

---

# Einsatz von Applets in der Physik-Ausbildung - Fallstudie *Nichtlineare Systeme und Chaos*

**Peter Junglas**

*Private Fachhochschule für Wirtschaft und Technik Vechta/Diepholz/Oldenburg  
Fachhochschule und Berufsakademie - University of Applied Sciences  
Schlesierstrasse 13a, D-49356 Diepholz, Deutschland*

---

Simulationen mit Java-Applets können ein sinnvolles Hilfsmittel zur Unterstützung der Physik-Ausbildung sein, die frontale Wissensvermittlung und klassische Experimente ergänzen. Dazu müssen bei ihrer Konzeption und graphischen Gestaltung aber auch didaktische Gesichtspunkte ausreichend berücksichtigt werden. Bei entsprechender Konzeption ermöglichen sie, Themengebiete in die Anfängerausbildung zu integrieren, die sonst wegen ihrer mathematischen Komplexität nicht berücksichtigt werden. Am Beispiel eines Kurses, der in Grundphänomene chaotischer Systeme einführt, werden Applets vorgestellt, die das freie und das harmonisch angeregte mathematische Pendel simulieren und die Orts- oder Phasenraumkurven darstellen. Weitere Applets ermöglichen die Untersuchung des Poincare-Schnitts oder der Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen. Neben der qualitativen Präsentation wesentlicher Bewegungsformen sind sie als *virtuelle Experimente* einsetzbar, mit denen auch quantitative Ergebnisse gewonnen werden können. Bei jedem Applet wird neben Aufbau und Funktion ausführlich auf seinen Einsatzzweck im Rahmen des betrachteten Kurses eingegangen.

---

## **EINLEITUNG**

Die Simulation hat sich inzwischen neben den klassischen Säulen Experiment und Theorie als weitere Erkenntnismethode der Physik etabliert. Sie verwendet numerische Methoden, um die Lösungen komplizierter Gleichungen zu erforschen, für die analytische Verfahren nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand weiterführen. Auf diese Weise schlägt sie Brücken zwischen der Theorie und der Phänomenologie, die das Verständnis für die Konsequenzen der zugrundeliegenden Theorien verbessern oder manchmal auch erst ermöglichen.

In der Physik-Ausbildung von Ingenieuren sind Theorie und Experiment seit jeher vertreten: Die klassische Vorlesung gibt einen Überblick über die Phänomene und die Basiselemente der Theorie, in Praktika oder Laboren werden experimentelle Grunderfahrungen und -techniken vermittelt. Doch auch hier lässt sich die Simulation nutzbringend einsetzen: Sie kann als didaktisches Werkzeug dienen, das die Konsequenzen der Theorie zu untersuchen erlaubt, auch wenn den Studenten die dazu benötigten mathematischen Werkzeuge fehlen. Sie lässt sich aber

auch zur Nachbildung von Experimenten verwenden, an denen in idealisierter Weise am Computer quantitative Ergebnisse gewonnen werden können.

Die didaktischen Vorteile solcher *virtuellen Experimente* sind offensichtlich: Anders als im wirklichen Laborversuch sind alle störenden Faktoren von vornherein eliminiert, die *Versuche* gelingen immer und der zu vermittelnde Zusammenhang tritt deutlich hervor. Darüberhinaus garantiert die völlige Reproduzierbarkeit für alle Studenten das gleiche Ergebnis. Gerade für kleine Hochschulen kommt noch ein finanzieller Aspekt dazu: Die Ausstattung der Physiklabore ist häufig auf reine Grundexperimente beschränkt, oft gibt es auch nicht genügend Arbeitsplätze, so dass die Versuche der Studenten durch Demonstrations-experimente in der Vorlesung ersetzt werden. Hier können vorhandene Computer genutzt werden, um die Studenten aktiv an der Gewinnung von physikalischen Zusammenhängen zu beteiligen.

Selbstverständlich können Simulationen echte Experimente auch in der Ausbildung nicht ersetzen: Gerade die Schwierigkeiten, denen jeder Experimentator gegenübersteht, und die Sorgfalt und

die Methoden, die nötig sind, um sie zu überwinden, sind ein wichtiger Teil der zu vermittelnden Erfahrungen. Der echte Kontakt mit dem zu untersuchenden System führt darüber hinaus durch seine ganz andersartigen Aktivitäten und Sinneseindrücke als eine Arbeit am Computer zu einer besonderen Verbesserung des Lernerfolgs.

Aber die größte Gefahr beim Einsatz simulierter Experimente besteht darin, dass die Studenten die Simulation mit der Realität verwechseln. Gerade angesichts einer zunehmenden gesellschaftlichen Tendenz zur Virtualisierung, in der die Grenzen zwischen *Egoshootern* und *virtuellem Krieg* absichtlich verwischt werden, muss der Lehrende besonders darauf hinweisen, welche Erkenntnisse mit Simulationen gewonnen werden können und welche nicht!

## SIMULATIONEN MIT APPLETS IN DER PHYSIKAUSBILDUNG

Zur Implementierung der für eine Simulation benötigten numerischen Verfahren können alle gängigen Programmiersprachen sowie eine Vielzahl vorhandener Problemlösungsumgebungen verwendet werden. Im hier beschriebenen Projekt wurden auf der Programmiersprache Java [1][2] basierende Applets erstellt, die für die Umsetzung virtueller Experimente eine Reihe von Vorteilen bieten:

- Einfache Einbindung in HTML-Seiten, die Handlungsanweisungen oder Hintergrundinformationen enthalten;
- Unabhängigkeit vom speziellen Rechnertyp oder Betriebssystem;
- Allgemeine Verfügbarkeit entsprechender Betrachter (Browser-Plugins) [3];
- Sowohl direkt im Internet als auch auf CD-ROM einsetzbar.

Auch aus der Sicht des Entwicklers spricht einiges für Java-Applets:

- Sprachkonstruktionen für zeitgesteuerte Aktionen [4];
- Standardisierte Bibliotheken für graphische Oberflächen [5];
- Frei verfügbare Numerik-Klassen, z.B. für lineare Algebra, komplexe Zahlen und spezielle Funktionen [6];
- Frei verfügbare Entwicklungsumgebungen für graphisches Programmieren [7].

Nicht verschweigen sollte man allerdings den

teilweise beträchtlichen Aufwand, der zum Erstellen der hier verwendeten Applets nötig ist. Abhilfe schafft nur der konsequente Einsatz wiederverwendbarer Basisbausteine, die sich als JavaBeans [8] graphisch zu einem Applet zusammensetzen lassen. Dazu wurde die Klassenbibliothek PhysBeans [9] verwendet, die als Ergebnis mehrerer solcher Projekte entstanden ist. Im Sinne einer weiteren Verbreitung dieser Techniken wäre die Entstehung eines OpenSource-Projekts sinnvoll, das die gemeinsame Entwicklung einer solchen Basisbibliothek zum Inhalt hat. Hier mag PhysBeans als ein erster Grundstock eingehen.

