



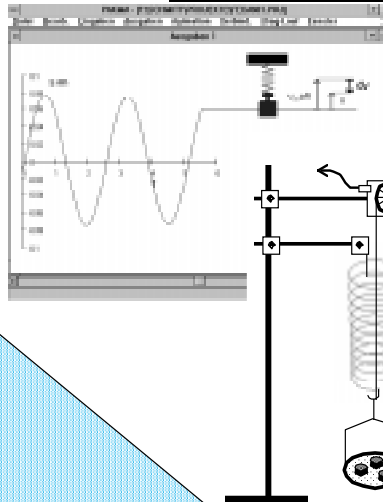
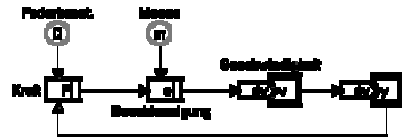
Informationen zu PAKMA

Inhalt

Einleitung	2
Realisierung	3
Simulationen	4
Reproduktion	5
Modellbil-	6
Messen	8
Beispiele	10
Projekt-	16
Anleitungen	
Soft/	18
Literatur	20

Vorgestellte Projekte:

- Langsamer Generator
- Fallschirmspringer
- Kondensator: Auf-Entladung



P hysik

AK tiv

M essen, Modellieren

A nalisieren, Animation

Physikalisches Institut der Universität Würzburg
Lehrstuhl für Didaktik der Physik
Prof. Dr. D. Heuer

Einleitung

PAKMA ist ein Soft- und Hardwaresystem.

Es wurde geschaffen, um mit erstellten Programmen physikalische Abläufe, die in Realversuchen aufgenommen werden oder in Simulationen berechnet werden

- anschaulich mit Hilfe von Animationen darstellen zu können.

Gleichzeitig können mit Pakma

- relevante Strukturaussagen durch geeignete ikonische Repräsentation dynamisch so visualisiert werden, dass sie vom Lernenden möglichst intuitiv erfasst und damit leicht erschlossen werden.

- Zusätzlich können Ergebnisse in Form von Graphen dokumentiert werden.

Diese drei unterschiedlichen Repräsentationen können weitgehend integriert werden und damit durch gegenseitigen Bezug Interpretationen erleichtern.

Wenn erwünscht kann auch

- das einem Modell/Simulation zugrunde liegen Wirkungsgefüge am Bildschirm angezeigt und auch verändern werden, um so Strukturzusammenhänge präsent zu machen und ebenso auch
- das Wirkungsgefüge, das der Erfassung und der Aufbereitung der Messdaten eines Experiments zugrunde liegt, dargestellt, bzw. erstellt werden.

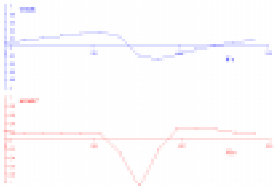
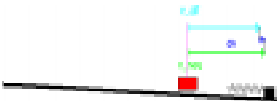
Ziel ist es, Lernenden Möglichkeiten zu geben,

- Veränderungen an dem Wirkungsgefüge vorzunehmen, damit sie erfahren, wie sich die Ergebnisse der vom PAKMA dann automatisch vorgenommenen Modellberechnung verändern

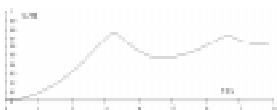
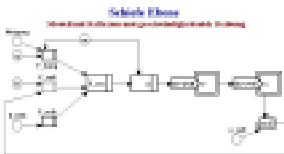
- Ergebnisse der Modellbildung mit den Ergebnissen der Realexperimenten zu vergleichen, um so ihre physikalische Konzepte zu erproben

und damit

-ein interaktives Lernen zu unterstützen.



*PAKMA: ein
Werkzeug
zum
interaktiven
Physiklernen*



Vier Realisierungsebenen für den PAKMA- Einsatz

1. Die Durchführung von Simulationen, in denen der Ablauf von Vorgängen dargestellt und repräsentiert wird; diese werden aufgrund physikalischer Gesetze berechnet.
2. Die Wiedergabe, also die Reproduktion, des Ablaufs eines Experiments mit den Messdaten eines Realexperiments, das mit Rechnerunterstützung bereits früher durchgeführt wurde.
3. Das Erstellen und der Ablauf eines Modells mit dem ein physikalischer Vorgang beschrieben und berechnet wird, wobei zum Erstellen ein grafischer Editor eingesetzt wird.
4. Das messtechnische Erfassen, die Repräsentation und die Analyse eines Real-experiments in Realzeit, wozu spezielle Hardware erforderlich ist

Die grobe Charakterisierung zeigt bereits, dass der Aufwand, ein PAKMA- Programm ein- bzw. umzusetzen stark davon abhängt, welcher Realisierungsebene es angehört.

-Simulationen, die als PAKMA- Programm vorliegen, brauchen, nachdem PAKMA installiert ist, „nur“ gestartet zu werden. Damit ist natürlich noch nichts über die Schwierigkeiten ausgesagt, die intendierten physikalischen Aussagen mit Hilfe der eingesetzten Repräsentationen und den bereitgestellten Interaktionsmöglichkeiten zu erfassen, s. Abschnitt ...

-Ähnlich einfach können Reproduktionen von physikalischen Experimenten durchgeführt werden, da die Versuchsdaten von früher durchgeführten Experimenten bereits mit dem Projekt mit abgespeichert sind, s. Abschnitt ...

- Deutlich anspruchsvoller ist es, wenn Lernende ein Modell selbst erstellen, um es dann ablaufen zu lassen, auch wenn ihnen dazu ein grafischer Editor zur Verfügung steht, s. Abschnitt ...

Der Hauptnachteil bei der Original-Durchführung computerunterstützter Experimente ist, dass einerseits die Experimentiergeräte zur Verfügung stehen müssen, andererseits spezielle Hardware nötig ist, um das Experiment an den Rechner an-koppeln zu können, was eine noch größere Hürde sein kann. Realisierungen und auch eventuell gangbare Auswege werden in Abschnitt ... kurz beschrieben.

