisiert ist, hat der Lernende Zeit, sich intensiv damit zu beschäftigen, inwieweit seine Vorstellungen über einen Versuch den erhaltenen Grafen entsprechen, s. D. Heuer /2/. Im Bereich der Mechanik, der Kinematik hat R. Thornton /3/ gezeigt, wie effizient solche Praktikumsversuche sein können, wenn sie in eine geeignete Lernstrategie eingebettet sind.

Um möglichst vielseitige computerunterstützte Experimente aus unterschiedlichsten Gebieten

der Physik verwirklichen zu können, haben wir am Lehrstuhl Didaktik der Physik der Uni Würzburg ein offenes Experimentiersystem geschaffen: das PAKMA: Physik Aktiv Messen Modellieren und Analysieren D. Heuer /4/. Die wichtigste Forderung war dabei, sowohl Offenheit wie leichte Handhabung des Systems zu erreichen. Der Experimentierende soll auf einfache Weise Veränderungen vornehmen können, die sowohl Auswertung als auch Darstellung betreffen und außerdem veränderte Fragestellungen realisieren können. Die Grundkonzeption des PAKMA wurde zuerst auf dem C64-Rechner verwirklicht 1988, D. Heuer /5/. Jetzt liegt das System in stark erweiterter Form für den Amiga vor. Die Übertragung auf den PC unter Windows 3.1 ist fast abgeschlossen. Zahlreiche neue Versuchskonzeptionen mit dem offenen Experimentier- und Modellierungssystem und auch Unterrichtserfahrungen damit wurden veröffentlicht s. W. Reusch, D. Heuer /6/. Eine besondere Stärke des PAKMA ist die Möglichkeit, nicht nur einen Versuchsablauf aufzunehmen und durch die Darstellung relevanter Grafen zu analysieren sondern zusätzlich on line, also in Realzeit, eine Modellierung des Vorgangs vorzunehmen.

#### **4. Vorteile anderer Notationssysteme gegenüber herkömmlichen Grafen.**

Bei den bisher vorgeschlagenen Einsätzen computerunterstützter Experimente ging es stets darum, physikalische Aussagen aus dem Experiment dadurch aufzuzeigen, daß funktionale Abhängigkeiten physikalischer Größen durch Grafen wiedergegeben werden. Das ist für Kenner, die bereits über angemessene physikalische Konzepte verfügen, ein sehr effizientes Vorgehen. Es erfordert nämlich stets eine Transformation. Der Graf muß "gelesen" werden, d. h. charakterische Aussagen - das sind häufig qualitative - müssen erfaßt und dem inneren Bild, daß man sich vom Versuch und seinem Ablauf macht, zugeordnet werden. Diese innere Verarbeitung ist sicher dann erfolgreich zu nennen, wenn später bei einer geistigen Rekonstruktion der Versuchssituation Abhängigkeiten wieder erschlossen werden können, und zwar so deutlich, daß sich der qualitative Verlauf der grafischen Repräsentationen wieder ergibt, ohne daß man auf ein konkret erinnertes geometrisches Bild des früher ermittelten Grafen zurückgreifen muß.

Das Durchlaufen der hier angedeuteten Verarbeitungskette ist aber für Nicht-Experten mit zwei Schwierigkeiten verbunden:

- Das "Lesen" der Grafen, d. h. das Erfassen charakteristischer Aussagen der Grafen in Bezug auf die vorgegebene Versuchssituation ist eine zusätzliche Aufgabe. Dies Erfassen kann erfolgreich geübt werden, wie z. B. die Untersuchungen von Thornton /3/ zeigen. Trotzdem erfordert es immer eine hohe gedankliche Konzentration, die abhängig von Alter und den bisherigen Lernerfahrungen unterschiedlich gut gelingt. Auf jeden Fall ist danach wieder ein Rückbesinnen auf die Ausgangssituation erforderlich.
- Die erkannten Aussagen müssen dann mit den vorhandenen Vorstellungen in Beziehung gesetzt werden.

Eine Codierung dieser Aussagen in ein geeignetes Notationssystem schlägt Brücken zu bestehenden Vorstellungen. Dadurch und durch die Visualisierung wird eine Hilfe für ein späteres Erinnern erleichtert.

Die hier angesprochenen Notationssysteme sind typischer Weise mit dem Fortschreiten der Physik entwickelt worden. Sie finden sich in vielen Schemazeichnungen der Physiklehrbücher. Vektoren, Pfeile, Strahlen sind Beispiele dafür, die je nach Kontext verschiedenste physikalische Größen repräsentieren und damit in unterschiedlichsten Inhaltsbereichen eingesetzt werden können. Ihr häufiger Einsatz, insbesondere in den Einführungslehrbüchern, zeigt offensichtlich, daß sich Aussagen mit ihnen sehr prägnant verdeutlichen lassen. Allerdings werden sie von Lernenden bisher relativ wenig beim Problemlösen eingesetzt. Offensichtlich ist es nötig, zu variierten physikalischen Situationen, auch die jeweils zugehörige physikalische Repräsentation aufzuzeigen, um damit auch qualitatives Schließen und Argumentieren zu fördern.

