

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

## **BEITRAG AUS DER REIHE:**

Werner B. Schneider (Hrsg.)

# Wege in der Physikdidaktik

Band 1

Sammlung aktueller Beiträge aus der  
physikdidaktischen Forschung

ISBN 3 - 7896 - 0090 - 3

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1989

### 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.

Dieter Heuer

## **Physik aktiv erlernen durch Messen, Modellieren, Analysieren mit der Programmierungsumgebung PAKMA**

### **1. Didaktische Zielsetzungen**

Ein Standardvorgehen im Physikunterricht ist es, ausgehend von einer unterrichtlichen Fragestellung, ein Experiment zu entwickeln, dessen Meßdaten gezielt analysiert werden, um daraus neue Erkenntnisse insbesondere Gesetzmäßigkeiten zu erschließen. So bedeutsam dieses Verfahren als grundsätzlicher Erkenntnisweg ist, wegen der i.allg. recht zeitaufwendigen Meßdatenaufnahme und Aufbereitung wird es vornehmlich für grundlegende Versuche eingesetzt, in denen Nebeneinflüsse so weit wie möglich eliminiert sind. Dadurch haben solche Versuche für das eigentliche Physik-Lernen bisher nur untergeordnete Bedeutung gehabt. Denn für das Lernen ist das Anwenden, Abklären und Ausschärfen von sich beim Schüler bildenden Vorstellungen unerläßlich. Dazu bieten gerade konkrete Versuchssituationen mit ihren Veränderungen viele Ansatzpunkte, allerdings nur, wenn aus den Versuchsabläufen direkt interpretierbare Aussagen unmittelbar zu erhalten sind. Hier bietet der Rechner zum ersten Mal die Möglichkeit, zeitaufwendige Routinearbeiten des Messens, Auswertens und der grafischen Darstellung zu automatisieren. Entsprechend den anstehenden Fragestellungen müssen dann geeignete Rechneranweisungen zum Aufnehmen der Meßdaten wie auch zum Aufbereiten und zur grafischen Darstellung angegeben bzw. ausgewählt werden.

Wenn es gelingt, eine solche Software zu realisieren, mit der der Rechner dann als leicht handhabbares Werkzeug im Unterricht eingesetzt werden kann, so ist zum ersten Mal in der Geschichte des Physikunterrichts der entscheidende Durchbruch erzielt, das Experiment nicht nur für grundsätzlich wichtige Fragen als Erkenntnismittel einzusetzen, sondern auch als Mittel, physikalische Vorstellungen in realen Versuchssituationen schnell und effektiv zu prüfen, zu konkretisieren, einzuüben und gegebenenfalls auch abzuändern. Hier soll an der Thematik: Federpendel gezeigt werden, wie mit einer geeignet konzipierten Programmierungsumgebung dieses Ziel erreicht werden kann, nämlich physikalische Experimente interaktiv in den Lernprozeß einzubeziehen.

## **2. Anforderungen an ein Werkzeug zur Computer-Versuchsanalyse**

Die softwaremäßige Realisierung eines solchen Werkzeugs ist nicht einfach, da so divergierende Anforderungen daran zu stellen sind, wie

- leichte Gestaltbarkeit und Offenheit: das Medium Computer soll eine dienende Funktion haben, d.h. der Einsatz einer Software soll entsprechend den individuellen Zielsetzungen des Benutzers jederzeit offen für Veränderungen sein - gerade auch während des Unterrichts,
- leichte Handhabbarkeit: ein solches Werkzeug sollte trotz seiner vielseitigen Gestaltungsmöglichkeiten leicht handhabbar sein.

Die bisher für den Physikunterricht verfügbare Software zum Messen und Analysieren von Versuchsabläufen sind menügesteuerte Fertigprogramme oder Kurzprogramme. Fertigprogramme können zwar einen guten Bedienungskomfort bieten, sie sind aber nur mit den Varianten durchführbar, die der Programmautor vorgesehen hat. Die aus pädagogischen Gründen geforderte Offenheit ist hier nicht gegeben, da solche Programme bisher nicht auf Transparenz angelegt sind und daher kaum entsprechend den Intensionen des Anwenders leicht abgeändert werden können. In Kurzprogrammen hingegen ist eine Übersicht leichter erreichbar, wenn Strukturierungsmöglichkeiten angemessen genutzt werden können, aber gute Benutzerführung und damit leichte Handhabbarkeit sind nur ansatzweise möglich. Nur für Simulationsaufgaben gibt es bisher mehrere Realisierungen offener Anwender-Software, in denen sogar unterschiedliche Grundkonzeptionen verwirklicht sind [1] [2] [3].

## **3. Kurzcharakterisierung der Programmierumgebung PAKMA**

Um den Rechner als Werkzeug zur freien Analyse von Versuchsabläufen, aber auch für Modellbildungen einsetzen zu können, wurde das PAKMA: Physik Aktiv Messen und Analysieren entwickelt, D. HEUER, R. TREFFER, 1988 [4]. Das Problem, Offenheit und Transparenz zu erreichen, haben wir dadurch gelöst, daß die Programmaufgaben in zwei Teile separiert werden:

- den Physikteil, in dem das speziell vorliegende physikalische Problem zu bearbeiten ist und
- den Teil, der bereits vorab generell gelöst werden kann, indem u.a.
  - geeignet strukturierte Meßbefehle zur Verfügung gestellt werden,
  - die Programmabläufe gesteuert werden mit evtl. notwendigen Abfragen zu Bereichsgrenzen und Meßparametern,
  - die Umsetzung in skalierte Grafiken weitgehend automatisiert ist.