Simulationen

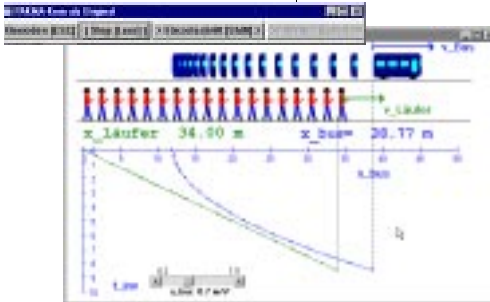


Abb. 1

*Abb.1 & Abb3:
Holt der Läufer
den Bus ein?*

*Abb2:
Elektronen in der
Braunschen Röhre*

Mit PAKMA können physikalische Vorgänge mit Hilfe der zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeit berechnet und die Ergebnisse sowohl durch anschaulich bildliche Darstellungen des Ablaufs als auch durch dynamisch ikonische Darstellung der relevanten Strukturaussagen visualisiert werden, s. Abb. 1. Hilfreich bei der Analyse der Bildschirmdarstellung ist die Möglichkeit, die Ablaufgeschwindigkeit zu

verlangsamen bis hin zu einer Einzelbildschaltung, s. Buttons und Schieberegler am oberen Rand der Abb. 1. Damit lässt sich die Entwicklung eines Systems schrittweise verfolgen und Vorhersagen mit dem am Bildschirm angezeigtem Ablauf detailliert vergleichen.

Um das Spektrum der möglichen Abläufe angemessen kennen zu lernen, ist es wichtig, Startwerte leicht verändern und evtl. auch in das System steuernd eingreifen zu können. Dafür stehen neben einer Startwertetabelle insb. Schieberegler wie in Abb. 2 zur

Verfügung. Die Ergebnisse von Simulationen können natürlich

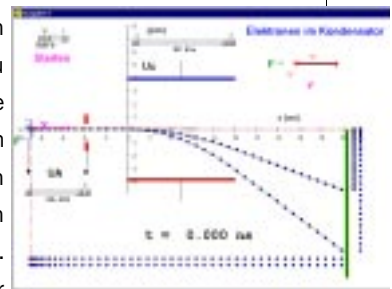


Abb. 2

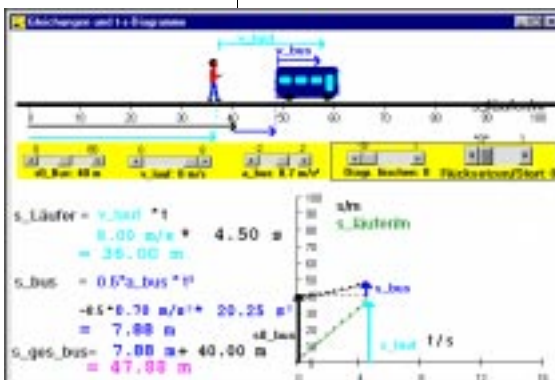


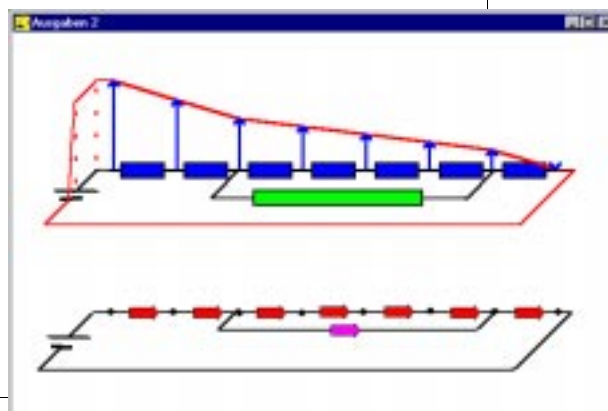
Abb. 3

nicht nur qualitativ durch bildlich dargestellte Abläufe und dynamisch ikonische Repräsentationen wiedergegeben werden, sondern gleichzeitig quantitativ durch Zahlenwerte und Formeln mit denen sie berechnet werden können, s. Abb. 3

Reproduktion von Versuchsabläufen

Wenn ein rechnerunterstütztes Experiment mit PAKMA durchgeführt und das zugehörige Projekt abgespeichert wird, so kann mit diesem Projekt später eine Reproduktion des experimentellen Ablaufs auf dem Bildschirm gezeigt werden, ohne dass das Experiment angeschlossen ist. Die Möglichkeiten der Aufbereitung und Repräsentation der Messdaten entspricht ganz den Daten, die in Simulationen berechnet werden. Am Bildschirm kann also der Versuchsablauf gezeigt werden gleichzeitig ergänzt durch Strukturaussagen, z. B. Vektorpfeile für Geschwindigkeiten und Kräfte, sowie Graphendarstellung und evt. einzelne Messwerte.

Didaktisch interessant ist die Durchführung solcher Reproduktionen, wenn man an früher bereits durchgeführte Experimente erinnern und evtl. ergänzende Aussagen durch erweiterte Auswertung daran aufzeigen will. Auch wenn die entsprechenden Originalversuche nicht durchgeführt sind, unterstützt die Analyse solcher Reproduktionen das Verständnis, wenn nach der Durchführung eines konventionellen Experiments ohne Rechnerunterstützung ergänzende und erweiterte Aussagen mit Hilfe der Reproduktionen aufgezeigt werden sollen, s. z.B. Abb. 4