Virtuelle Experimente in Form von Applets lassen sich in ganz verschiedener Weise in die Physik-Ausbildung integrieren: Sie können als Demonstrationen in einer Vorlesung eingesetzt werden oder als Werkzeug zum angeleiteten, gezielten *Experimentieren* der Studenten in Übungen. Durch die Verfügbarkeit im Internet können sie aber auch der spielerischen Erforschung im Selbstunterricht oder der Vorlesungsnachbearbeitung und -vertiefung dienen.

Zunehmend erscheinen physikalische Lehrbücher, die auf einer ergänzenden CD-ROM entsprechende Applets einsetzen [10][11]. Dabei kam in [11] eine frühe Version der PhysBeans-Bibliothek zum Einsatz. Auch im Internet lassen sich eine ganze Reihe von Applets zu vielen Themen der Physik finden, ausgehend etwa von den Linksammlungen von Physicsweb [12], Loviscach [13] oder dem Projekt *physik multimedial* [14]. Insbesondere zum hier vorgestellten Thema *Nichtlineare Schwingungen und Chaos* gibt es sehr schöne Applets unter [15][16], die die i.f. beschriebenen Beispiele ergänzen und z.T. erheblich erweitern.

## VERGLEICH MIT ANDEREN ANSÄTZEN

Zur Lösung nichtlinearer Differentialgleichungen lassen sich in einfacher Weise Numerikpakete wie *Matlab* [17] einsetzen, die mit wenigen Befehlen das Bestimmen und graphische Darstellen der Lösungen ermöglichen. In [18] wird an einigen Beispielen aus der Mathematik- und Physikausbildung gezeigt, wie *Matlab* bei mathematischen Fragestellungen aus ganz unterschiedlichen Bereichen schnell zu numerischen Lösungen führt. Dass sich auch Algebrasysteme wie Maple [19] für diesen Zweck einsetzen lassen, wird in [20] am Fallbeispiel des mathematischen Pendels ausführlich dargestellt. Der Schwerpunkt liegt hier zwar in der Analyse der Gleichungen mittels analytischer Verfahren wie Reihenentwicklungen, aber es lassen sich zusätzlich auch numerische Lösungen bestimmen.

Das Verwenden solcher Programme setzt bei den Studenten nicht nur Grundkenntnisse ihrer Bedienung voraus, sondern erfordert auch ein Verständnis der mathematischen Problemstellung. Nicht die physikalischen Phänomene stehen hier im Vordergrund, sondern die zu ihrer Beschreibung nötigen Gleichungen sowie die Verfahren zu ihrer Lösung. Daher bieten sich solche Ansätze eher für fortgeschrittene Studenten an, die über die nötigen Vorkenntnisse aus der Mathematik und Informatik verfügen. Dann aber sind sie besonders geeignet, in interdisziplinärer Weise Aspekte von Mathematik, Physik und Informatik zusammenzubringen.

Im Gegensatz dazu sollen die hier beschriebenen Applets mit Hilfe ihrer graphischen Oberfläche eine experimentelle Situation nachbilden und den Studenten von der zugrundeliegenden Mathematik abschirmen. Sie eignen sich daher schon für die Anfängerausbildung, sind aber naturgemäß auf die jeweilige physikalische Situation beschränkt.

Zwar lassen sich auch in *Matlab* graphische Oberflächen programmieren, allerdings nimmt der Erstellungsaufwand dann sehr stark zu. Darüberhinaus erfordern solche *Matlab*-Programme das Vorhandensein einer entsprechenden *Matlab*-Umgebung, die für die Studenten in der Regel nicht verfügbar ist. Schließlich lassen sie sich nicht in einfacher Weise in eine HTML-Umgebung einbinden.

Einen ganz anderen Weg gehen die *virtuellen Labore*, die in [21] vorgestellt werden: Es handelt sich hier um reale Experimente, die über das Internet ferngesteuert werden können und deren Ergebnisse in Echtzeit übertragen werden. Ein ausgeklügeltes Reservierungssystem verhindert dabei den gleichzeitigen Zugriff durch mehrere Anwender. Auch wenn durch den vorgegebenen Aufbau die Möglichkeiten auf die vorgegebene Situation eingeschränkt sind (auch die Möglichkeiten, Fehler zu machen!), entsteht doch ein recht unmittelbarer Eindruck des Experimentierens. Dazu tragen auch simultan übertragene Videoaufnahmen des Versuchsaufbaus bei.

Der technische Aufwand für ein solches ferngesteuertes Labor ist hoch, er wird sich weniger für physikalische Standardversuche als eher für kompliziertere Versuchsaufbauten lohnen. Dann aber kann die gute zeitliche Ausnutzung solcher Anlagen sicher den Aufwand rechtfertigen. Im in [22] beschriebenen Experiment kommt noch hinzu, dass im Fach Mechatronik die für die Fernsteuerung nötigen Aktuatoren und Sensoren ja selber Gegenstand der Untersuchung sind, so dass nicht nur die Durchführung, sondern schon der Aufbau eines *virtuellen Labors* ein nützliches Projekt im Rahmen dieses Studiengangs darstellt.

## DER KURS NICHTLINEARE SYSTEME UND CHAOS

Die Physikausbildung im Studiengang Maschinenbau umfasst an der FHWT zwei Semester zu je 40 Vorlesungsstunden. Davon entfallen das erste und etwa die Hälfte des zweiten Semesters auf Standardthemen (Schwingungen und Wellen, Akustik, Optik, Relativitätstheorie, Quantenmechanik, Kernphysik), der Rest wird für Querschnittskurse im Umfang von jeweils 6-8 Stunden verwendet. Diese Kurse haben einerseits zum Ziel, an modernere Begriffe der Physik heranzuführen, die im üblichen Lehrbuchstoff sonst nicht vorkommen. Gerade bei Ingenieurstudenten erhöht der Einschluss aktuellerer Themen die Motivation erheblich, die Neugierde wird durch Schlagworte wie *allgemeine Relativitätstheorie* oder *Chaos* geweckt. Andererseits sollen durchaus Bezüge zu Themen des Hauptstudiums hergestellt werden, z.B. indem Grundzüge der statistischen Mechanik den Boden für thermodynamische Vorstellungen bereiten oder die Untersuchung von Feldern beim Geschwindigkeitsfeld in der Strömungslehre wiederkehrt.

Unter diesen Kriterien ist eine Einführung in die Eigenschaften nichtlinearer und chaotischer Systeme besonders geeignet: Zum einen genießt die *Chaostheorie* seit geraumer Zeit öffentliche Popularität, man gesteht ihr weitreichende Anwendbarkeit zu, ohne dass mehr als eine nebulöse Vorstellung von *Chaos* vermittelt wird. Andererseits sind nichtlineare Schwingungen auch im ingenieurwissenschaftlichen Umfeld zunehmend in den Blickpunkt geraten, was sich in entsprechenden Lehrbüchern niederschlägt [23][24]. Sie werden gelegentlich auch in Standardvorlesungen zur Schwingungslehre integriert (vgl. etwa [25]), meistens fallen sie aber der mangelnden Zeit und den fehlenden mathematischen Kenntnissen der Studenten zum Opfer.