Der Physikteil enthält als Kernprogramm alle wesentlichen Aussagen zu dem zu

bearbeitenden physikalischen Meß- oder auch Modellierungsproblem. Dazu werden Anweisungen in einer leicht handhabbaren und doch gut strukturierten Hochsprache eingesetzt. Für eine klare, prägnante Form der Kernprogramme sind die speziell zur Verfügung gestellten Befehle zum Messen und zur Grafikerstellung wichtig.

Dazu kommt ein universelles 'Rahmenprogramm', dessen Programmanweisungen aber für den Benutzer überhaupt nicht aufrufbar sind, so daß es sich 'nur' als neue Programmierumgebung auswirkt. Dadurch entspricht dieser Teil weitgehend einer Standard-Software.

Für besondere Aufgabenstellungen steht stets das gesamte Repertoire der eingesetzten strukturierten Hochsprache zur Verfügung, in der sowohl Programmierumgebung wie das prägnante Kernprogramm geschrieben sind, hier das COMAL 80<sup>1)</sup>. Erfahrungsgemäß zeigt sich aber, daß für normale Problemstellungen im Kernprogramm einfachste REPEAT-Schleifen evtl. zusammen mit IF-Abfragen als Sprachstruktur völlig ausreichen. So wird in den Kernprogrammen das COMAL 80 wie ein BASIC-Dialekt benutzt. Zusätzlich können über Prozeduren an die Fragestellung angepaßte Sprach-erweiterungen benutzt werden. Durch Kürze und Prägnanz wird also eine Offenheit des Systems möglich, die aus pädagogischer Sicht, wie oben ausgeführt, wünschenswert ist.

Da die Programmierumgebung für alle Versuchsanalysen und Modellierungsaufgaben eingesetzt wird, ist die Benutzeroberfläche für alle Programme gleich. Außerdem ist der Programmkomfort von Fertigprogrammen in bezug auf die Programmierumgebung bereits automatisch gegeben.

#### **4. Prinzip der Offenheit, aufgezeigt am Beispiel: Analyse der Federpendel-Bewegung, aufgenommen mit dem Sonarmeter.**

Beispiele für Versuchsabläufe, die mit dem PAKMA erfaßt und analysiert werden, wurden mit einer Vorläuferversion u.a. auf der MNU-Tagung, Würzburg 1986 vorgestellt, HEUER, 1987 [5]. Das Anfahren und Bremsen eines Fahrrades und Energiebilanzen bei Kondensator-Auf- und Entladung wurden 1988 als Beispiele des PAKMA-Einsatzes zur Versuchsanalyse in einem Beitrag zu dem Buch: COMAL im Unterricht [6] beschrieben. Eine ausführliche Dokumentation der PAKMA-Programmierumgebung, sowohl der Software mit ihren Befehlen zum Messen, Ausgeben und der gesamten Programmablaufsteuerung sowie der für das PAKMA konzipierten Hardware-Moduln finden sich in dem Bd. 2 des Handbuchs: Physik erfahren durch Computereperimente [7]. Neben der Beschreibung des Systems und von ca. 80 Versuchsbeispielen wird dort auch eine eingehende Begründung für die vorgelegte Konzeption der Hard- und Software gegeben.

Hier sollen als weiteres Beispiel die Bewegungsabläufe am Federpendel erfaßt und analysiert werden [8]. Die Entfernungsmessung erfolgt durch eine Ultraschallmessung. Auf einen Impuls des Rechners hin wird am Ultraschallwandler ein Ultraschallimpuls ausgesandt. Vom Rechner wird die Laufzeit, bis das Echo von dem zu messenden Gegenstand wieder am Wandler eintrifft, als Anzahl von Uhrentakten erfaßt. Vorteile dieser Meßmethode beim Erfassen und Analysieren von Bewegungsvorgängen für den Unterricht sind:

- eine quasi kontinuierliche Ortsmessung,
- eine rückwirkungsfreie Ankopplung (nur durch Schallreflex beim zu erfassenden Objekt),
- große Genauigkeit (mit PAKMA: 1/3 mm Auflösung, das entspricht 12 Bit bei ca. 1,30 m Länge), große Reichweite (bis zu 10 m),
- elektrische Digitalimpulse als Ausgang, die leicht zu zählen sind.

```
0030 PROC kern
0040   dt:=.15; mt:=12;
0060   t:=0; ya:=0
0070   INPUT AT 5,10: "Feld-Nr.1..4:": f
0080
0090   zaehlen
0100   vorb(f)
0110   trig("i/10")
0120   s_folg("i",dt)
0130   grafik("c")
0140
0150   mes; y0:=mes_w*l_einh
0160   REPEAT
0170     y:=mes_w*l_einh-y0
0180     dy:=y-ya
0190     c:=dy/dt
0200
0210     punkt(1,t,y)
0220     punkt(2,t,v)
0230
0240     t:=t+dt
0250     ya:=y
0260     mes
0270   UNTIL t>mt
0280 ENDPROC kern
```

Abb. 1: Ausdruck des Kernprogramms zur Aufnahme einer Bewegung mit dem Sonarmeter und Darstellung der Orts- und Geschwindigkeitsabhängigkeit von der Zeit