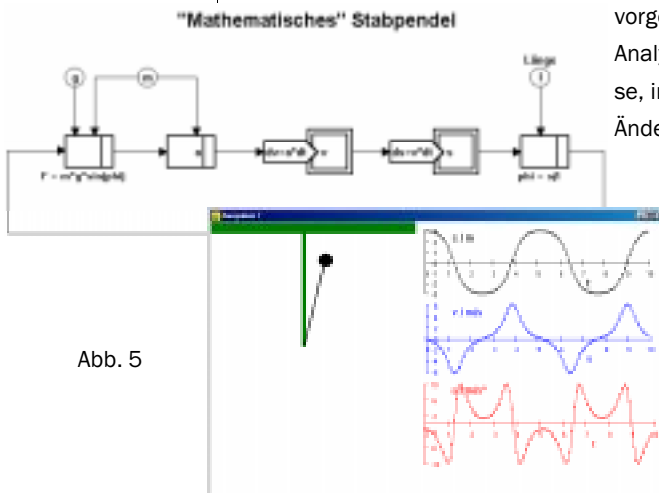
Modellbildung

Modellbildungen konnten bisher mit PAKMA nur gleichungsorientiert durchgeführt werden. Mit dem Modul VisEdit steht nun ein grafischer Editor zur Verfügung, der im Gegensatz zu anderen Modellbildungssystemen nicht Änderungsraten sondern Änderungen von Größen visualisiert. So ist z. B. in Abb. 5 von der Beschleunigung a auf die Geschwindigkeitsänderung Δv zu schließen und daraus wird die Geschwindigkeit v aufsummiert. Das sollte den Lernenden insb. den Einstieg erleichtern. Natürlich können verschiedene Näherungsverfahren eingesetzt und das erstellte Kernprogramm auch angezeigt werden. Zur Visualisierung der Ergebnisse können nicht nur Graphen sondern wie auch bei den Simulationen Animationselemente verwendet werden.

Eingesetzt werden kann die Modellbildung im Unterricht auf unterschiedlichem Anspruchsniveau:

- Nachvollziehen der angezeigten Strukturen eines erstellten Modells und analysieren des Modellablaufs

- Gezieltes Abändern eines vorgegebenen Modells und Analysieren der Ergebnisse, insb. in Hinblick auf die Änderungen



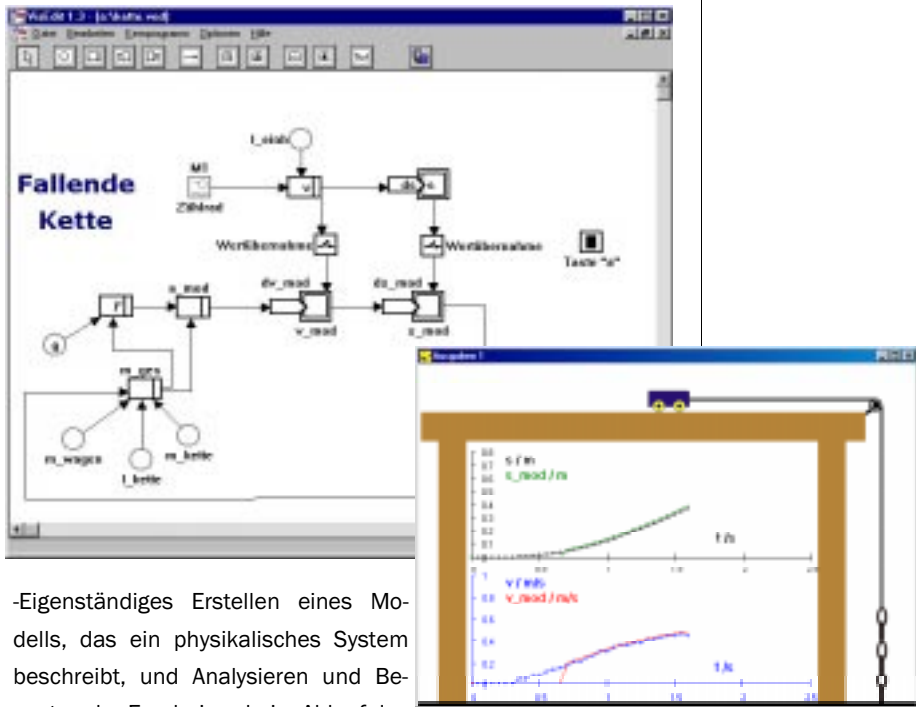


Abb. 6

-Eigenständiges Erstellen eines Modells, das ein physikalisches System beschreibt, und Analysieren und Bewerten der Ergebnisse beim Ablauf des Modells

Eine überzeugende Prüfung eines Modells ist natürlich nur durch Vergleich mit der Realität möglich. Mit PAKMA lässt sich ein solcher Vergleich leicht vornehmen, da das Erfassen und Analysieren von Messwerten mit der gleichen Software erfolgen kann. Dadurch kann sogar parallel zur Messwerterfassung eine Modellbildung in Realzeit durchgeführt werden. So ist auch der Eingriff in den Versuchsablauf über eine Steuergröße möglich, wobei diese dann in die Modellbildung mit einbezogen werden muss.

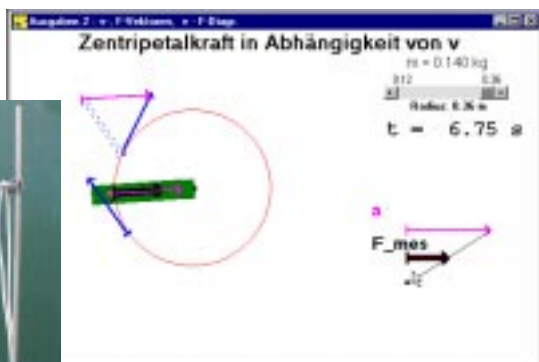
Um die Vorgaben für die Messwerterfassung zusammen mit dem Wirkungsgefüge übersichtlich erstellen zu können, wurde der Modellbildungsmodul VisEdit um Symbole zum Messen und zur Wertübergabe erweitert. Die Abb. 6 zeigt ein solches Wirkungsgefüge zum parallelen Messen und Modellieren.