Der hier vorgestellte Kurs soll diese Lücke schließen helfen, indem er mit Hilfe *virtueller Experimente*, häufig unter Verzicht auf mathematisch exakte Herleitungen, zumindest die Phänomenologie und ein physikalisches Grundverständnis für nichtlineare und chaotische Systeme vermittelt. Er ist in die Multimedia-Version von [11] eingegangen, unter [26] findet man eine Version, die auf dem aktuellen Java-Standard basiert.

Für das Verständnis des Kurses werden folgende Vorkenntnisse benötigt: Aus der Mathematik:

- Trigonometrie;
- Vektorrechnung;
- Ableitungsbegriff.

wie sie in den Anfänger-Vorlesungen der Mathematik vermittelt wurden, aus der Physik:

- Kraftbegriff und Kräftezerlegung;
- Newtonsche Bewegungsgleichung;
- Grundkenntnisse linearer Schwinger (Federpendel).

Diese Themen wurden in Physik 1 und teilweise auch in der Technischen Mechanik behandelt. Das Konzept der Bewegungsgleichung als Differentialgleichung ist ebenfalls aus der Physik bekannt, weitere Kenntnisse der gewöhnlichen Differentialgleichungen, insbesondere Lösungsverfahren, werden hier nicht benötigt.

Am Ende des Kurses sollen die Teilnehmer einige Grundbewegungsformen nichtlinearer Systeme kennen, darunter:

- Harmonische Bewegung als Näherung kleiner Schwingungen;
- Abhängigkeit der Frequenz von der Amplitude;
- Phänomen der Periodenverdopplung;
- Scheinbar regellose, *chaotische* Bewegung.

Sie sollen das Phasenraum-Diagramm als Werkzeug zur Untersuchung nichtlinearer Systeme kennen und zusammen mit dem Poincare-Schnitt zum Erkennen chaotischen Verhaltens einsetzen können. Schließlich sollen sie die sensible Abhängigkeit der Bewegung von den Anfangsbedingungen und seine Konsequenzen für die Vorhersagbarkeit chaotischer Bewegungen einschätzen können.

Als grundlegendes Beispielsystem dient das mathematische Pendel mit harmonischer Anregung, dessen Bewegungsgleichung:

$$\ddot{\varphi} + \frac{b}{m}\dot{\varphi} + \frac{g}{l}\sin(\varphi) = \frac{F}{ml}\cos(\omega_{ext}t) \quad (1)$$

mit den vorhandenen Kenntnissen explizit hergeleitet werden kann. Es wird anhand der vorgegebenen Applets untersucht, wobei sich in die Vorlesung eingebettete Demonstrationen mit eigenen Versuchen der Studenten abwechseln. Die Applets werden dabei einerseits qualitativ eingesetzt, um grundlegende Bewegungsformen kennenzulernen, andererseits werden auch konkrete *Messreihen* zur Gewinnung quantitativer Zusammenhänge gewonnen z.B. der Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Anfangsauslenkung beim reibungsfreien Pendel.

Zur Ergänzung wird noch der Duffing-Oszillator [27] betrachtet (Abbildung 1), gegeben durch die Bewegungsgleichung:

Sie beschreibt näherungsweise die Bewegung eines

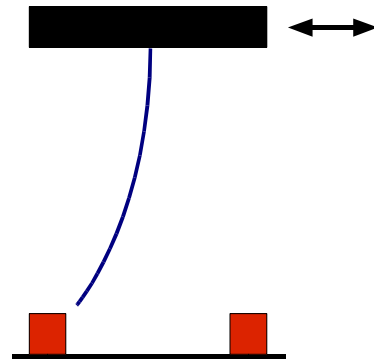


Abbildung 1: Modell des Duffing-Oszillators.

$$\ddot{x} + \lambda\dot{x} - x + \mu x^3 = A \cos(\omega_{ext}t) \quad (2)$$

zwischen zwei Magneten eingespannten Eisenstabs, die äußere Anregung geschieht durch Verschieben des Aufhängepunkts:

Im Gegensatz zum Pendel ist die Herleitung der Bewegungsgleichung hier nicht ohne zusätzliche Kenntnisse möglich, ihre Form lässt sich den Studenten aber als leichte Erweiterung des Hookeschen Gesetzes nahebringen. Der Vorteil des Duffing-Oszillators ist seine besonders augenfällige Folge von Periodenverdopplungen auf dem Weg zum chaotischen System.

Auch hier ließen sich natürlich ähnliche Applets wie beim Pendel einsetzen, die sogar - ausgehend von den vorhandenen Beispielen - ohne großen Aufwand zu erstellen wären. Im Rahmen des Kurses wird allerdings das Programm *Matlab* benutzt, um entsprechende Ergebnisse diesmal auf andere Weise zu erhalten. Dies dient u.a. auch der Vorbereitung auf einen entsprechenden *Matlab*-Kurs, der im Rahmen der Informatik-Vorlesung im 3. Semester das Thema wieder aufgreift.

## GRUNDAUFBAU DER EINGESETZTEN APPLETS

Die hier verwendeten Applets haben alle den gleichen Aufbau: Sie bestehen aus einem Eingabebereich, der sämtliche Eingabe-Elemente enthält, einem Objekt-Bereich, der das zu simulierende Objekt schematisch darstellt, und einem Ausgabe-Bereich, in dem Messergebnisse graphisch oder als Zahlen angezeigt werden. Zur besseren Wiedererkennung werden die einzelnen Bereiche jeweils in einer charakteristischen Farbe dargestellt, außerdem sind sie in gleicher Weise zueinander angeordnet, soweit dies möglich und sinnvoll ist.

Sämtliche Änderungen am System werden über spezielle Eingabe-Elemente durchgeführt. Folgende Elemente aus der PhysBeans-Bibliothek werden hier verwendet:

- Zeitsteuerung;
- Werteingabe;
- Auswahlboxen.

Die Zeiteingabe dient zur Steuerung des Zeitablaufs der Simulation. Sie erlaubt die Änderung der Geschwindigkeit, das Anhalten bzw. Weiterführen der Simulation sowie einen Neustart. Zur Kennzeichnung werden die bei Audio-/Video-Recordern üblichen Symbole verwendet, dadurch ist die Bedienungsweise unmittelbar klar.

Die Werteingabe geschieht in jeweils identisch aufgebauten Feldern, die sowohl die schnelle qualitative Eingabe über einen Schieberegler als auch die explizite Werteingabe über ein Textfeld erlauben. Natürlich sind beide Felder gekoppelt, außerdem werden bei der Texteingabe nur Werte im durch den Regler bestimmten Bereich zugelassen. Ein kurzer Text erläutert jeweils die zu verändernde Größe und gibt ihre Einheit an.

Mit Hilfe der Auswahlboxen kann man festlegen, welche Kurven im Oszilloskop angezeigt werden, darüber hinaus sind gelegentlich weitere Darstellungsparameter angegeben. Diese Boxen ersetzen auch eine Legende: Durch einfaches An- und Ausschalten wird sofort deutlich, welche Farbe zu welcher physikalischen Größe gehört.