Das Beispielprogramm in Abb. 1 zeigt, wie die Auslenkung  $y(t)$  und die Geschwindigkeit  $v(t)$  des Federpendels ermittelt und beide dargestellt werden. Typisch sind hier die kurzen Befehlsnamen, die den Meßvorgang vorbereiten und ausführen. *zaehl* gibt den Meßtyp an, auf den sich die weiteren Meßbefehle beziehen. *vorb*

ist die Anweisung für eine neue Meßreihe mit Angabe der Feldnummer unter der die automatisch abgelegten Meßdaten wieder aufgerufen werden können. Die Schrittfolge `s_folg("i",dt)` gibt die Abfolge des Meß- und Auswertemodus an, mit "i" für intermittierend d.h. Wechsel zwischen Messen und Auswerten; die zeitliche Schrittfolge beträgt `dt` Sekunden. Der eigentliche Befehl zum Messen ist: `mes`. Mit `mes_w` wird der vom Rechner ermittelte Meßwert, hier die Anzahl der Uhrentakte, ausgelesen; über die konstante Längeneinheit `l_einh` erfolgt die Umrechnung in Entfernungen. Nach dem Ende des Kernprogramms finden sich noch Anweisungszeilen, die die Bereichsgrenzen für die grafischen Darstellungen betreffen. Diese werden automatisch erstellt, aber nicht mit dem Kernprogramm gelistet. Solange entsprechende Angaben noch fehlen, wird das Bereichsmenü, s. Abb. 2, aufgerufen und der Benutzer aufgefordert, in die entsprechenden Leerstellen die Bereichsgrenzen und auch die Beschriftung der Achsen einzutragen. Ein Versuchsergebnis dokumentiert die Grafik aus Abb. 3, in der die `y`- und `v`-Graphen parallel zum Versuchsablauf erstellt werden. (Um hier die Qualität des Sonarmeters als Meßgerät zu verdeutlichen, ist mit einer kleinen Programmergänzung darunter noch der Beschleunigungsgraph eingezeichnet, ebenfalls parallel zum Ablauf des Versuchs!)

```
-----
      Bereichsgrenzen für
      Variablen t, y, v, a
      Var. Name   Min.   Max.   Beschriftung
-----
t                0     mt     t/s
y               -.2    .2    y/m
v               -.5    .5    v /m/s

```

Abb. 2:  
Bereichsmenü zur Eingabe  
und Anzeige der Be-  
reichsgrenzen für die  
grafische Darstellung

Zurueck --> **ESC** Aendern --> **RETURN**

Am Anfang einer Unterrichtssequenz, die solche Meßmöglichkeiten nutzt, wird man sicher nur `y(t)` darstellen wollen. Die Erweiterung zur `v(t)` Darstellung erfordert einen Rückgriff auf die Definition der Geschwindigkeit als Differenzenquotienten. Hier ist die Aktivität des Schülers gefordert, sein Wissen einzusetzen, um die Auswerteschritte entsprechend der vorliegenden Fragestellung vorzunehmen. Erstaunlich ist, wie viele auch der besseren Schüler anfänglich Schwierigkeiten haben, in konkreten Versuchssituationen die richtigen Auswerteanweisungen z.B. für die Geschwindigkeit `v` vorzunehmen. In solchen Fällen kann die Konsequenz

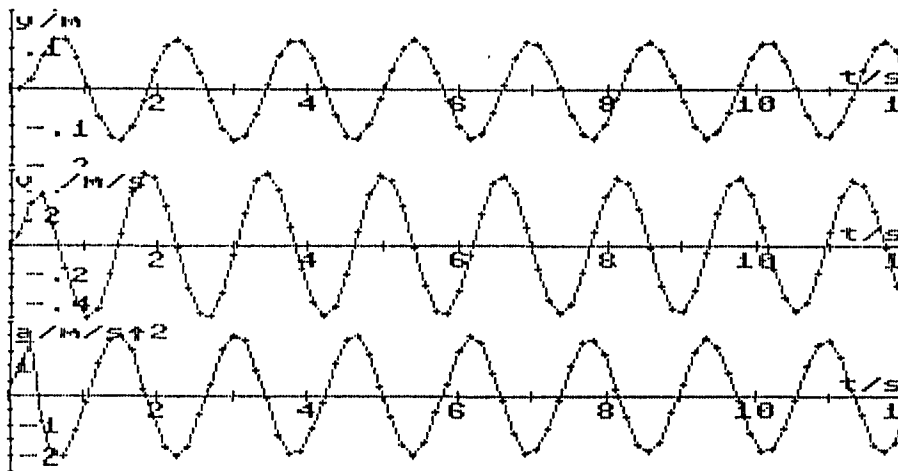


Abb. 3:  
Ort, Geschwindigkeit  
und Beschleunigung als  
Funktion der Zeit für  
ein Federpendel

eines unangemessenen Ansatzes, hier des typischen Fehlers  $v = s/t$ , i. allg. sofort mit Hilfe der sich daraus ergebenden grafischen Darstellungen und dem evtl. Vergleich mit dem Versuch sehr viel konkreter und damit bewußter werden als durch einen nur abstrakten Hinweis auf die Definition.