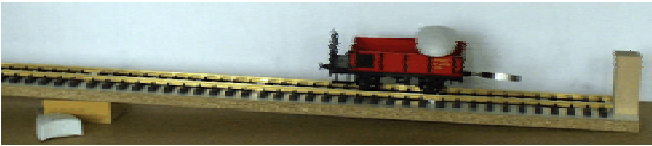
Um mit PAKMA messen zu können, benötigt man ein Messprogramm. Es gibt zwei Wege um ein Messprogramm zu erhalten. Man kann

1. ein Kernprogramm das mit den typischen PAKMA-Messbefehlen die Messaufgaben beschreibt, erstellen bzw. ein vorhandenes benutzen bzw. abändern. Hier können alle Möglichkeiten der Messaufrufe genutzt werden, ebenso der Messwertaufbereitung, z. B. durch den Zugriff auf Vorgängermesswerte.

2. mit dem grafischen Editor VisEdit die Mess- und Auswertaufgabe durch Erstellen eines Wirkungsgefüges beschreiben, in dem die Aufgaben durch grafische Symbole und ihre Vernetzung dargestellt werden. Dies Vorgehen eignet sich besonders für Standardmessaufgaben und wenn ein Vergleich von Messung und Modell vorzunehmen ist, s. Abschnitt Modellbildung.

Die Messmöglichkeiten sind bestimmt durch die eingesetzte Hardware. Mit einer ISA-Einsteckkarte und der Interfacebox I können Impulszählungen (bis 6-kanalig) und über Sensoren Weg- und Entfernungsmessungen (Genauigkeit bis 1/10 mm), ebenso 12 bit-Spannungsmessung (8-kanalig bis 1000-facher Verstärkung) durchgeführt werden, s. Abschnitt Hardware, mit der Interfacebox II stehen u.a. Bit- Ein- und Ausgaben, zwei DA-Umsetzer und eine Motorschrittsteuerung zur Verfügung.





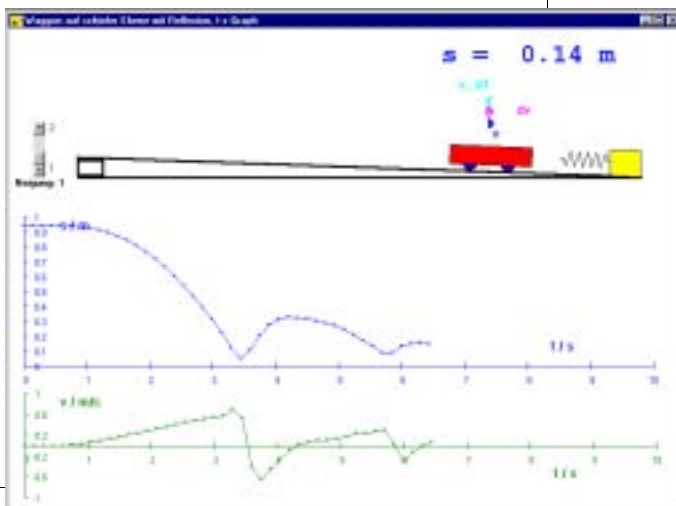
Low-Cost Lösung: Maus als Wegsensor

Will man mit PAKMA ohne die zugehörige spezielle Hardware Realversuche durchführen, so kann man in der Kinematik/Dynamik eine Maus etwas abändern und dann als Wegsensor benutzen, siehe Literatur und Umbauanleitung im Internet.

Ein Glücksfall: Experimente fast gratis

Man erhält fast so gute Versuchsaussagen, wie mit sehr viel teurerer Hardware und Spezielsensoren. Allerdings gibt es zwei Einschränkungen: Die zusätzliche Reibung (bedingt durch die simple Lagerung der Sensorachsen) beträgt ca. 10 mN und der Geschwindigkeitsmessbereich ist z. B. bei einer Wegauflösung von 0,2 mm auf ca. ± 1 m/s begrenzt.

Leistet man sich den Luxus, eine Funkmaus zu benutzen, so kann man, da Kabelverbindungen entfallen, die Maus auf dem Fahrbahnwagen befestigen und die Handhabung wird sehr einfach.



Projektbeispiel

Elektrizitätslehre: Langsamer Generator

Messung der Induktionsspannung einer Luftpule im Magnetfeld bei extrem langsamer Drehung (1-2 Umdrehungen pro Minute) in Abhängigkeit von der Stellung der Spule.

Versuchsaufbau und Messung:

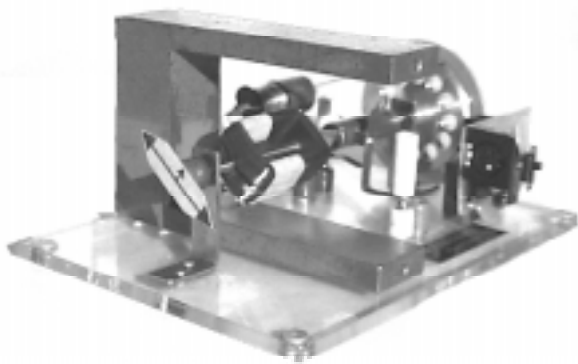
Eine Spule wird im magnetischen Feld eines Hufeisenmagneten über einen Kleinmotor mit Getriebe angetrieben. Die Stellung der Spule wird über ein an der Spulenchse befestigtes Zählrad ermittelt. Die induzierte Spannung wird über einen Gleichspannungsverstärker oder einfach einen Operationsverstärker verstärkt und an die PAKMA- Interfacebox I angelegt.