## **5. Dynamische Physik-Repräsentation zur qualitativen Darstellung physikalischer Versuchsabläufe**

Hier ist eine weitere Möglichkeit, Physik-Lernen durch Computerunterstützung zu fördern. Sie ist im Zusammenhang mit Experimenten bisher noch gar nicht in den Blick genommen worden. Wenn man parallel zum physikalischen Vorgang auf dem Bildschirm eine Repräsentation des Vorgangs zeigt, die auf Grund der gewählten Notation unmittelbarer ist als der herkömmlicher Weise eingesetzte Graf, so sind damit für den Lernenden zwei Hilfen verbunden:

- Das 'Lesen' des Grafen kann anfänglich entfallen, stattdessen ist zunächst nur ein pikto-grammatisch dargestellter Prozess zu erfassen.
- Diese Bildsequenz des Prozesses kann als Ablauf dem inneren Bild, das sich der Lernende über den Versuch und seinen Ablauf macht, direkt zugeordnet werden.

Gegenüber einem Einzelbild im Lehrbuch können erst mit dem Rechner der gesamte Vorgang und damit die dynamischen Veränderungen der physikalischen Repräsentation einer Versuchssituation aufgezeigt werden.

Im Prinzip kann dieses Vorgehen, physikalische Vorgänge mit ihren geeigneten Repräsentationen darzustellen sowohl in Simulationen als auch mit Real-Experimenten eingesetzt werden. Für Simulationen finden sich gelegentlich Beispiele, in denen insbesondere zu Bewegungen Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Kraft-Vektoren dargestellt werden, es fehlen aber systematische Gestaltungsmöglichkeiten dieser Notationen, um Konzepte gezielt vermitteln zu können. Die Erarbeitung und der Einsatz solcher Konzepte im Zusammenhang mit Experimenten scheint noch wichtiger als bei Simulationen. Denn die Übertragung der

dargestellten Repräsentationen auf die unmittelbar vorliegende Wirklichkeit stellt eine besondere Herausforderung dar.

## 6. Beispiele für physikalische Repräsentationen von Realversuchen

Die hier ausgeführten allgemeinen Überlegungen sollen an einigen Beispielen, die sehr unterschiedliche Repräsentationsmöglichkeiten nutzen, verdeutlicht werden.

### 6.1 Bewegung eines Fahrbahnwagens oder Gleiters unter dem Einfluß einer konstanten Kraft z. B. an der schiefen Ebene

Die Bewegung des Wagens wird über ein Präzisionslaufrad (Auflösung ca. 1 mm bzw. 1/10 mm) erfaßt, s. D. Heuer /7/. Auf dem Bildschirm wird die Bewegung des schematisch dargestellten Wagens maßstabsgerecht angezeigt. Die momentane Geschwindigkeit  $v$  (ermittelt aus  $\Delta s/\Delta t$ ) wird als Vektor dargestellt. Um die Wirkung der Kraft auf  $v$  zu verdeutlichen, wird die alte Geschwindigkeit  $v_{alt}$  aus dem letzten Zeitintervall und der Geschwindigkeitszuwachs  $\Delta v$  mit eingezeichnet, s. Abb. 1. Alle Vektoren bewegen sich mit dem Wagen mit. Um den gleichmäßigen Zeitablauf anzudeuten, kann noch eine symbolisch dargestellte Uhr mit auf dem Bildschirm erscheinen.

Zielsetzung: Durch die Vektordarstellung von  $v$  und  $\Delta v$  sollen Zusammenhang und Veränderung dieser Größen mit der wirkenden Kraft aufgezeigt werden: Der Versuchablauf zeigt

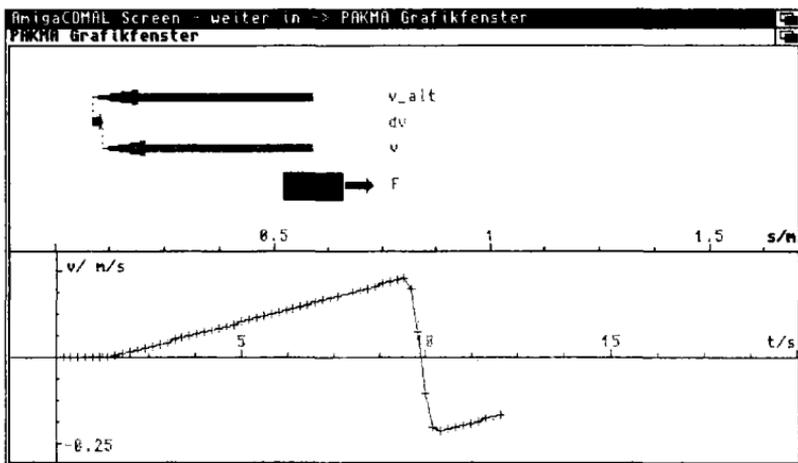


Abb. 1: Ein Gleiter bewegt sich auf einer Luftkissenbahn unter dem Einfluß einer konstanten Kraft. Eingezeichnet ist die momentane Geschwindigkeit  $v$ , die 'alte' Geschwindigkeit  $v_{alt}$  und die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$ . - Zusätzlich ist im unteren Fenster der Graph  $v(t)$  dargestellt. Im Unterricht wird dieser Graph, wie alle anderen Grafen in den folgenden Abbildungen, erst in einer 2. Erörterungsphase gezeigt, s. Abschnitt 7.