Wenn man die sinusförmigen Graphen für  $s(t)$  und  $v(t)$  sieht - mit ihrer etwa  $90^\circ$  Phasenverschiebung entsprechen diese  $\sin$ - und  $\cos$ -Graphen -, kann man auf die Idee kommen, diese Größen bei passender Skalierung als Projektionen eines sich drehenden Radiusvektors eines Kreises in einem  $s(v)$  Koordinatensystem darzustellen. Hierzu sind in den Kernprogrammen aus Abb. 1 nur zwei Änderungen nötig. Man muß jetzt genauer darauf achten, daß sich in der grafischen Darstellung Ort und Geschwindigkeit auf den gleichen Zeitpunkt beziehen. (Bei der grafischen Darstellung zu dem Programm der Abb. 1 fällt die Ungenauigkeit nicht ins Gewicht.) Da  $v$  der Mittelwert innerhalb des Zeitintervalls ist, ist der zugehörige Ort der Mittelwert  $y_m$  der letzten Messung  $y$  und der alten Messung  $y_a$  also  $y_m = (y+y_a)/2$ . Dann ist die Zeichenanweisung zu ersetzen durch

`punkt(1,v,ym)`

Will man besonders deutlich machen, wie  $y(v)$  entsteht, wird man zur Veranschaulichung auf dem Bildschirm gleichzeitig  $y(t)$  und  $v(t)$  so mit aufzeichnen, daß sich  $y(v)$  aus der Projektion der beiden anderen Graphen ergibt. Abb. 4 zeigt einen entsprechenden Bildschirmausdruck. Dort werden die Projektionslinien durch eine zusätzlich im Programm definierte Prozedur, die auch COMAL-Grafikbefehle benutzt, im Fall der Versuchsreproduktion eingezeichnet. Im Kernprogramm tritt sie aber nur mit ihrem Prozedurnamen *projektionauf*. Die  $s(v)$ -Darstellung der Abb. 4 zeigt u.a., daß die Schwingung die Projektion einer Kreisbewegung ist, die mit konstanter Winkelgeschwindigkeit durchlaufen wird, s. [3].

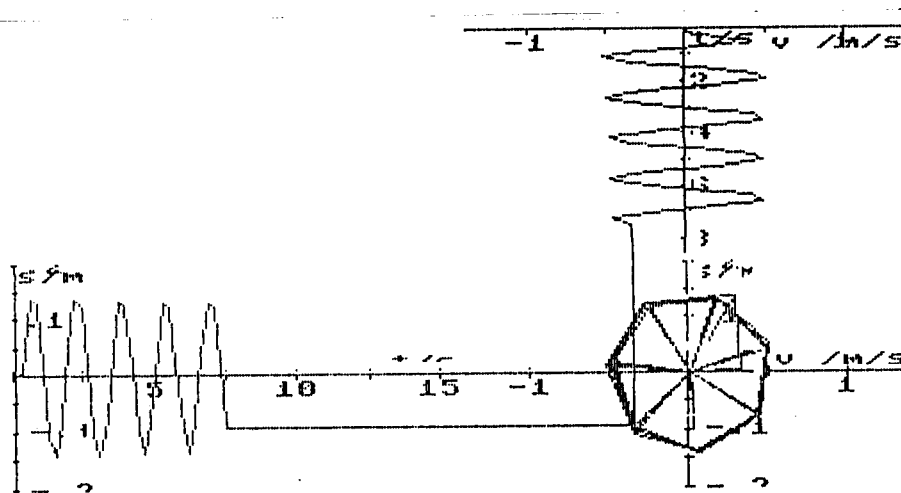


Abb. 4:  
Darstellung der gleichen Federpendelschwingung wie in Abb. 3 in der Orts- und Geschwindigkeitsebene (unterer rechter Teil), Projektionslinien veranschaulichen den Zusammenhang von  $y(t)$ ,  $v(t)$  und  $a(t)$

Wenn man den Ort und die Geschwindigkeit des Federpendels kennt, kann man wiederum mit einer kleinen Programmänderung auch die kinetische, potentielle und die Gesamtenergie berechnen und darstellen. Die Abb. 5 zeigt sowohl die Energieerhaltung wie die Dämpfung. Die Darstellung der Abhängigkeit dieser Energien vom Ort, in Abb. 6, ist ein weiteres Beispiel, wie leicht auf eine veränderte Fragestellung mit kleinen Programmänderungen Antworten zu erhalten sind, die wiederum neu zu interpretieren sind. Ebenso leicht ist es, den Übergang von einem Federpendel zu einem Fadenpendel im Programm vorzunehmen, um z.B. dort die Energiehaltung zu prüfen.

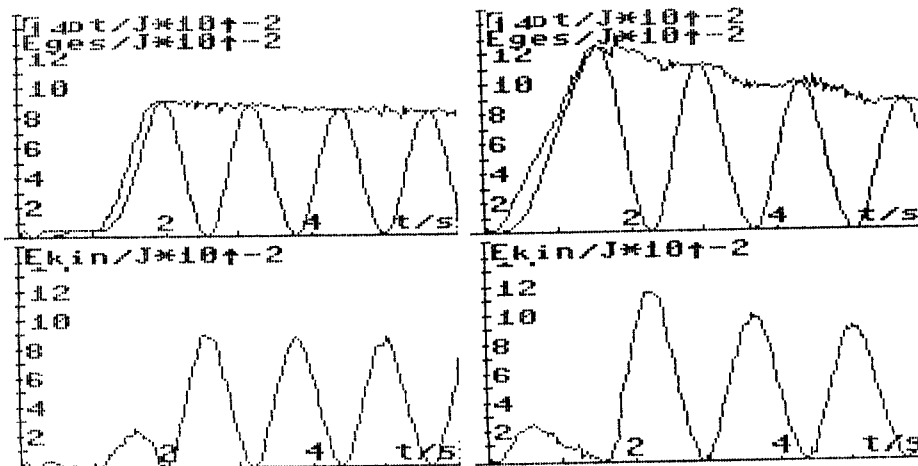


Abb. 5:  
Energiebilanz einer Federpendelschwingung: Potentielle Energie, kinetische Energie, Gesamtenergie als Funktion der Zeit  
links: ohne zusätzliche Dämpfung  
rechts: mit zusätzlicher Luftdämpfung