Der Ausgabe-Bereich besteht i.w. aus einem simulierten Oszilloskop, das entweder die physikalisch interessierenden Größen als Funktionen der Zeit darstellt oder jeweils eine Größe in Abhängigkeit von einer anderen (XY-Oszilloskop). Zur Anpassung an stark veränderliche Wertebereiche kann die Skala über Schaltknöpfe in mehreren Stufen jeweils um einen Faktor zwei vergrößert oder verkleinert werden.

Quantitative Messungen an den Kurven sind leicht möglich: Klickt man eine beliebige Stelle im Oszilloskop-Fenster an, werden die zugehörigen Koordinaten angezeigt, wobei alle Werte jeweils direkt in den entsprechenden SI-Basiseinheiten angegeben werden, unabhängig vom gewählten Skalierungsfaktor. Im Anzeigebereich des Oszilloskops verwandelt sich der Cursor in ein Fadenkreuz, um auf diese Möglichkeit hinzuweisen. Damit sich verschiedene Kurven in einer - bis auf die Einheit - gemeinsamen Skala darstellen lassen, sind die Anfangswerte aller Eingabeparameter so aufeinander abgestimmt, dass die physikalischen Größen, in SI-Einheiten ausgedrückt, vergleichbare Größenordnungen haben. Bei Änderungen der Systemgrößen laufen die Kurven u.U. auseinander, hier muss ggf. bei Messungen verschiedener Größen zur genaueren Darstellung jeweils eine andere Skalierung eingesetzt werden.

Der Objektbereich zeigt in den Beispielapplets die

Bewegung des mathematischen Pendels in schematischer Form. Hier wäre eine realistischere Darstellung, etwa mit dreidimensionalen und Beleuchtungseffekten, vielleicht wünschenswert, der erzielbare didaktische Nutzen steht aber in keinem Verhältnis zum dafür notwendigen Programmieraufwand. Außerdem erinnert die stilisierte Darstellung an den virtuellen Charakter des Experiments. In einigen Applets fällt der Objektbereich weg, wenn er keine weiteren Erkenntnisse liefert und der Platz für die Anzeige benötigt wird. Gelegentlich wird ihm durch entsprechende Farbgebung das Oszilloskop zugeordnet. Dies soll ausdrücken, dass die angezeigten Kurven - in einer höheren Abstraktionsstufe - hier das eigentliche Untersuchungsobjekt darstellen.

Durch die Verwendung gleichartiger Elemente in ähnlicher, klar aufgebauter Anordnung ist die Bedienung der Applets ohne zusätzliche Erklärungen intuitiv verständlich, ein spielerischer Umgang führt sofort zum Erfolg. Einzige Ausnahme ist wohl die Aufnahme von Messwerten im Oszilloskop: Hier muss einmal auf den grundsätzlichen Mechanismus hingewiesen werden. Diesem Primat der unmittelbaren Verständlichkeit fiel auch die Möglichkeit zum Opfer, das Objekt direkt mit der Maus manipulieren zu können. Beispielsweise ließe sich die Anfangsauslenkung des Pendels durch direktes Bewegen des Pendels mit der Maus eingeben, auch alternativ zum hier vorgesehenen Eingabe-Element. Diese Technik wird in vielen Applets angewandt [28]. Die hier verwendete Methode, das eigentliche Objekt nicht unmittelbar zugreifbar zu machen, entspricht aber auch den tatsächlichen Gegebenheiten heutiger Experimente: Nach dem Aufbau wird man in der Regel keinen direkten Kontakt zum eigentlichen Messobjekt mehr haben. Die oben beschriebenen ferngesteuerten Experimente entsprechen naturgemäß ebenfalls dieser Vorgehensweise.

## **BESCHREIBUNG UND EINSATZ AUSGEWÄHLTER APPLETS**

In diesem Abschnitt werden sechs Applets vorgestellt, die im Rahmen des Kurses ausgiebig verwendet werden. Dabei wird neben dem Aufbau eines Applets vor allem auch auf seine Einsatzmöglichkeiten und die damit verknüpften Lernziele ausführlich eingegangen.

### **Mathematisches Pendel**

Simuliert wird das mathematische Pendel ohne Reibung und Anregung. Neben den Anfangs-

bedingungen für die Auslenkung  $\varphi$  und die Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varphi}$  kann der einzige Systemparameter  $g/l$  eingegeben werden. Dabei ändert sich - aus Gründen der Übersichtlichkeit - die Darstellung des Pendels nicht, man könnte also eher von einer Änderung der Fallbeschleunigung  $g$  als der Fadenlänge  $l$  sprechen. Das Oszilloskop zeigt das zeitliche Verhalten von Winkel und Winkelgeschwindigkeit, wobei der Winkel noch wahlweise auf einen Bereich von  $-\pi$  bis  $\pi$  reduziert dargestellt werden kann (s. Abbildung 2).

Mit diesem Applet wird zunächst an die Erfahrungen mit linearen Schwingern angeknüpft. Dazu wird ein Simulationslauf für kleines  $\varphi(0)$  vorgeführt und von den Studenten als (näherungsweise) harmonische Schwingung identifiziert. Im nächsten Schritt soll in kleinen Gruppen die Abhängigkeit der Schwingungsdauer  $T$  von  $g/l$  (bei sonst festgehaltenen Parametern) experimentell bestimmt werden. Hier kann man als Hilfestellung an den Zusammenhang zwischen der Kreisfrequenz  $\omega$  und der Schwingungsdauer  $T$  erinnern, sowie den *experimentellen* Hinweis einstreuen, dass ein Messen über mehrere Perioden die Genauigkeit vergrößert. In der Regel wird zumindest von einer Gruppe der Zusammenhang:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3)$$

gefunden, der dann als Ergebnis der Linearisierung der Sinusfunktion hergeleitet werden kann.

Im nächsten Schritt werden die Bewegungsformen bei größeren Anfangswinkeln studiert. Im Rahmen des Kurses werden sie vom Dozenten demonstriert,

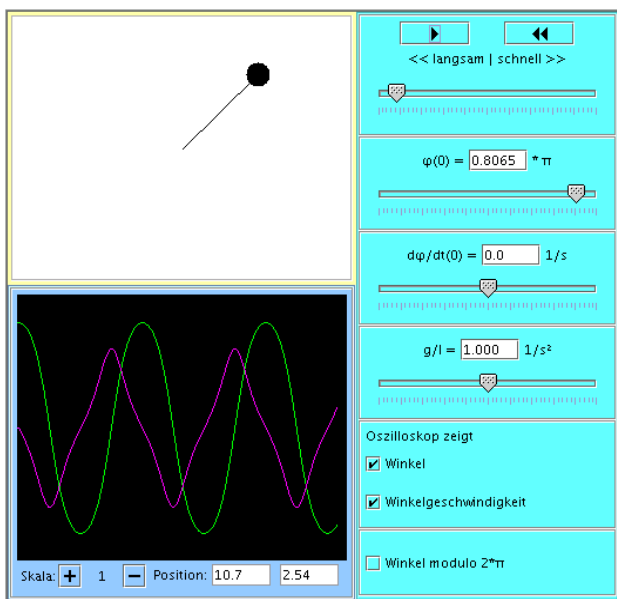


Abbildung 2: Applet *Mathematisches Pendel*.

wobei die Studenten ihre Beobachtungen kommentieren sollen. Der stärker werdende Einfluss der Nichtlinearität lässt sich dabei zuerst an der Winkelgeschwindigkeit erkennen, während die Kurve des Winkels noch lange sehr *harmonisch* wirkt. Spätestens bei einer Anfangsauslenkung nahe  $180^\circ$  stellt sich die Frage nach der *Realität*: Ein wirkliches Fadenpendel würde einfach herunterfallen, simuliert wird wohl eher ein *Stangenpendel*. Auch die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Amplitude wird nun augenfällig. Mit der Hinzufügung einer Anfangs-Winkelgeschwindigkeit tritt die Überschlagsbewegung als neue Form auf. Hier kann nun die Frage diskutiert werden, in wie weit es sinnvoll ist, einen Winkel als größer  $360^\circ$  anzugeben.