ein immer gleiches  $\Delta v$ , dadurch nimmt  $v$  gleichmäßig mit der Zeit zu. Beim elastischen Stoß des Wagens am Fahrbahnde ist  $\Delta v$  plötzlich in entgegengesetzter Richtung sehr groß;  $v$  kehrt dadurch die Richtung um. Nach dem Stoß hat  $\Delta v$  wieder die anfängliche Richtung. Die Länge von  $v$  nimmt jetzt aber zuerst gleichmäßig ab, bis daß sich die Bewegungs-Richtung umkehrt und  $v$  wieder zunimmt. Versuchsvariationen: Verändern des Zeitintervalls  $\Delta t$ , der Kraft  $F$  und der Masse  $m$  des Wagens.

Weitere Aussagen, die verdeutlicht werden können: Die Kraft  $F$  bewirkt die Größe von  $\Delta v$ , aber bei Verdopplung, Halbierung usw. von  $\Delta t$  verändert sich  $\Delta v$  entsprechend ( $\Delta v \sim \Delta t$ ). Zwei Möglichkeiten, diese Inkonsequenz zu beheben:

- Die Wirkung der Kraft  $F$  auf  $\Delta v$  wächst proportional mit der Zeit  $\Delta t$ : Nicht  $F$  sondern die Größe  $F\Delta t$  bestimmt  $\Delta v$ , also der Kraftstoß. Unter Einbeziehung der Masse  $m$  heißt die Vermutung:  $F\Delta t \sim m \cdot \Delta v$
- Die Kraft bestimmt nur die Größe  $\Delta v$ , wenn man sich stets auf gleiches  $\Delta t$  bezieht. Wegen  $\Delta v \sim \Delta t$  ist erst die Größe  $\Delta v/\Delta t$  ein Maß für den Einfluß der Kraft auf die Bewegung. Wenn man diese Zusammenhänge aufzeigen will, muß die dynamische Physik-Repräsentation aus Abb. 1 erweitert werden können: Dann ist zusätzlich der Kraftstoß und die Impulsänderung, bzw. die Beschleunigung mit darzustellen.

## 6.2 Schwingung eines Federpendels

Hier wird die Lage des Schwingers, der Auszug der Feder und wiederum  $v$ ,  $v_{\text{alt}}$  und  $\Delta v$  dargestellt, zusätzlich die Beschleunigung  $a$ . Eine entscheidend neue Aussage gegenüber dem Versuch mit  $a = \text{konst}$  (s. 6.1) ist hier, daß  $\Delta v$  und noch deutlicher  $a$  stets zur Nullage hinzeigen. Dabei wächst ihre Größe und damit die rücktreibende Kraft entsprechend dem Auszug der Feder ( $a \sim -x$ ), s. Abb. 2.

In einer erweiterten Darstellung kann man auch die Kraft  $F$  der Feder auf den Schwinger mit einem elektronischen Kraftmesser erfassen und  $F_D$  zusammen mit der Gewichtskraft  $F_G$  des Schwingers und der resultierenden Kraft  $F_R = F_D + F_G$  darstellen. Wird hier zusätzlich der Beschleunigungsvektor mit eingezeichnet, so wird der Zusammenhang zwischen angreifenden Kräften und der Beschleunigung visualisiert.

## 6.3 1-dimensionale Stoßvorgänge

Wie bei den beschriebenen Bewegungsvorgängen, können auch hier mit den Geschwindigkeitsvektoren  $v$  und ihren Änderungen  $\Delta v$  relevante Größen für das Erfassen und Beschreiben von Stoßvorgängen visualisiert werden. Beim Stoß gleicher Massen, s. Abb. 3, kann man bei langsam ablaufenden Stößen, die sich durch sehr weiche Federn realisieren lassen, sehr gut die Geschwindigkeitsübernahme von einem zum anderen Körper verfolgen. Bei unterschiedlichen Massen müssen die gewichteten Geschwindigkeiten und damit die Impulse dargestellt