Da das Ergebnis einer neuen oder veränderten Auswertung praktisch sofort nach Erstellen des Ansatzes für die Auswertung auch als grafische Darstellung vorliegt, erhält der Lernende sofort eine Rückmeldung. Damit kann sich für das Lernverhalten ein Regelkreis schließen, der vom Einsatz eigener Vorstellungen und Kenntnisse bei einer Problemstellung, über Experiment, graphische Aufbereitung bis zur Bestätigung bzw. Korrektur eigener Vorstellungen reicht.



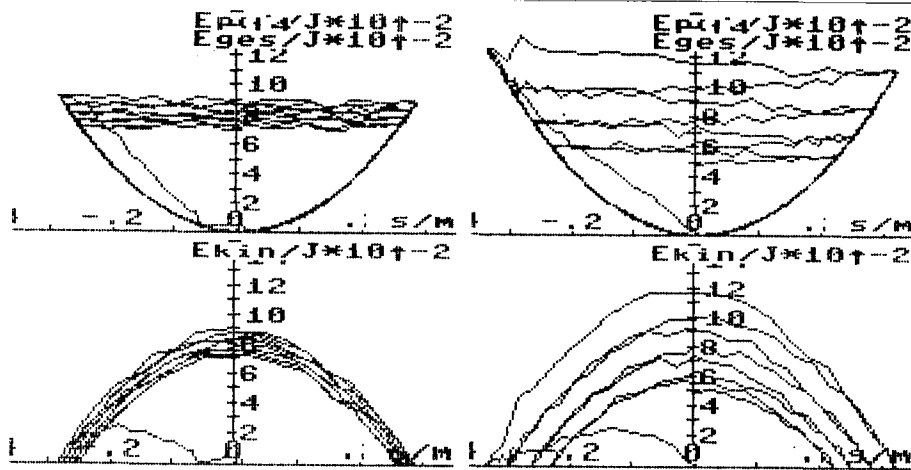


Abb. 6:  
Energiebilanz der gleichen Federpendelschwingung wie in Abb. 5, hier als Funktion der Auslenkung, wiederum:  
links: ohne zusätzliche Dämpfung  
rechts: mit zusätzlicher Luftdämpfung

### 5. Vielgestaltiger Einsatz des PAKMA: Messen und Modellieren

Für eine realistische Prüfung eines Modells auf seine Gültigkeit, sollte man den zeitlichen Ablauf von Realversuch und Modell direkt vergleichen können. Dies ist sicher am eindrucksvollsten möglich, wenn sowohl der Realablauf vom Rechner erfaßt, gleichzeitig am Bildschirm aufbereitet wie auch die Entwicklung des Modells parallel dazu, also in Echtzeit, dargestellt wird. Dann zeigt der Gleichlauf bzw. das Auseinanderlaufen von Modell und Realität die Qualität der vorgenommenen Modellierung an.

In dem PAKMA-Kernprogramm der Abb. 1 ist für eine zusätzliche Modellierung in der REPEAT-Schleife, die alle dt Sekunden durchlaufen wird, nur noch zusätzlich die Weiterentwicklung des Modells zu berechnen und dann ebenfalls grafisch darzustellen. Dazu ist in bekannter Weise nur aus der Beschleunigung  $a = -D \cdot x/m$  die Größen  $v$  und  $x$  zu berechnen. Die Abb. 7 ist mit einem Kernprogramm aufgenommen, das die Anfangswerte für das Modell erst auf Tastendruck aus dem Realablauf

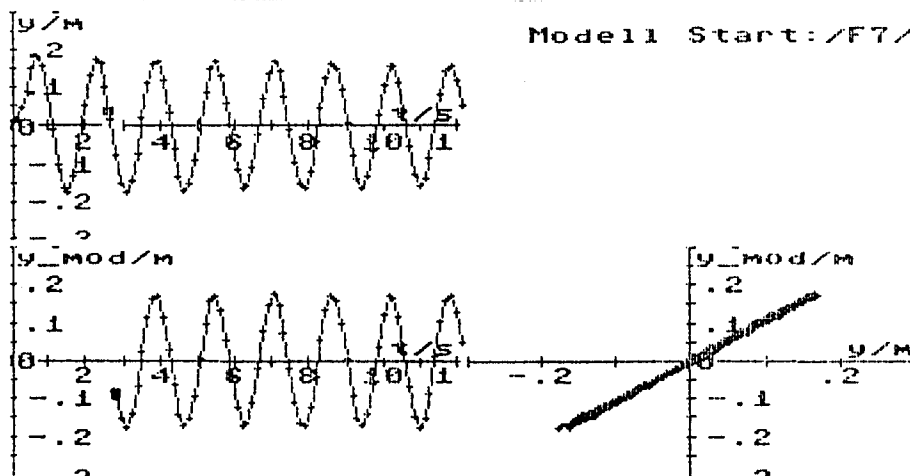


Abb. 7:  
Vergleich einer realen Federpendelschwingung mit der zugehörigen Modellrechnung  
oben links: Realversuch  $y(t)$   
unten links: Modell  $y_{mod}(t)$   
unten rechts: Vergleich der gemessenen und im Modell berechneten Bewegung  $y_{mod}(y)$

entnimmt (angezeigt durch das Quadrat in Abb. 7). Man sieht den ausgezeichneten Gleichlauf von Modell und Realität über viele Schwingungen, was insbesondere die separate Darstellung  $x_{\text{mod}}(x)$  zeigt. Dies gilt aber bereits nicht mehr, wenn der Anteil (1/3) der Federmasse an der Gesamtmasse unberücksichtigt bleibt. Dieser Vergleich von Modell und Realität ist ein sehr empfindlicher Test, denn schon bei einem Fehler von 1 % in der Schwingungsdauer  $T_s$  macht sich nach 10  $T_s$  bereits eine Phasenverschiebung von  $36^\circ$  bemerkbar.