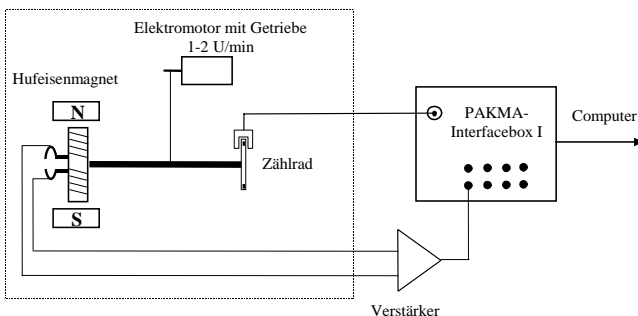
motorangetriebene

Luftpule mit

Hufeisenmagnet

und Zählrad

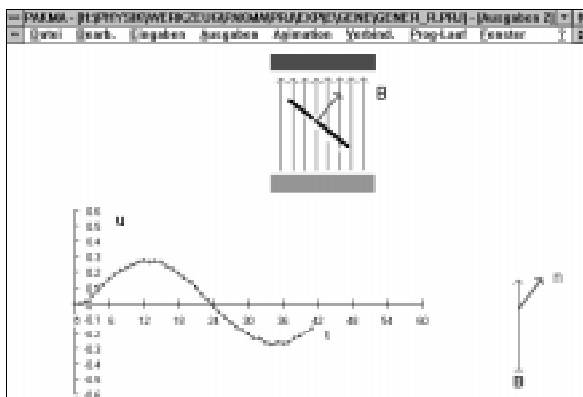




*Messung der
Induktionsspannung
eines
Generators*

Bildschirmausgabe :

In einem Graphen wird die Induktionsspannung über der Zeit aufgetragen. Außerdem werden zwei Animationselemente dargestellt. Im oberen Teil des Bildschirms ist die rotierende Spule im Magnetfeld dargestellt. Diese Anordnung bewegt sich mit der Zeit nach Rechts. Rechts vom Graphen wird die Lage des Normalenvektors der Spulenfläche zur Richtung des Magnetfeldes angezeigt.



*Wann werden große
Induktionsspannungen
erzeugt?
Hier ist die Antwort*

Projektbeispiel

Mechanik: Fallschirmspringer

Zusammenwirken einer geschwindigkeitsabhängigen Kraft mit Geschwindigkeit, Beschleunigung und Weg in einer Realsituation - Die Bewegung eines Fallschirmspringers anhand eines theoretischen Modells.

Modellbildung: *gleichungsorientiert*

Aufgrund der Gewichtskraft F_G und der geschwindigkeitsabhängigen Reibungskraft F_{Luft} wird der Fallschirmspringer mit $a = \frac{F_G - F_{Luft}}{m}$ beschleunigt.

Mit der Methode der kleinen Schritte lassen sich die zeitabhängigen Größen Beschleunigung, Geschwindigkeit und Weg näherungsweise berechnen. Durch Tastendruck kann der Fallschirm geöffnet bzw. geschlossen werden.

*Kernprogramm
zur Modellie-
rung des physi-
kalischen Vor-
gangs*

```

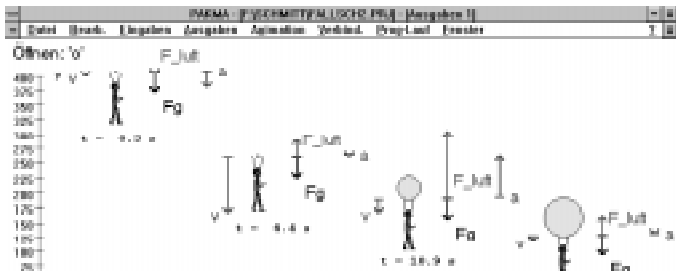
Editor - C:\PACMAN\TEMP\temp.prg
t:=0; g:=10; m:=10; schirm_auf:=0;           // Startwerte
REPEAT                                         // Schleife/beginn
:                                              // Berechnung von
F_g:=m*g; F_luft:=0.2*v*v;                  // Gewicht, Luftreibung,
F_ges=F_g+F_luft;                            // Gesamtkraft,
a:=F_ges/m;                                   // Beschleunigung,
v:=v+a*t;                                     // Geschwindigkeit,
y:=y+v*t; y_schirm:=y;                       // Höhe
t:=t+0.1;                                     // Erhöhung von t um dt
ausgabe (t, y, v, a, y_sch, F_g, F_luft, F_ges); // Ausgabeanweisung
:                                              //
if taste='a' then schirm_auf:=1;               // Tastenabfrage
if (schirm_auf=1) and (t<5) then c:=t+1;      // zum Öffnen bzw. Schließen
if taste='s' then schirm_auf:=0;             // des Fallschirms
if (schirm_auf=0) and (t>0.5) then c:=t+1;    // Abbruchbedingung der Schleife
UNTIL y=0;

```

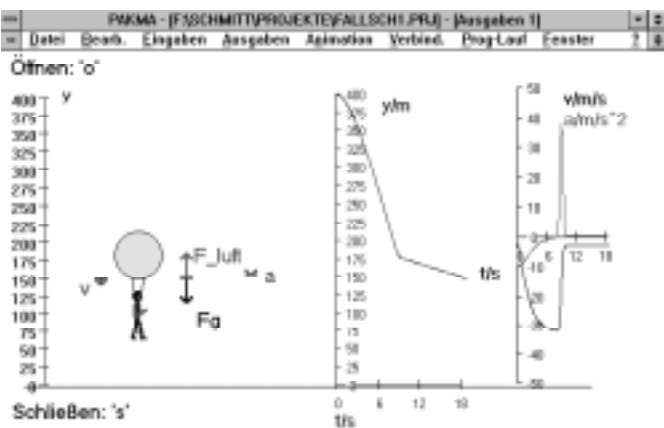
Bildschirmausgabe:

In Ausgabefenster ist der Fallschirmspringer in den verschiedenen Phasen des Falls als Animation zu sehen. Anhand der eingezeichneten Vektoren der Reibungskraft sowie der Geschwindigkeit und Beschleunigung kann die Bewegung analysiert werden.