Schließlich soll, wieder in Gruppenarbeit, die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Anfangsamplitude bestimmt und graphisch dargestellt werden. Bei genügend Zeit und ausreichendem mathematischen Vorwissen kann nun noch die Näherungsbeziehung:

$$T(\varphi_0) \approx T_0 \left( 1 + \frac{1}{16} \varphi_0^2 \right) \quad (4)$$

mit dem Verfahren der harmonischen Balance [23] hergeleitet und mit den gefundenen Ergebnissen verglichen werden.

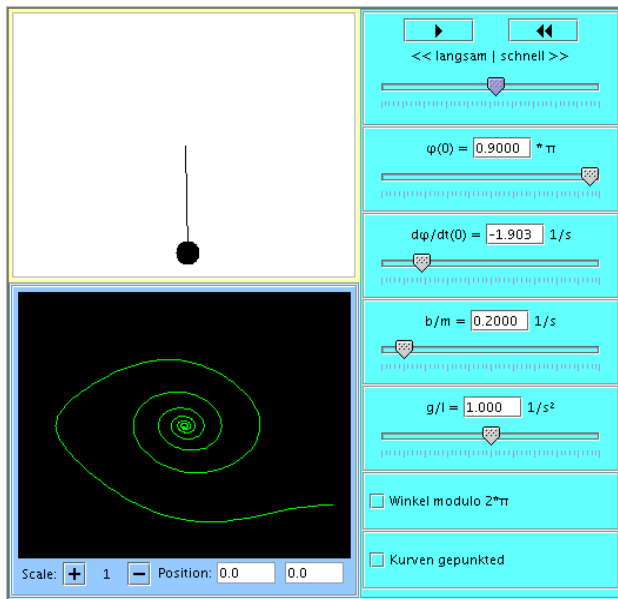
Als Ergebnis der Stunde können die Studenten qualitative Unterschiede in den Bewegungsformen linearer und nichtlinearer Schwingen benennen und ggf. am Beispiel der Amplitudenabhängigkeit auch quantifizieren.

## Phasenraumdarstellung

Im nächsten Schritt wird das mathematische Pendel mit viskoser Reibung betrachtet und die Auswirkung der Reibung mit einem (hier nicht besprochenen) Applet untersucht und mit dem Verhalten im bereits bekannten linearen Fall verglichen.

Zur weiteren Untersuchung schwingender Systeme wird nun das Phasenraumdiagramm eingeführt. Zunächst sollen die Studenten für die bekannten linearen Systeme in kleinen Gruppen selbst Phasenkurven skizzieren, anschließend ihre Erwartungen äußern, wie entsprechende Kurven beim mathematischen Pendel aussehen werden. Dies wird dann mit dem nächsten Applet verifiziert bzw. korrigiert (Abbildung 3).

Es ähnelt sehr dem letzten, für die Stärke der Reibung  $b/m$  ist ein weiteres Eingabe-Element vorhanden. Die entscheidende Änderung ist das XY-Oszilloskop zur Darstellung von  $\dot{\varphi}$  über  $\varphi$  also

Abbildung 3: Applet *Phasenraumdarstellung*.

dem Phasendiagramm. Für die folgenden Untersuchungen lässt sich die Kurve auch gepunktet darstellen.

Im Rahmen einer Demonstration werden nun die wichtigsten Kurventypen ohne und mit Reibung vorgestellt. Um ein genaueres Bild des Phasenraums zu bekommen, können durch Änderung der Anfangsbedingungen während des Simulationslaufs auch mehrere Kurven in einem Diagramm gezeigt werden. Hierzu ist die gepunktete Darstellung nötig, da sonst störende Verbindungslinien vom Ende einer Kurve zum Beginn einer neuen auftreten. Die wichtige Beobachtung, dass sich Phasenraumkurven nicht schneiden, sowie eine Erklärung dafür sollten möglichst von den Studenten selbst gefunden werden, notfalls helfen einige hilfreiche Bemerkungen.

Die Analyse der beobachteten Kurven führt die Studenten fast zwangsläufig zum Begriff des Attraktors, der vom Dozenten um den des abstoßenden Fixpunkts erweitert wird. Als nächstes Gruppen-Experiment soll der Einzugsbereich eines Attraktors bestimmt werden. Dabei wird auch die Rolle der unterschiedlich aussehenden Ergebnisse ohne bzw. mit Reduktion auf einen Winkelbereich von  $2\pi$  diskutiert. Damit sind die im Folgenden benötigten Eigenschaften von Phasenraumkurven bekannt.

### Angeregtes Pendel

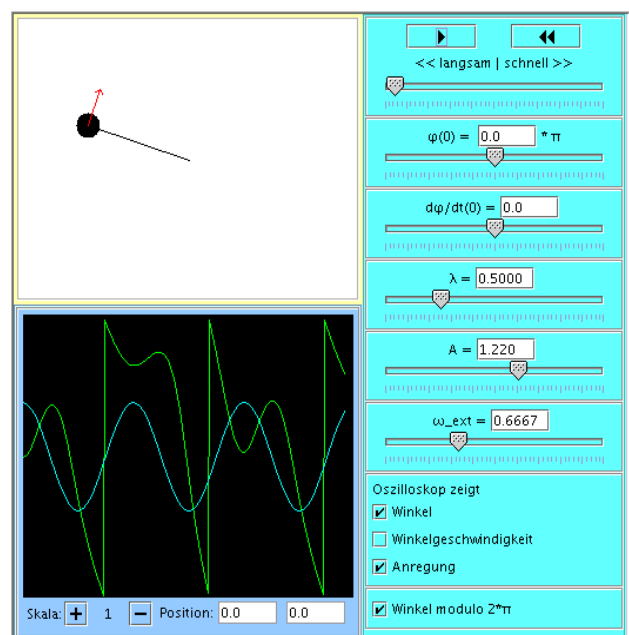
Das nächste Applet dient zur Untersuchung eines Pendels, das harmonisch angeregt wird, beschrieben durch die dimensional reduzierte Bewegungsgleichung:

$$\ddot{\varphi} + \lambda \dot{\varphi} + \sin(\varphi) = A \cos(\omega_{ext} t) \quad (5)$$

Es enthält die üblichen Eingabe-Elemente für die Anfangsbedingungen und die drei Parameter  $\lambda$ ,  $A$  und  $\omega_{ext}$ . Im Oszilloskop können der Winkel, die Winkelgeschwindigkeit und die Anregung als Funktionen der Zeit dargestellt werden, der Winkel wahlweise wieder modulo  $2\pi$ . Die anregende Kraft wird im Objektbereich durch einen an der Pendelmasse befestigten Pfeil symbolisiert, dessen Länge und Richtung die Stärke der momentan wirkenden Kraft angeben (Abbildung 4).