## 6. Lern- und Darstellungsmöglichkeiten durch paralleles Messen und Aufbereiten

Bei der rechnerunterstützten Durchführung von Versuchen wurden bisher Meßwertaufnahme und Meßwertaufbereitung in jeweils zwei getrennten Schritten ausgeführt und dafür getrennte Programmpakete eingesetzt, s. z.B. [9]. Die Konzeption entspricht in den beiden Schritten dem traditionellen Schreiber- bzw. Speicheroszillogoskop-Einsatz und einer anschließenden weitergehenden Datenaufbereitung. Dadurch können aber gerade wichtige Darstellungsmöglichkeiten des neuen Mediums und neue Lernmöglichkeiten nicht genutzt werden.

Denn wenn man mit einer Software nicht parallel zum Meßvorgang eine Meßdatenaufbereitung vornehmen kann, fehlt für das Physiklernen häufig die Möglichkeit, wichtige Größen sofort und parallel zum Versuchsablauf zu ermitteln und auszugeben. So möchte man mit dem Sonarmeter nicht nur Laufzeiten direkt anzeigen oder darstellen, sondern auch Entfernungen, Geschwindigkeiten, evtl. Summen von Energien, Impulsen usw.. Ist eine solche Meßdatenaufbereitung möglich, so stellt die Geräteanordnung mit dem gleichen Wandler, je nach Programm, einen Entfernungsmesser, Geschwindigkeitsmesser, Energiemesser usw. dar, s. Abb. 8.

Hat der Schüler Gelegenheit, solche für einen Versuchsablauf relevante Größen parallel zum Versuch direkt zu beobachten, so kann dies eine wichtige Hilfe für ihn sein, Versuchsaussagen zu strukturieren und zu deuten. Dies gilt um so mehr, wenn funktionale Abhängigkeit der physikalischen Größen, wie in den obigen Beispielen, als Graphen dargestellt werden. (Voraussetzung dazu ist, daß der Schüler mit graphischen Darstellungen umgehen kann.) Dann kann er auch in den Versuchs-

```
s = 0.669m
v = 0.25m/s
```

Abb. 8:  
Großtextausgabe auf dem Bildschirm, die Ort und Geschwindigkeit des vom Sonarmeter erfaßten Objektes angibt

ablauf gezielt eingreifen und die Konsequenzen dieses Eingriffs sofort an den Graphen ablesen. Wie effektiv solche Lernsituationen sind, in denen eine unmittelbare und leicht zu interpretierende Antwort als Graph auf ein Eingreifen in den Versuch gegeben wird, belegen die Arbeiten von R. THORNTON (1987) [10] und R. TREFFER (1989) [11].

## **7. Gestaltung der Hardware**

Zielsetzungen bei der Gestaltung der Hardware zum PAKMA-System waren:

- Die Schwelle sollte für einen zukünftigen Benutzer möglichst niedrig sein, wenn er erste Erfahrungen, auch im Unterricht, sammeln möchte, wie ein Rechner zur Computer-Versuchsanalyse eingesetzt werden kann. Mit geringen finanziellen Engagement in der Hardware, d.h. ohne daß sich ein Benutzer vorschnell für ein aufwendiges System festlegen muß, sollte das System bereits mit seinen vollen Ausgestaltungsmöglichkeiten im Schulalltag einsetzbar sein, indem sich der Benutzer anfänglich auf einen ihn speziell interessierenden Interface-Bereich beschränkt.
- Vielseitige und neue Experimentiermöglichkeiten sollten geschaffen und genutzt werden können, in denen der Computer mit einer geeigneten Programmierumgebung als Werkzeug zur Computer-Versuchsanalyse eingesetzt wird und der Schüler neue Lernmöglichkeiten erhält;
- Erweiterungsmöglichkeiten für die Hardware sollten leicht realisierbar sein (offenes System).

Erreichbar sind diese Forderungen nur durch ein Modulsystem, das auch die internen Interfacemöglichkeiten des Rechners nutzt, wie Paddleeingänge, Zähler, Timer. Am C 64 ist dies Konzept leicht am USER-Port realisierbar, nur der 'parallele' Betrieb verschiedener Adapter erfordert z.T. etwas mehr Schaltungsaufwand. Realisiert wurden u.a. die

Zähladapter zur Impulszählung

Widerstandsmeßvorsatz am Paddleingang

aktiver Spannungsmeßvorsatz am Paddleingang

1 Kanal AD-Adapter (8 bit)

4 Kanal AD-Adapter (8 bit) mit Meßbereichswahl

DA-Adapter zur analogen Spannungsausgabe

bit-Eingabe-Adapter und bit-Ausgabe-Adapter

Sonarmeter-Adapter (ein Beispiel für diese oben geforderte

Erweiterungsmöglichkeit, denn dieser Modul wurde erst nach Erstellen des PAKMA konzipiert und realisiert.)

die von einer Lehrmittelfirma<sup>2)</sup> als Fertiggeräte oder Bausätze bezogen werden können, wobei einfache Adapter schon ab 40,-- DM erworben werden können.