Verschiedene
Situationen
während des Falls,
nebeneinander
dargestellt



Graphen und
Animation zum
Fall unter
Luftreibung



Projektbeispiel

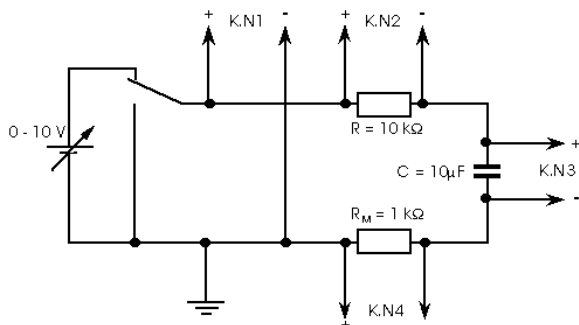
Elektrizitätslehre:

Kondensatorauf- und Entladung

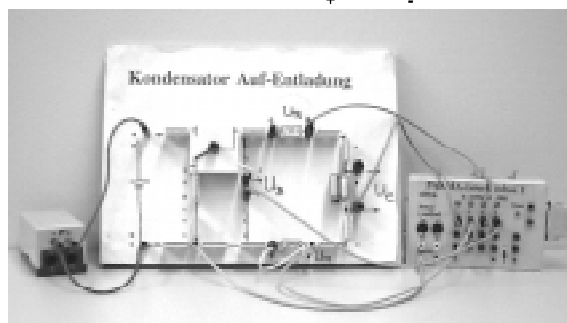
Modellierung und Messung der Kondensatorauf- und Entladung

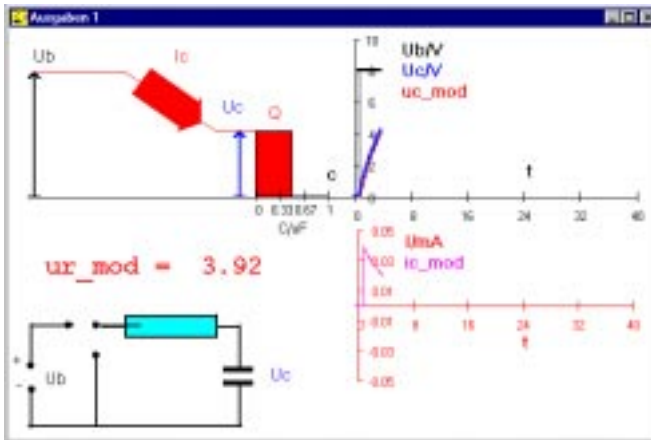
Versuchsaufbau und Messung:

Die Betriebsspannung U_B , die Spannung U_C am Kondensator, U_R am Widerstand und U_M am Messwiderstand R_M werden gleichzeitig über die Interface-Box I gemessen. Der Ladestrom wird über die Spannung U_M bestimmt.



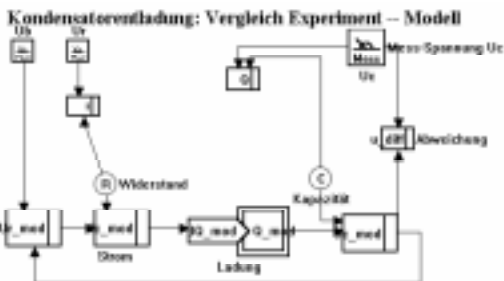
Schaltbild zur
Kondensatorauf-
und entladung



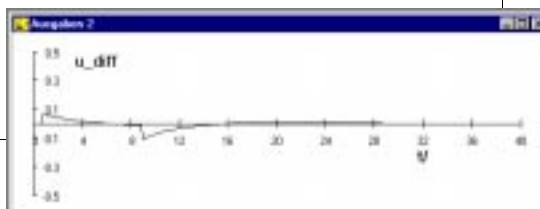


Zur qualitativen Untersuchung und Veranschaulichung des Lade- bzw. Entladevorgangs wird der zeitabhängige Potentialverlauf von U_b über den Widerstand R bis zum Kondensator C angezeigt. Zusätzlich wird der Strom I durch einen Breitpfeil und die gesammelte Ladung Q durch die Fläche visualisiert. Die iterativ berechnete Kondensatorspannung U_{c_mod} kann mit der gemessenen in einem Diagramm verglichen werden. Es ergibt sich eine gute Übereinstimmung. In der unteren Abb. ist nur noch die Differenz U_{diff} dargestellt.

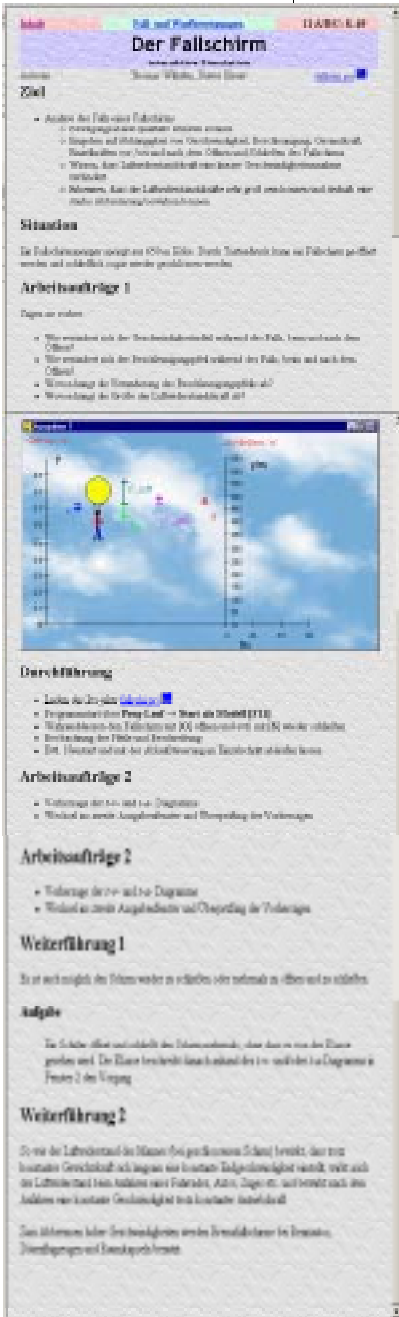
Vergleich Modellbildung– Experiment:



Ladung bzw. Entladung
eines Kondensators
(ikonische
Repräsentationen,
Animationen, Teil des
Kernprogramms und
Startwerte)



Projekt-Anleitungen und Arbeitsblätter



Um den Unterrichtseinsatz zu unterstützen, gibt es zu den meisten veröffentlichten PAKMA-Projekten Anleitungen, zusätzlich zu einigen Projekten auch Schüler-Arbeitsblätter. Sinn der Anleitungen ist,

- die Zielsetzung des zugehörigen Projektes kurz zu skizzieren;

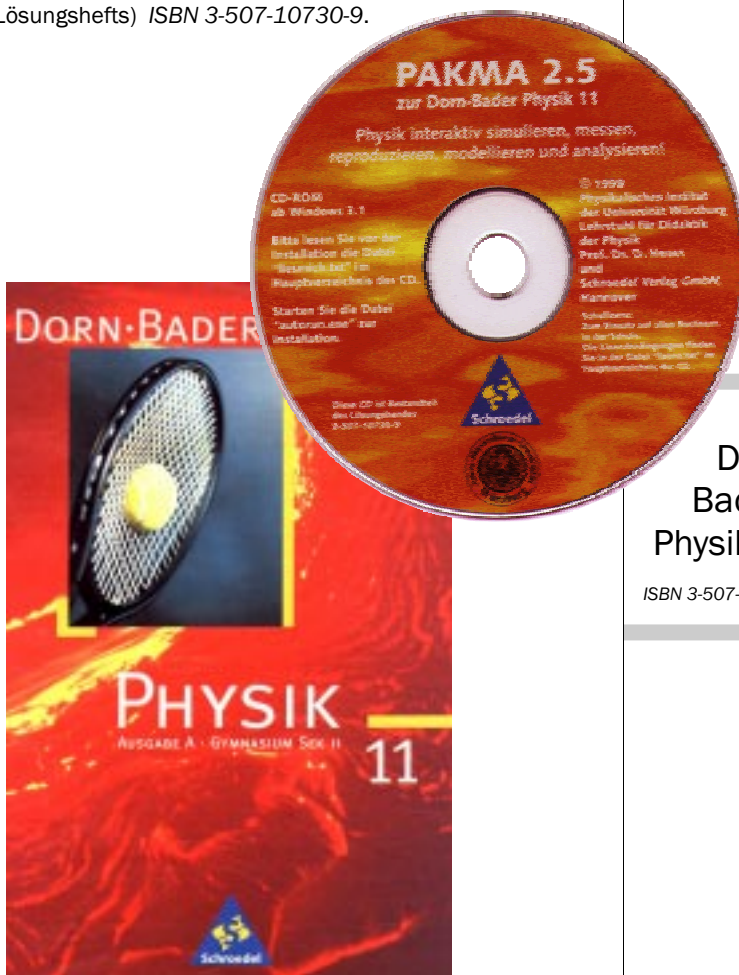
- den zugrunde liegenden Kontext knapp zu umreißen und ein typisches Bild des Ausgabebildschirms zu zeigen;

- Vorschläge für Arbeitsaufträge zu geben. Neben der Aufforderung Vorhersagen zu machen, fordern diese insb. dazu auf, die Projektablaufe auf den einzelnen Ausgabefenstern zu analysieren und gegebenenfalls auch zu steuern. Dabei sind die Arbeitsaufträge so formuliert, dass sie wörtlich im Unterricht eingesetzt werden oder auch in ein zu erstellendes Arbeitsblatt direkt übernommen werden können.

Die Anleitungen sind als HTML-Seiten gestaltet, so dass Querverweise durch einfaches Anklicken direkt aufgerufen werden können. Entsprechend können auch die PAKMA-Projekte aus diesen Anleitungen gestartet werden. Steht ein Bildschirm mit größerer Auflösung als VGA zur Verfügung, können gleichzeitig Anleitung und Projekt auf dem Bildschirm angezeigt werden. Dann ist es zweckmäßig als Grundposition für das PAKMA über die Option PAKMA-Einstellungen die automatische Ausrichtung in der rechten oberen Ecke zu wählen.

PAKMA- Projekte mit Anleitungen für Schüleraktivitäten

Im Herbst '98 erschien im Schroedel- Verlag eine CD-ROM mit über 30 PAKMA- Projekten einschließlich Anleitungen für Schüleraktivitäten zu Dorn · Bader: Physik 11 (als Teil des zugehörigen Lösungshefts) ISBN 3-507-10730-9.



Dorn ·
Bader
Physik 11

ISBN 3-507-10730-9.

Software:

PAKMA:

Am einfachsten beziehen Sie PAKMA Version 2.5e sowie ca. 30 ausgearbeitete Projekte kostenlos und eine Demoversion des Wirkungsgefügeeditors VisEdit über die Homepage im Internet:

<http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de>

<http://www.pakma.de>

Prof. Dr. D. Heuer

Lehrstuhl für Didaktik der Physik

Physikalisches Institut der Universität Würzburg

Am Hubland

97074 Würzburg

Erforderliche Rechnerausstattung:

Mindestausstattung: PC 486/50 MHz mit 8MB RAM

Empfohlene Ausstattung: PC Pentium ab 90 MHz mit 16 MB RAM

Betriebssystem: Windows 95/98

<http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de>
<http://www.pakma.de>

Hardware (Auszug):