Als Einstieg kann eine Diskussion dienen, wie ein solches Experiment real durchgeführt werden könnte. Grundlegendes Problem ist die unmittelbare Übertragung der Kraft, etwa mit einem Gummiband. Die Wirkung eines bewegten Aufhängepunkts wird kurz besprochen, wobei - wohl meistens ohne explizite Angabe - auch auf die leicht unterschiedliche Bewegungsgleichung hingewiesen wird. Die hier verwendete reduzierte Gleichung wird angegeben und ggf. aus der bekannten Gleichung (Formel 1) abgeleitet.

Mit diesem Beispiel wird erstmals ein chaotisches System untersucht. Um die komplexen Bewegungsformen zu verstehen, werden die Parameter  $\omega_{ext}$  und  $\lambda$  fixiert (als nützlich haben sich z.B. die Werte  $\lambda = 0.5$ ,  $\omega_{ext} = 0.6667$  herausgestellt) und die Auswirkungen veränderlicher Amplitude  $A$  demonstriert. Der Fall  $A = 1.0$  knüpft wieder an das Verhalten des linearen Schwingers an, bei  $A = 1.07$  tritt Periodenverdopplung auf, mit  $A = 1.22$  hat man den chaotischen Bereich erreicht. Anhand der modulo  $2\pi$  reduzierten Kurve lässt sich das Chaotische des Verhaltens schwer erkennen, typischerweise suchen viele Studenten nach Mustern und vermuten eine

Abbildung 4: Applet *Angeregtes Pendel*.

größere Periode. Betrachtet man dagegen nur die Zahl ganzer Überschläge, wird das *ziellose Herumtanzen* der Bewegung deutlicher.

Für die folgende Gruppenarbeit wird jede Gruppe mit eigenen Werten von  $\lambda$  und  $\omega_{ext}$  versorgt und soll das Verhalten für verschiedene Werte von  $A$  sowie die Abhängigkeit der Bewegungsform von den Anfangsbedingungen untersuchen. Die Ergebnisse werden hinterher zusammengetragen, wobei eine kritische Hinterfragung wichtig ist. Neben den grundsätzlichen Bewegungstypen ist den Studenten dann auch klar geworden, dass das Ortsraumdiagramm für solche Untersuchungen schlecht geeignet ist.

### Angeregtes Pendel im Phasenraum

Um das Verhalten im Phasenraum zu studieren, wird ein entsprechendes Applet eingesetzt, das sich i.w. nur durch den Austausch des Oszilloskops durch ein XY-Oszilloskop unterscheidet (Abbildung 5).

Zunächst werden die schon bekannten Bewegungstypen bei Standardparametern wieder vorgeführt. Im Phasenraum wird dabei der Unterschied sofort erkennbar: Das einfache Mitschwingen führt zu einem Attraktor in Form einer einfachen *verbeulten Ellipse*, ein Attraktor aus zwei zusammengesetzten Teilen ist ein Zeichen einer verdoppelten Periode.

Zur Untersuchung des chaotischen Verhaltens wird zunächst der Winkel nicht reduziert und eine kleine Skala gewählt. Dadurch wird der regellose Wechsel zwischen Bereichen mit verschiedener Anzahl von Überschlägen deutlich sichtbar. Wiederholt man das Experiment nun mit einem auf  $2\pi$  reduzierten Winkel

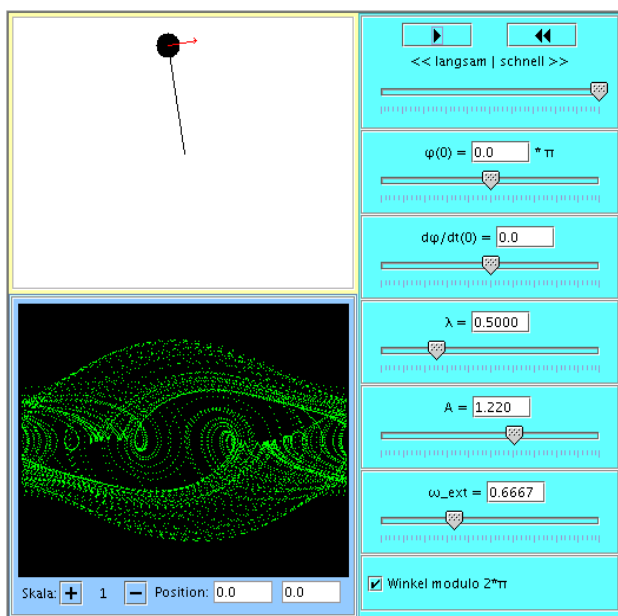


Abbildung 5: Applet *Angeregtes Pendel im Phasenraum*.

und normaler Skala, kommt der bekannte *seltsame Attraktor* zum Vorschein. Die Studenten sollen nun in einer angeleiteten Diskussion den prinzipiellen Unterschied zwischen diesem und den nicht-chaotischen Phasenporträts herausfinden. Danach wird der Begriff der nicht-ganzzahligen Dimension angesprochen, aber nicht präzisiert. Dies bleibt einer möglichen späteren Einheit zum Thema *Fraktale* vorbehalten.

In abschließender Gruppenarbeit sollen die Studenten die Experimente vom letzten Applet mit dem Phasenraum-Applet wiederholen und ihre alten Ergebnisse entsprechend korrigieren bzw. erweitern. Dadurch wird die Bedeutung des Phasendiagramms zur Untersuchung chaotischer Systeme praktisch erfahren. Beim folgenden Zusammentragen der Ergebnisse wird deutlich, dass auch bei stärkerer Anregung wieder nicht-chaotisches Verhalten auftreten kann. Dies macht die Komplexität des Systems nicht nur im Zeitverhalten, sondern auch in Abhängigkeit der Systemparameter deutlich.