## 8. Gestaltung der Programmierumgebung

### a) Benutzerführung

Das Ziel war, hier eine Benutzeroberfläche zu schaffen, die

- weitgehend selbsterklärend,
- leicht zu handhaben ist und
- die für den Einsatz wichtigen Eingriffe und Aktionen ermöglicht.

Für die Benutzerführung werden folgende Elemente eingesetzt:

- (1) Im Direktmodus steht bereits mit dem Einschalten des Rechners eine PAKMA-spezifische Funktionstastenbelegung automatisch zur Verfügung, über die eine Abdeckschablone informiert.<sup>3)</sup> Hier können auf Tastendruck die für den Umgang mit dem Betriebssystem notwendigen Kommandos wie Programmverzeichnis anzeigen, Kernprogramm laden, Meßdaten laden bzw. speichern, Kernprogramm listen und PAKMA starten ausgeführt werden.
- (2) Ein allgemeines PAKMA-Führungsmenü, s. Abb. 9, das nach Start des PAKMA in allen Programmphasen mit der 'Führungstaste' /C=/ aufrufbar ist; aus Abb. 9 sieht man, daß vor einem neuen Kernprogrammstart jeweils eine Entscheidung über Weiterarbeiten in vorhandener Grafik oder Anlegen einer neuen Grafik zu treffen ist und eine weitere über den Modus des Kernprogrammlaufs: Original-Versuch oder Reproduktion mit Meßdaten aus dem Speicher des Rechners.



Abb. 9:  
Führungsmenü des PAKMA,  
das immer mit dem  
neuen Start eines  
Programms aufgerufen  
wird

(3) Randikone, die vor, während und nach dem Kernprogrammaufruf symbolische Kurzinformationen über die augenblicklichen Aktionsmöglichkeiten geben. Diese weisen unter anderem während des Kernprogrammlaufs auf Unterbrechung bzw. Fortsetzung mit der Leertaste und Umschaltung zwischen Text und Grafikschiem hin; nach Ende des Kernprogramms auf die jeweils möglichen Nachbearbeitungen wie Skalieren, Verbinden, Löschen, Kreuze setzen für Meßpunkte, Mitteln und die jeweiligen Möglichkeiten für einen neuen Kernprogrammstart.

### **b) Spracherweiterung**

Wenn Meß- und Steueraufgaben mit übersichtlichen Programmanweisungen ausgeführt werden sollen, sind dazu spezielle Befehle zu implementieren, wie sie sich z.B. für Grafikaufgaben in allen modernen Hochsprachen finden. Dies ist das typische Angebot von Spracherweiterung zu Meß- und Steueraufgaben, wie sie z.B. das LH-Basic [12] und das Meß-Basic [13] anbieten. Wie verschiedene Computer-Hochsprachen mit den Befehlen, die sie zur Verfügung stellen, unterschiedlichen Anforderungen an die Strukturierung der Befehle, ihre sinnfällige Bezeichnung usw. gerecht werden, gilt dies in viel größerem Maße für die Befehlserweiterungen zum Messen, da hier die normierende Wirkung guter Vorbilder fehlt.

Ziel bei der Konzeption der PAKMA-Befehlserweiterung zum Messen und Steuer war gleichrangig zur Effizienz der zu realisierenden Befehle, die leichte Verständlichkeit von kurzen Kernprogrammen mit solchen Befehlen zu erreichen. Dazu wurden

- die Meßbefehle so ausgewählt, daß sie in ihrer Abfolge die Struktur des Meßprozesses widerspiegeln,
- die Inhaltsbereiche der Befehle auf effiziente Sinneinheiten aufgeteilt, so daß z.B. durch vielseitige Einsatz- und Kombinationsmöglichkeiten ein möglichst kleiner Befehlsvorrat ausreicht,
- leicht verständliche Befehlsnamen gewählt, damit die Bedeutungen leicht erinnerbar sind,
- möglichst wenige Parameter zu einem Befehl (maximal 2, nur für die Zeichenbefehle 3) und nur solche, die in unmittelbarer, inhaltlicher Beziehung zum Befehlsnamen stehen.

Wenn während der Meßabfolge nur ein Meßtyp eingesetzt wird - dies ist in allen obigen Versuchsbeispielen der Fall - können im Kernprogramm die Vorgaben für die Meßdurchführung entfallen, in Abb. 1 also die Zeilen 50, 70-130. Denn diese Vorgaben können alternativ über ein Parameter-Menü angezeigt und geändert werden, s. Abb. 10.