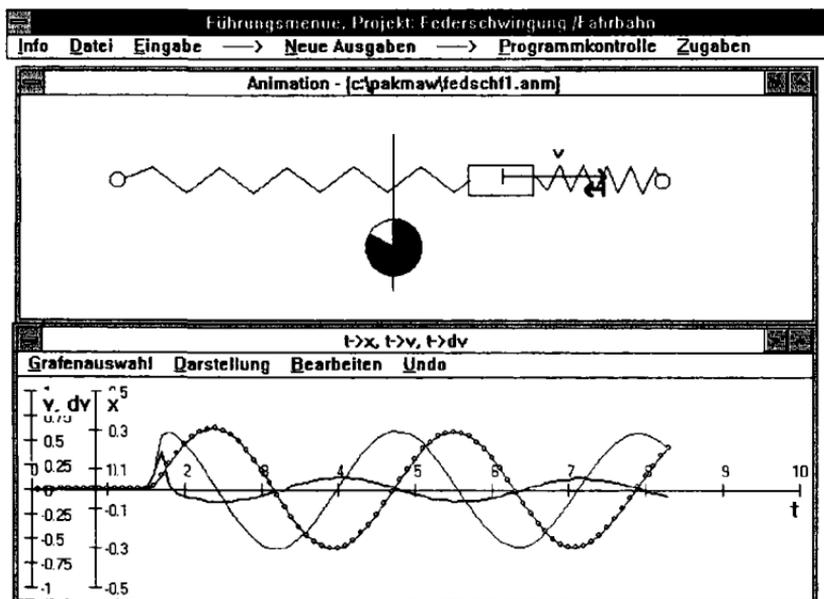


Abb. 2: Momentanbild der dynamischen grafischen Repräsentation einer Federschwingung. Zusätzlich zu den Größen aus Fig. 1 wird hier noch die Beschleunigung  $a$  dargestellt. Die Länge dieses Zeigers ist proportional zum jeweiligen Federzug. Der Graph zeigt  $v(t)$ .

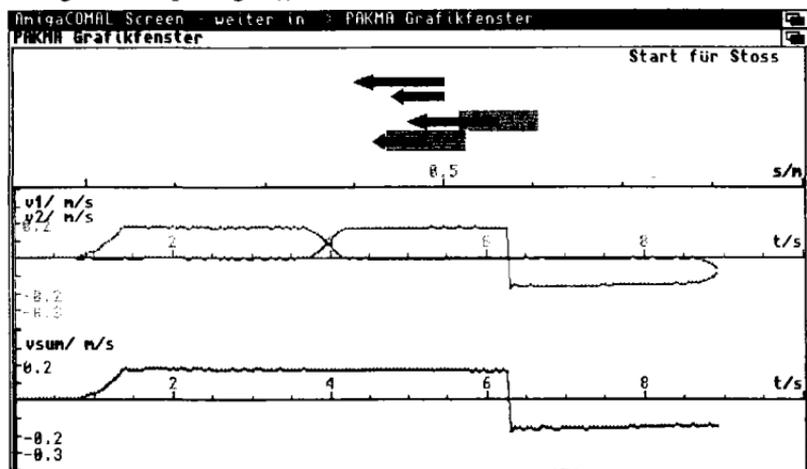


Abb. 3: Momentanbild der dynamischen Repräsentation von Stoßprozessen. Zusätzlich zu den Geschwindigkeitsvektoren  $v_1$ ,  $v_2$ , die an den Körper 1 und 2 eingezeichnet sind, sind  $v_1$  und  $v_2$  noch einmal ab einem festen Punkt abgetragen, damit man ihre gegenseitige Veränderung beim Stoß besser vergleichen kann. Der Stoß erfolgt über sehr weiche Federn, damit man ihn im zeitlichen Ablauf gut verfolgen kann.

werden. Damit ist die Impulsübertragung während des Stoßes direkt in der dynamischen Physikal-Repräsentation zu verfolgen.

#### 6.4 2-dim Bewegung

Für das Anwenden von Begriffen wie Geschwindigkeit und Beschleunigung sind prozedurale Fähigkeiten wichtig, z. B. wie Beschleunigungen aus Geschwindigkeitsvektoren ermittelt werden, s. P. Labudde, F. Reif, L. Quinn /8/. Dazu lassen sich gut geführte 2-dimensionale Bewegungen einsetzen, die leicht mit einer Computermaus erfasst werden können. Dann kann nicht nur der Ort  $\vec{x}(t)$  der Maus sondern auch ihre Geschwindigkeit  $\vec{v}(t)$  und die Beschleunigung  $\vec{a}(t)$  dargestellt werden. Da hier im allgemeinen die bereits gezeichneten Vektoren die neu zu zeichnenden nicht verdecken, brauchen sie auch nicht gelöscht zu werden. So kann man gut den Konstruktionsalgorithmus erkennen, mit dem aus  $\vec{v}$   $\vec{a}$  ermittelt wird. Dazu ist es nötig, wie in P. Kraemer, D. Heuer /9/ vorgeschlagen, daß vom Programm immer der 'alte' und 'neue' Geschwindigkeitsvektor am gleichen Ausgangsort abgetragen und die Geschwindigkeitsdifferenz  $\Delta\vec{v}$  gebildet, wird s. Abb. 4.