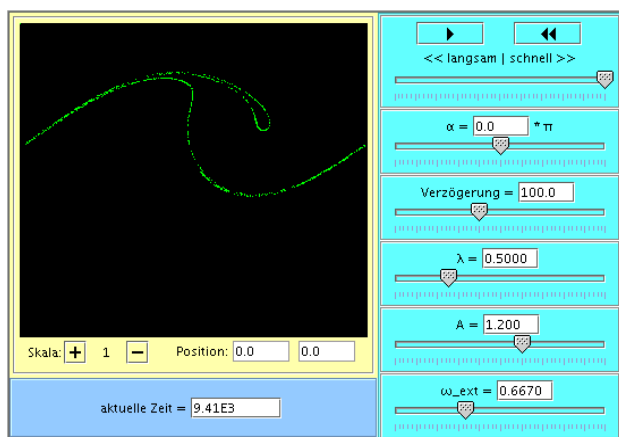
### Poincare-Schnitt

Trägt man nur solche Punkte im Phasendiagramm auf, bei denen die äußere harmonische Anregung gerade einen vorgegebenen Phasenwinkel  $\alpha$  annimmt, erhält man einen Poincare-Schnitt. Das entsprechende Applet erlaubt die Eingabe der drei Systemparameter sowie des Phasenwinkels  $\alpha$ . Das sich ergebende Bild wird in einem XY-Oszilloskop dargestellt, das hier den Objektbereich einnimmt.

Die Interpretation des Ergebnisses wird durch die ersten Punkte sehr gestört, die das Einschwingverhalten beschreiben und noch nicht (hinreichend nahe) auf dem Attraktor liegen. Daher kann man im Applet zusätzlich eine Verzögerungszeit einstellen, während der die entsprechenden ersten Werte unterdrückt werden. Vor allem bei größeren Verzögerungszeiten führt dies zu einer längeren Startphase, während der scheinbar nichts passiert. Um die Geduld des Benutzers nicht überzustrapazieren, wird im Ausgabebereich die aktuelle simulierte Zeit angezeigt, so dass man leicht abschätzen kann, wann mit den ersten Punkten zu rechnen ist (Abbildung 6).

Nach einer Erklärung des Funktionsprinzips sollen die Studenten diskutieren, wie sich die grundlegenden Bewegungsformen im Poincare-Schnitt widerspiegeln. Anschließend wird das Ergebnis für die bisher verwendeten Standardwerte vorgeführt: Bei einfacher Schwingung ergibt sich nur ein Punkt, Periodenverdopplung führt zu zwei, weitere Verdopplung zu entsprechend mehr Punkten. Der seltsame Attraktor



Abbildung 6: Applet *Poincare-Schnitt*.

zeigt sich im Schnitt als ein Muster mit *linienartigen* Anteilen. Hier lässt sich wieder die Frage der Dimension der Kurve diskutieren.

In Gruppen sollen die Studenten ihre bisherigen Ergebnisse nun mit dem Applet kontrollieren. Dabei ist auch die Dauer der Einschwingphase zu beachten, vor allem bei kleineren Werten des Reibungskoeffizienten  $\lambda$ . Außerdem sollen sie die Auswirkung verschiedener Werte des Phasenwinkels  $\alpha$  untersuchen und beobachten, wie sich das Gesamtbild des Attraktors im Phasenraum aus den Schnitten für verschiedene  $\alpha$  zusammensetzt.

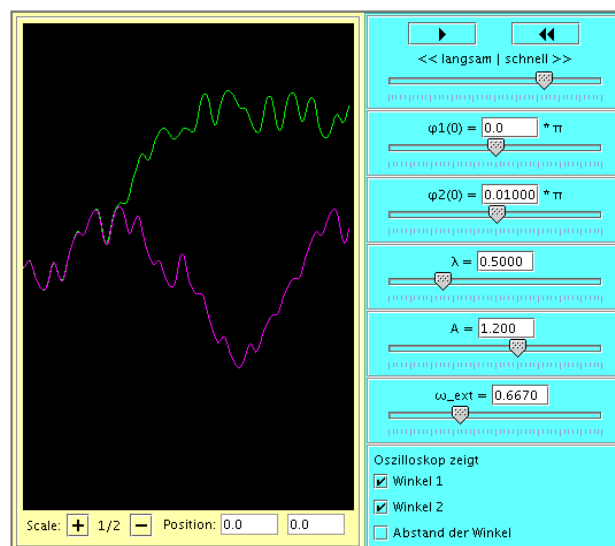
Damit sind die wichtigsten Bewegungsformen bei chaotischen Systemen sowie die Werkzeuge zu ihrer Identifikation bekannt.

### Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen

Am Ende dieses Kurses sollen die Konsequenzen chaotischen Verhaltens für die Vorhersagbarkeit untersucht werden. Dazu werden zwei identische angeregte Pendel betrachtet, die mit leicht unterschiedlicher Anfangsauslenkung starten. Mit dem verwendeten Applet können die Systemparameter und die beiden Anfangswinkel eingestellt werden, es zeigt daraufhin die Ortskurven der beiden Pendel sowie ihre Differenz an. Das Oszilloskop nimmt hier den gesamten Objektbereich ein, es ist sehr groß, um die grundsätzlich durch die Pixelgröße beschränkte Genauigkeit zu erhöhen (Abbildung 7).

Alternativ könnte man auch die beiden Pendel anzeigen und dafür das Oszilloskop verkleinern. Ein solches Applet ist in Vorbereitung, es soll die Einführung der Fragestellung begleiten, wird für die Experimente der Studenten aber durch das hier beschriebene ersetzt.

Um einen qualitativen Überblick über das Verhalten zu bekommen, sollen die Studenten zunächst das Auseinanderlaufen der Kurven für die verschiedenen

Abbildung 7: Applet *Anfangsbedingungen*.

Schwingungstypen und bei verschiedenen Anfangsauslenkungen studieren. Als Ergebnisse erhalten sie:

- Bei einfach-periodischer Schwingung ergibt sich auch bei sehr unterschiedlicher Anfangsauslenkung immer die gleiche Bewegung (evtl. modulo  $2\pi$ ).
- Bei periodenverdoppelter Schwingung können die Pendel aus dem Takt geraten, allerdings bleibt die Differenz der Winkel nach einer Einschwingphase in einem kleinen Bereich. Verringert man den Anfangsunterschied hinreichend, bleiben die Pendel aber völlig synchron.
- Bei chaotischem Verhalten laufen beide Kurven nach einer gewissen Zeit plötzlich stark auseinander. Bei Verkleinern des Anfangsabstands vergrößert sich diese Zeit, aber das Grundphänomen bleibt bestehen.

Das beobachtete Auseinanderlaufen bei beliebig kleinen Anfangsunterschieden wird nun durch einen exponentiellen Zusammenhang mathematisch beschrieben und der Begriff des Lyapunov-Koeffizienten eingeführt. In Gruppen bestimmen die Studenten mit dem Applet nun den Lyapunov-Koeffizienten des Pendels für jeweils verschiedene Parameterwerte mit chaotischem Verhalten, indem sie für immer kleineren Unterschied in den Anfangsbedingungen die Zeit messen, bis die Ortskurven einen bestimmten festen Abstand erreicht haben.

Abschließend wird die Vorhersagbarkeit bei chaotischen Systemen diskutiert und der Vorhersage-Horizont definiert. Damit schätzen die Studenten ab,

wie lange sich das Verhalten des Pendels grundsätzlich vorhersagen lässt. Dabei wird auch die Rolle der Rechner-Genauigkeit kritisch untersucht. Ergänzend wird die prinzipielle Unvorhersagbarkeit im Großen (z.B. Zahl der Überschläge jeweils nach links und rechts) erläutert, aber auch auf die Möglichkeit zu qualitativen Vorhersagen (etwa der Art *System bleibt auf dem Attraktor*) eingegangen.