Technische Daten und Preise (ca.) inkl. Mehrwertsteuer

- ISA-Steckkarte DM 390
- Interfacebox I E DM 920
 - 12 Bit- AD- Differenzeingänge (massefrei), 8 Kanäle
 - Eingangsspannungen: 0 bis 10 V (Überlastschutz 30 V)
 - elektronisch schaltbare Verstärkung: G=1, 10, 100, 1000
 - Abtastrate pro Kanal unter Windows ca. 5 - 10 kHz
 - 3 Zählengänge (TTL-Logik) mit Zählvolumen 216 pro Zeitintervall
 - 3 Buchseneingänge für Anschluss von Zahnrädern und Sonarmetern
 - elektronischer Umschalter zum Start von Messungen (Belastbarkeit 1 A)
- Interfacebox II DM 800
 - 8 TTL-Eingänge mit LED-Anzeige
 - 8 TTL-Ausgänge mit LED-Anzeige (bis je 0,5 A Ausgangsstrom)
 - gleichzeitig für Schrittmotorsteuerung einsetzbar
 - 2 12-Bit DA-Wandler 5 V
 - TTL-Ausgang für Rechteckgenerator
- Adapter für vorhandene C 64 Module DM 90
- Sensoren:
 - Zählrad (Rasterscheibe; Ortsauflösung 0,9 mm) DM 300
 - Präzisionszählrad (Ortsauflösung 0,08 mm) DM 570
 - Hall-Effekt-Sensor DM 200
 - Drucksensor DM 250
 - Sonarmeter DM 450

weitere Sensoren und genaue technische Daten auf Anfrage beim Hersteller

Stand Juli 2000

MS Microsystems
Neufahrner Str. 21
85748 Garching
Tel.: 089/
3201327

Literatur

D. HEUER:

Dynamische Physik-Repräsentation als Brückenschlag zwischen realen Experimenten und inneren Bildern. In DPG-Band Frühjahrstagung Esslingen 1993, S. 367-370, DPG-GmbH, Bad Honnef.

D. HEUER:

Dynamische Physik-Repräsentation in Realexperimenten - Beispiele. In DPG-Band Frühjahrstagung Esslingen 1993, S. 371-378, DPG-GmbH, Bad Honnef.

D. HEUER:

Ladungsvorgänge am Kondensator. Messungen und Modellierung mit computergestützten Schüler- bzw. Praktikumsversuchen. PdN-Ph. 43, Heft 3, S. 4-10, 1994.

D. HEUER:

Changing Misconceptions through MBL - A Concept for LAB-Sessions, Vortrag am Nato Advanced Research Workshop: Microcomputer Based Labs, Educational Research and Standards, Amsterdam, Nov. '92, erscheint in den Proceedings of the Nato ARW, Springer Verlag 1996.

D. HEUER:

Dynamic physical representation of real-experiments, Vortrag am Nato Advanced Research Workshop: Microcomputer Based Labs, Educational Research and Standards, Amsterdam, Nov. '92, Proceedings of the Nato ARW, Springer Verlag 1996.

W. REUSCH, Th. GRIMMER, D. HEUER:

Magnetfeld längs der Achse von Kreisströmen - Messung und Modellierung mit Animation -PdN-Ph. 43, Heft 3. S. 26-30, 1994

W. REUSCH, D. HEUER:

Harmonische Federschwingung - exakter Realzeitvergleich: Experiment-Modell. In PdN-Ph 45, Heft 2, S.35-39, 1996

D. HEUER:

Dynamische Physik-Repräsentationen - Verständnishilfe für Physikalische Experimente. PdN-Ph 45, Heft 4, S. 12-18, 1996.

D. HEUER, W. REUSCH:

Computerunterstützte Aufnahme von Röntgenspektren realisiert durch angebauten Schrittmotor. PdN-Ph 45, Heft 5, S. 37-40, 1996

Th. WILHELM, D. HEUER, A. PHAN-GIA:

Kinematik- und Dynamiklernen am Fahrrad. PdN-Ph 46, Heft 4, S. 2-8, 1997

D. HEUER, A. PHAN-GIA:

Anfahren mit dem Fahrrad - Vergleich : Experiment und Modell. PdN-Ph 46, Heft 4, S. 9-12, 1997

D. Heuer, PAKMA-Projekte-Team: Physik interaktiv simulieren, messen, reproduzieren, modellieren und analysieren mit detaillierten Schüleranleitungen und Aufgaben, CD incl. PAKMA-System Vers. 2.5 und PAKMA-Anleitungen, zum Lösungsheft Dorn-Bader, Physik Gymnasium Sek. 11 Schroedel-Verlag, 1998, ISBN 3-507-10730-9.

Blaschke, K., Heuer, D. (1999). Physik-Simulationen im Computerraum - Ein Lernpotential, das genutzt werden sollte. PdN-Ph. 48, Heft 8, S. 39-44.

K. Blaschke, D. Heuer:

Dynamik-Lernen mit multimedial-experimentell unterstütztem Werkstatt-Unterricht. In . Ph. i. d. S. 38, Heft 2, S. 86-91, 2000.

W. Reusch, O. Gößwein, C. Kahmann, D. Heuer:

Mechanikversuche mit der PC-Maus - Ein präziser Low-Cost-Bewegungssensor. In: PdN-Ph 6, 49, Jg. 2000.

W. Reusch, O. Gößwein, D. Heuer:

Grafisch unterstütztes Modellieren und Messen - VisEdit und PAKMA. In: PdN-Ph 6, 49, Jg. 2000.

Physikalisches Institut
der Universität Würzburg
Lehrstuhl für Didaktik der
Physik
Prof. Dr. D. Heuer
Am Hubland
97074 Würzburg

Tel.: +49 931/ 888-5787
-5786

Fax: +49 931/ 706297
e-mail:

pakma@didaktik.physik.uni-
wuerzburg.de

Internet:

[http://didaktik.physik.uni-
wuerzburg.de](http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de)