#### 6.5 Schwerpunkt- und Innere Bewegung bei gekoppelten Pendeln

Schwebungen, wie sie bei gekoppelten Pendeln auftreten, sind mathematisch leicht als Überlagerungen von zwei Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz zu beschreiben. Der Zusammenhang des Bewegungsablaufs mit der symmetrischen und der antisymmetrischen Schwingung ist aber im Detail nur schwer direkt zu durchschauen. Stellt man zusätzlich zu den Auslenkungen  $x_1$  und  $x_2$  der beiden Schwinger - sie werden wieder wie in 6.1 mit Laufrädern erfaßt - die Auslenkung  $x_s$  des Schwerpunkts und die Auslenkung  $x_{in}$  der inneren Bewegung auf dem Bildschirm dar, s. Abb.5, so kann man aus der zeitlichen Veränderung sowohl den etwa sinusförmigen Verlauf von  $x_s$  und  $x_{in}$  wie auch die etwas unterschiedlichen Frequenzen am Bildschirm direkt erkennen.

Nicht nur die Konstruktion von  $x_s$  und  $x_{in}$  aus  $x_1$  und  $x_2$  ist direkt aus der Abb. 5 zu entnehmen. Man sieht auch aus den Anfangsauslenkungen  $x_{10}$  und  $x_{20}$  der beiden Pendel, wie groß die zugehörigen  $x_{s0}$  und  $x_{in0}$  sind. Bei einem Start mit Anfangsgeschwindigkeit = 0 sind damit die Anteile der Schwerpunktbewegung und inneren Bewegung festgelegt. Ziel ist, durch die separate Darstellung der Bewegung von  $x_s$  und  $x_{in}$  aufzuzeigen, daß sich in jedem Moment die Bewegung des gekoppelten Pendels als Überlagerung zweier unabhängig voneinander schwingenden Systeme ergibt, die physikalisch die Schwerpunktbewegung und die innere Bewegung repräsentieren.

Das Zustandekommen und der zeitliche Ablauf der Schwebung kann sehr anschaulich mit der bekannten Zeigerdarstellung vermittelt werden, bei der die Projektion eines umlaufenden

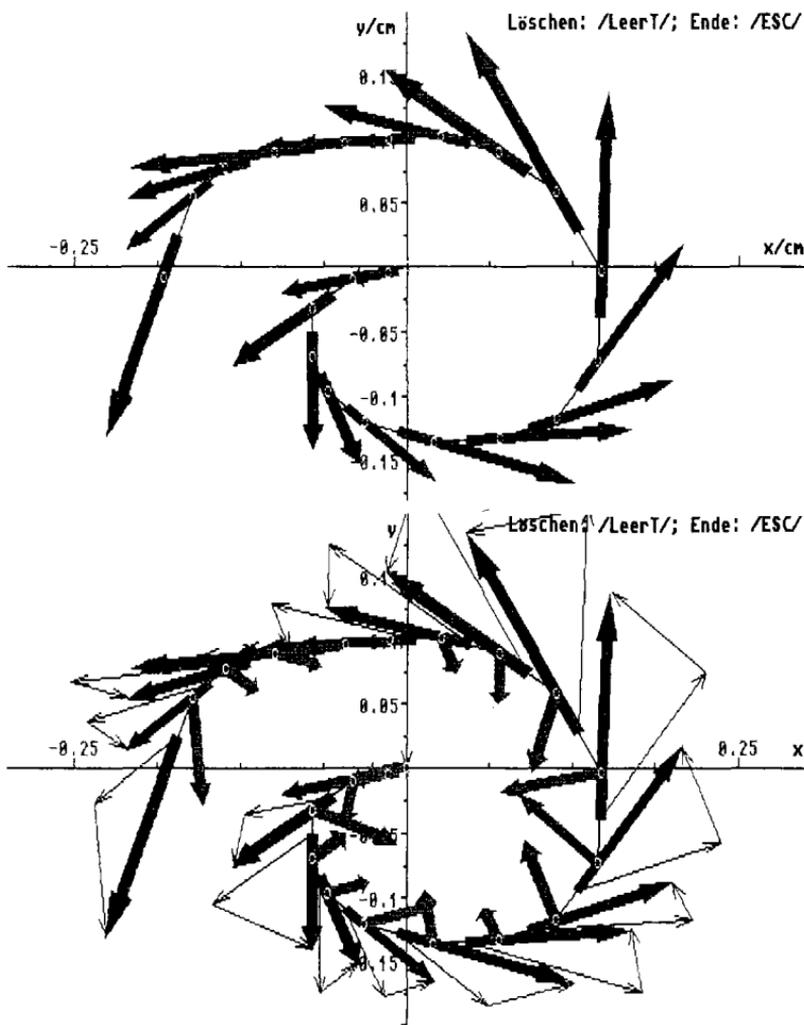


Abb. 4: Der Ort einer mit der Hand bewegten Computermaus wird alle 0,3 s aufgezeichnet. Oben sind die Geschwindigkeitsvektoren mit eingezeichnet, unten zusätzlich die Beschleunigungsvektoren. Außerdem wird verdeutlicht, wie die Beschleunigungsvektoren konstruiert werden.