Abb. 10:  
Bereichsmenü zur Eingabe  
und Anzeige der Be-  
reichsgrenzen für die  
grafische Darstellung

## 9. Unterrichtlicher Einsatz

Aufgrund der dargestellten Eigenschaften des PAKMA läßt sich die hier vorgestellte Computer-Versuchsanalyse im Unterricht vielseitig einsetzen. Natürlich können auch PAKMA-Programme als Fertigprogramme benutzt werden. Der typische Einsatz ist aber das Aufzeigen, Klären, Variieren von Versuchsabläufen. Dazu wird man auch während des Unterrichts das Kernprogramm entsprechend den auftretenden Fragestellungen, die sich i. allg. aus einem Klassengespräch heraus ergeben, verändern wollen. Durch die Konzeption der PAKMA-Kernprogramme sind diese Änderungen in den Anweisungen leicht auszuführen. Die Situation entspricht der bei der Planung von Demonstrationsversuchen, nur daß hier die Veränderung der Software im Hinblick auf neue Versuchsaussagen sehr viel effizienter ist, als wenn Ähnliches durch Veränderung der Hardware in einem Versuch mit konventionellen Mitteln erreicht werden soll. Da für etwas größere Kernprogrammänderungen auch bereits vom Lehrer vorbereitete Programmvarianten eingesetzt werden können, bei denen die Änderungen auch dann im Listing leicht nachvollziehbar sind, ist dieser unterrichtliche Einsatz auch für einen im Computerumgang noch ungeübten Lehrer unkritisch.

Eine etwas anspruchsvollere Stufe des Einsatzes scheint auf den ersten Blick der Einsatz für Schülerpraktikum oder -Übungsversuch zu sein. Aber die Hauptschwierigkeit ist keineswegs die Handhabung des Systemes: Rechner und PAKMA. Diese wird erstaunlich schnell gelernt, so daß Sie für Schüler nach 2 bis 3 Stunden Unterrichtseinsatz keine Hürde mehr ist. (Das System wurde u.a. auch durch mehrere

halbjährige Unterrichtseinsätze optimiert!) Lernen muß der Schüler hingegen erst, die ihm mit dem PAKMA zur Verfügung stehenden Möglichkeiten produktiv zu nutzen. Hier können Lehrerhinweise, Arbeitsplätter etc. wichtige Hilfen auf dem Weg vom reproduktiven zum produktiven Arbeiten sein.

## 10. Literatur:

- [ 1] DYNAMIC MODELLING SYSTEM (DMS), BBC, 1985, OGBORN J.; Longman Micro Software, 62 Hiadfield Unit Lagerthorpe, York YO3 7XA, England.
- [ 2] ANDRASCHKO, H.: Vivitab, die lebendige Tabelle, Spaltenorientierte Tabellenkalkulation mit integrierter Grafik, 1989.
- [ 3] TREITZ, N.: Interaktive Programme zur Physik, Köln 1989 (Computer im Physikunterricht, Bd. 1)
- [ 4] PAKMA für COMAL L 80 V.2.01 von D. HEUER; R. TREFFER; ST. HUXOHL; H. SAND; M. VAETH, dokumentiert in [7].
- [ 5] HEUER, D.: Der Mikrocomputer als Lift zum Klären von Versuchssituationen im Physikunterricht. PdN-Ph. 36, S. 40-46, 1987.
- [ 6] HAFENBRAK, B.(Hrsg.): Comal im Unterricht - Beiträge zum Computereinsatz in der Schule. Schriftenreihe der Pädagogischen Hochschule Heidelberg. Weinheim, 1988.
- [ 7] HEUER, D.; TREFFER, R.: Handbuch: Physik erfahren durch Computer-Experimente, Bd. 2: Computer-Versuchsanalyse, Messen, Auswerten, Darstellen (mit Programm- und Meßdatendiskette), Würzburg, 1988.
- [ 8] HEUER, D.; TREFFER, R.: Handbuch: Physik erfahren durch Computer-Experimente, Bd. 3: Bewegungsanalyse mit dem Sonarmeter im Physikunterricht als Beispiel der Computer-Versuchsanalyse, 1989.
- [ 9] BECKER, J.; RUBLY, M.; GRAMMEL, A.; JODL, H.: EXSYS. Ein universelles computergestütztes Experimentiersystem. PhuD 17, 1989, S. 65 ff.
- [10] THORNTON, R. K.:Tools for scientific thinking - micro-computer-based laboratories for physics teaching. Phys.Educ 22, 1987, S.230-238.
- [11] TREFFER, R.: Computerunterstützte Schülerexperimente zum Verbessern der Fertigkeiten beim Interpretieren von Diagrammen in der Kinematik. Bericht über Testergebnisse und Art des Unterrichts. Vorträge auf den Jahrestagungen der DPG in Bonn und der MNU in Darmstadt, 1989.
- [12] HUND, M.: LH-BASIC V 1.0 zum CAP-CS 2. In: BRAUERS, W.: Messen mit CAP-CS2 und C 64/128 LH-BASIC, Leybold Didactic, 5030 Hürth, 1986.
- [13] KRAHMER, P.; KÜHLEWIND, G.: Messen mit CAP-CS2-Meßbasic und C 64/128, Leybold Didactic, 5030 Hürth, 1987.

## 11. Anmerkungen:

- 1 Aus Speicherplatzgründen läßt sich das PAKMA-System leider nicht mit der Publik-Domain-Version COMAL 0.14 verwirklichen. (Das PAKMA-System benötigt im Rechner ca. 48\* bzw. 64 kByte.) Der COMAL-Modul ist über den COMAL-Vertrieb, D. Belz, 2270 Utersum auf Föhr, zum Preis von ca. 126,-- DM abzüglich Schulrabatt zu beziehen.
- 2 Firma MS Mikro-Systems, Neufahrner Str., D 8046 Garching
- 3 Die Programmierumgebung PAKMA findet sich auf einem 32k-Eprom, der in den freien Steckplatz des COMAL 80-Moduls einzusetzen ist. Im Gegensatz dazu muß die Demoversion von Diskette mit /RUN-STOP/+ /SHIFT/ geladen werden.