Zeigers eine Sinusschwingung ergibt. Es müssen nur zwei unabhängige Zeigerbewegungen aneinandergesetzt werden. Abb. 6 zeigt links die Analyse: aus  $x_1$  und  $x_2$  werden zuerst durch Addition und Substraktion die Schwingungen  $x_s$  und  $x_{in}$  ermittelt. Rechts erfolgt die Synthese: Unten werden die Zeiger dargestellt, deren Projektion  $x_s$  und  $x_{in}$  ergeben. Diese Zeiger werden oben addiert und dann die Projektion mit  $x_1$  verglichen.

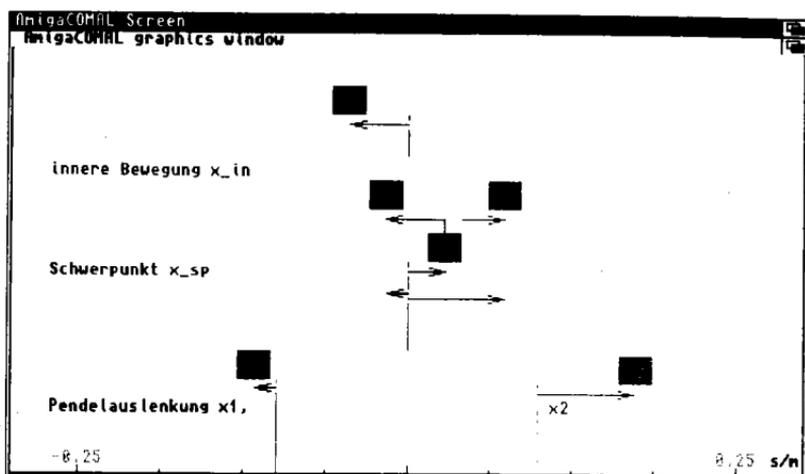


Abb. 5: In der untersten Ebene sind die momentanen Auslenkungen der gekoppelten Pendel eingezeichnet. Darüber ist die Lage  $x_s$  des Schwerpunkts eingetragen. In der nächsten Ebene wird aus der Lage von  $x_s$  und den Auslenkungen  $x_1, x_2$ , die hier ab einer gemeinsamen Nulllage abgetragen sind, die Größe  $x_{in}$  konstruiert. Die innere Bewegung  $x_{in}$  wird schließlich in der obersten Ebene so eingezeichnet, wie sie von einem mit  $x_s$  mitbewegten Beobachter gesehen wird.

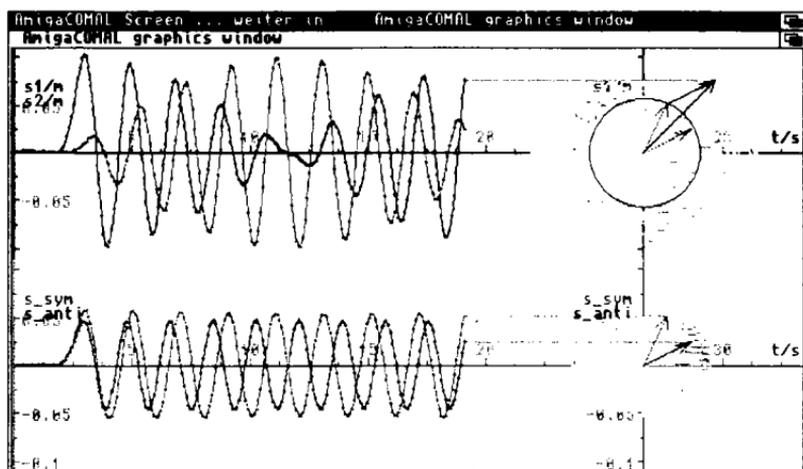


Abb. 6: Die Schwebung links oben wird darunter in die beiden Grundschwingungen unterschiedlicher Frequenz aufgeteilt. Die beiden Schwingungen 'entstehen' aus den beiden rotierenden Zeigern rechts daneben. Die Addition dieser beiden Zeiger (nur diese ist oben gezeichnet) bzw. ihre Subtraktion "ergibt" bzw. erzeugt bei der Projektion auf die vertikale Achse wieder die Schwebung.

## 6.6 Kondensatorauf- und entladung

Wenn man Spannungen und Ströme durch Pfeile kennzeichnet, kann man eine Kondensatoraufladung durch das Schema in Abb. 7 charakterisieren. Mit zunehmender Kondensatorspannung  $U_C$  wird die Spannungsdifferenz zwischen der Betriebsspannung  $U_B$  und  $U_C$  immer kleiner und gemäß  $U_B - U_C = i \cdot R$  auch der Ladesstrom  $i$ . Durch dieses Schema wird die Funktion von  $U_C$  als Spannungsquelle deutlich, ebenso die immer langsamer ablaufenden Änderungen, je mehr sich  $U_C$  und  $U_B$  annähern. Um die Größe des Stroms  $i$  zu veranschaulichen, wird ein Pfeil mit fester Länge gewählt, dessen Breite entsprechend der Größe von  $i$  verändert wird. Zur Unterstützung der Flußvorstellung kann man die Richtung des  $i$ -Pfeils so wählen, daß sie der Richtung von  $U_B$  auf  $U_C$  entspricht, s. Abb. 7.

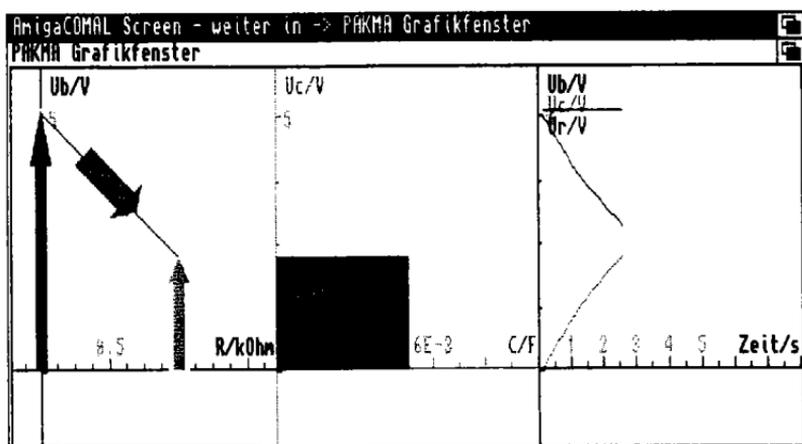


Abb. 7: Schematische Darstellung zur Kondensatorauf- und entladung. Die Betriebsspannung  $U_B$  und die Kondensatorspannung  $U_C$  werden durch Vektoren dargestellt. Der Strom  $i$  wird durch einen Breitpfeil angezeigt, dessen Breite proportional zu  $i$  ist und dessen Länge festbleibt. Die Neigung wird stets so gewählt, daß der Breitpfeil auf der Verbindung von  $U_B$  und  $U_C$  liegt, um die Größe des Gefälles anzudeuten. Die Fläche neben  $U_C$  stellt ein Maß für die Ladung des Kondensators dar, die durch den Strom  $i$  über die Zeit angesammelt ist.

Ziel ist es, Aufladungs- und Entladungsvorgänge mit einem anschaulichen, strukturellen Modell zu erklären, damit der Lernende dieses dann für qualitative Vorhersagen bei unterschiedlichem  $U_B$ ,  $R$  und  $C$  einsetzen kann.

Erweiterungen: Berücksichtigen der Größe  $R$  im Spannungs-Pfeil Diagramm. Wenn der Abstand der  $U_B$ - und  $U_C$ -Vektoren proportional zu  $R$  gewählt wird, so ist der Strom  $i$  proportional zur Steigung der Verbindungslinie von  $U_B$  und  $U_C$ . Zusätzlich kann die durch den Strom transportierte Ladung durch eine Rechteck-Fläche mit den Seiten  $U_C$  und  $C$  neben dem  $U_C$ -Vektor veranschaulicht werden. ( $Q = C \cdot U_C$ ). In einer 3D-Darstellung können auch

die Energiebeiträge z. B. zur Kondensatoraufladung gemäß  $U_C \cdot \Delta Q$  als Volumen dargestellt und ihre Gesamtgröße direkt aus der Grafik ermittelt werden.

Andere Beispiele für den Einsatz dynamischer Physik-Repräsentationen sind Spannungsverläufe an Potentiometern - unbelastet und belastet - oder auch Ströme in verzweigten Stromkreisen, wo Pfeile variabler Breite eingesetzt werden können, s. R. Girwidz /10/.

### **7. Didaktische Zielsetzung der dynamischen Physik-Repräsentation**

Die Beispiele zeigen, wie durch geeignete Visualisierung qualitative Aussagen mit Hilfe dynamischer Physik-Repräsentationen direkt vermittelt werden können. Zu wichtigen grundlegenden Inhalten der Physik werden dem Lernenden parallel zum experimentellen Ablauf geeignete physikalische Repräsentationen auf dem Bildschirm gezeigt. Die Parallelität von physikalischem Vorgang und Repräsentation sowie die gezielten Variationen der Versuchsuchabläufe sollen ermöglichen, physikalische Konzepte aufzubauen, mit denen der physikalische Vorgang dann angemessen erfaßt werden kann. Erst nachdem der Lernende solche Konzepte aufgebaut und qualitative Zusammenhänge erkannt hat, sollten dann Grafen zur Präzisierung physikalischer Abhängigkeiten herangezogen werden, deren Interpretation zusätzliche Verarbeitungsprozesse erfordert. Während einer Übergangsphase ist die gleichzeitige Darstellung beider Repräsentationsformen unbedingt erwünscht, da durch Rückgriff auf die bekannte Repräsentationsform eine Hilfestellung beim Umgang mit den abstrakteren grafischen Darstellungen angeboten wird.

### **8. Realisierung der dynamischen Physik-Repräsentation und ihr Einsatz**

Die dynamische Physik-Repräsentation ist bisher auf zwei sehr unterschiedliche Weisen im PAKMA realisiert. Im Amiga-PAKMA stehen einzelne Anweisungen zum Zeichnen von Vektoren, Hilfslinien, gefüllten Flächen etc. zur Verfügung. Werden solche Programm-anweisungen ausgeführt, solange die Prozedur: 'Animation an' aufgerufen ist, werden die zugehörigen Grafikelemente in der zuletzt gezeichneten Form gelöscht und erst dann in der aktuellen Form gezeichnet. In der PC-PAKMA Version unter Windows 3.1, die im Sommer 1993 verfügbar sein wird, steht zum Erstellen der dynamischen Physik-Repräsentation ein eigener Grafik-Editor zur Verfügung. In ihm werden die Grafikelemente aufgerufen, arrangiert und ihre Verknüpfung mit den physikalischen Ausgabe-Größen festgelegt. Diese werden im Kernprogramm ermittelt, das den physikalischen Versuchsablauf erfaßt. Entsprechend dem PAKMA-Konzept, das ein offenes System darstellt, mit dem der Anwender auf möglichst einfache Weise seine Vorstellungen zum Messen, Analysieren, Modellieren und Darstellen umsetzen kann, sind auch die dynamischen Repräsentationen so angelegt, daß sie leicht erstellt und auch abgeändert werden können. Schüler werden aber mit vorgegebenen Repräsentationsprogrammen arbeiten, da diese insbesondere beim Kennenlernen grundlegender Versuchabläufe eingesetzt werden.

Als nächster Schritt soll in Unterrichtserprobungen u. a. untersucht werden, inwieweit das Bilden physikalisch angemessener Konzepte durch die dynamischen Physik-Repräsentationen unterstützt werden kann.

### **Dank:**

Für die Pogrammerstellung des PAKMA danke ich folgenden Studenten (überwiegend Angehörige der Uni Würzburg): Für die Amiga-Version: Martin Schröder (insb. Animation), Holger Graefe, Heino Sand (Uni Erlangen), Martin Müller-Sommer, Martin Vaeth; für die PC-PAKMA-Version unter Windows 3.1: Stefan Hild (Kings College, London), Michael Schmidt (Animationsteil) und Stefan Hahn (Meßroutinen). Sie arbeiteten mit großem Engagement, um so viele konzeptionelle Details wie möglich zu verwirklichen. Ebenso danke ich den zahlreichen Lehrern, die im Unterricht mit PAKMA gearbeitet haben und deren Rückmeldungen wertvolle Anregungen gegeben haben.

Ermöglicht wurde die Entwicklung der PC-PAKMA-Version durch die finanzielle Unterstützung von IBM Deutschland.

### **Literatur:**

- /1/ Alan Van Heuvelen: Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies, Am. J. Phys. 59, 891 ff, (1991)
- /2/ Dieter Heuer: Changing misconceptions through MBL - a concept for LAB-sessions. Vortrag auf dem Workshop: B. Tinker, T. Ellermeijer, Computer Based Labs, Amsterdam 10. - 15.11.1992.
- /3/ Ronald K. Thornton, David R. Sokoloff: Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools, Am. J. Phys. 58, 858 (1990)
- /4/ Dieter Heuer: Offene Programmierumgebung zum Messen, Analysieren und Modellieren: Ein Werkzeug, physikalische Kompetenz zu fördern, Physik in der Schule 30, Heft 10, (1992)
- /5/ Dieter Heuer, Roland Treffer: Handbuch: Physik erfahren durch Computer-Experimente. Bd. 2: Computer-Versuchsanalyse, Messen, Auswerten, Darstellen, mit Programm- und Meßdatendiskette, ISBN 3-9801796-2-1 Würzburg 1988
- /6/ Wolfgang Reusch, Dieter Heuer: Einführung der Kennlinie von elektrischen Leitern in der Sekundarstufe I, PdN-Ph. 5/41. 13 ff, (1992)
- /7/ Dieter Heuer: Bewegungen "haargenau" messen mit Sonarmeter oder Laufrad. PM 41, Heft 4. 4 ff, 1992.
- /8/ Labudde, P., Reif, F., Quinn, L.: Facilitation of Scientific Concept Learning by Interpretation Procedures and Diagnosis, European Journal of Science Education 1987
- /9/ Peter Krahrmer, Dieter Heuer: Lernchancen durch Parallelität von Bewegungsabläufen und Grafik in K. H. Wiebel [Hrsg]: zur Didaktik der Physik u. Chemie 12, Tagung Hamburg 1991, 166 ff (1992)
- /10/ Raimund Girwidz: Die Stromzange, eine neue experimentelle Unterrichtshilfe, Beitrag in diesem Band.