## ERFAHRUNGEN UND AUSBLICK

Der Einsatz von Applets hat im Rahmen des vorgestellten Kurses eine ganze Reihe von Vorteilen gebracht:

- Referieren durch den Dozenten wird durch eigenes Begreifen der Phänomene ersetzt;
- Quantitative Zusammenhänge werden (auch) experimentell, statt wie sonst meistens nur theoretisch begründet;
- Die Studenten sind zu eigener Entdeckungsarbeit aufgefordert, sie schlüpfen in die Rolle des Forschers;
- Ein aktuelles Thema wird zugänglich gemacht, das die Neugier der Studenten anspricht.

Die Idee der Gruppenarbeit in einem sonst eher theoretisch unterrichteten Fach stieß bei den Studenten zunächst auf Skepsis. Auch das bei Arbeit am Rechner häufig beobachtete Problem, dass sich ein *Experte* am Rechner breit macht und die anderen zu Statisten verdammt, trat hier auf. Da allerdings schnell klar wurde, dass Rechnererfahrung nicht weiterhilft, kam meistens doch eine lebhaftere Interaktion in den Gruppen zustande - spätestens dann, wenn über das systematische Vorgehen bei der Erstellung von Messreihen diskutiert wurde.

In einem Folgekurs könnte die Frage nach der Ursache chaotischen Verhaltens untersucht werden. Hier sind vor allem genauere Eigenschaften mehrdimensionaler Abbildungen mit mehreren Lyapunov-Exponenten zu untersuchen und der Begriff des Fraktals vorzustellen. Auch hier werden wieder Applets hilfreich sein, die aber weniger für die Simulation dynamischer Systeme als für die Iteration *fraktalbildender* Abbildungen (z.B. Bäcker-Abbildung oder Kochkurve) eingesetzt werden können.

Natürlich lassen sich Applets auch in vielen anderen Bereichen der Physikausbildung sinnvoll einsetzen, wie die zahllosen Beispiele im Internet belegen [9][12][13]. Problematisch bleibt dabei immer der hohe Erstellungsaufwand und die nötigen vertieften Java-

Kenntnisse. Um den Aufwand für den einzelnen zu minimieren, sollten die Möglichkeiten des Internets genutzt werden, um kommentierte und nach Kategorien geordnete Sammlungen fertiger Applets zu erstellen, die leicht heruntergeladen und eingesetzt werden können [14]. Aber auch die Entwicklung von freien Klassenbibliotheken wäre sinnvoll, die bei der Programmierung neuer Applets wesentlich unterstützen könnten.

## REFERENZEN

1. Gosling, J., Joy, B. und Steele, G.L., *The Java Language Specification*. Boston: Addison Wesley Professional (2000).
2. Chan, P., Lee, R. und Kramer, D., *The Java Class Libraries, Volumes 1, 2 & Supplement*. Boston: Addison Wesley Professional (1998, 1997, 1999).
3. Sun Microsystems, Java Plug-In Home Page, <http://java.sun.com/products/plugin/>
4. Lea, D., *Concurrent Programming in Java: Design Principles and Pattern*. Boston: Addison Wesley Professional (2000).
5. Walrath, K. und Campione, M., *The JFC Swing Tutorial*. Boston: Addison-Wesley Professional (1999).
6. National Institute of Standards and Technology, JavaNumerics (2003), <http://math.nist.gov/javanumerics/>
7. Sun Microsystems, Inc., NetBeans Home Page (2003), <http://www.netbeans.org/>
8. Quinn, A., *The Java Tutorial* (2003), <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/javabeans/index.html>
9. Junglas, P., PhysBeans - Simulation mit Java-Applets, <http://www.peter-junglas.de/fh/physbeans/index.html>
10. Bauer, W., Bennenson, W. und Westfall, G., *CliXX Physik* (CD-ROM). Frankfurt am Main: Harri Deutsch (1999).
11. Stöcker, H., *Taschenbuch der Physik mit CD-ROM*. Frankfurt am Main: Harri Deutsch (2000).
12. PhysicsWeb, Interaktive Experimente zu Chaos (2003), [http://physicsweb.org/resources/Education/Interactive\\_experiments/Chaos/](http://physicsweb.org/resources/Education/Interactive_experiments/Chaos/)
13. Loviscach, J., Neue Medien in der Lehre, Linksammlung zu Lernsoftware, [http://www.weblearn.hs-bremen.de/home\\_loviscach/Public](http://www.weblearn.hs-bremen.de/home_loviscach/Public)
14. Projekt *Physik Multimedial*, Linklisten-Datenbank (2002),

<http://www.physik-multimedial.de/lili/golili/lilierw.php>

15. Elmer, F.-J., The Pendulum Lab (2002), <http://monet.physik.unibas.ch/~elmer/pendulum/index.html>
16. Fraser, B., The Nonlinear Lab (1999), <http://www.apmaths.uwo.ca/~bfraser/index.html>
17. The MathWorks, Inc., *Matlab*®, <http://www.mathworks.com/>
18. Tiedt, R.-P., Unterstützung der Mathematikausbildung für Ingenieure durch Nutzung von *Matlab*. *Global J. of Engng. Educ.*, 5, 3, 283-287 (2001).
19. Waterloo Maple, Inc., Maple®, <http://www.maplesoft.com/>
20. Schramm, T., Computeralgebrasysteme als Integrationswerkzeuge im Mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Das Mathematische Pendel - Eine Fallstudie. *Global J. of Engng. Educ.*, 5, 3, 289-298 (2001).
21. Georgiev, G.S., Roth, H., Stefanova, S., Georgiev, G.T., Stoyanov, E. und Rösch, O., How and why to build and use virtual laboratories. *World Trans. on Engng. and Technology Educ.*, 1, 2, 191-196 (2002).
22. Roth, H., Rösch, O., Kuhle, J., Prusak, A., Gonzalez, A.H., Georgiev, G., Lehov, G. und Stefanova, S., Remote laboratories for experiments in mechatronics. *Proc. 6<sup>th</sup> Baltic Region Seminar on Engng. Educ.*, Wismar/Warnemünde, Germany, 75-78 (2002).
23. Kapitaniak, T., *Chaos for Engineers: Theory, Applications and Control*. Berlin: Springer (2000).
24. Baker, G.L. und Gollup, J.P., *Chaotic Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press (1996).
25. Magnus, K. und Popp, K., *Schwingungen*. Stuttgart: Teubner (1997).
26. Junglas, P., Unterlagen zu *Physik 4*, <http://www.peter-junglas.de/fh/vorlesungen/physik4/html/index.html>
27. vgl. etwa [25], S. 382f
28. z.B. Hwang, F.-K., NTNU Virtual Physics Laboratory, PendulumJava Applet (2001), <http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/Pendulum/Pendulum.html>

## BIOGRAPHIE



Peter Junglas ist Jahrgang 1959. Er studierte Physik in Hannover und Hamburg und spezialisierte sich in mathematischer Physik. Nach dem Diplom 1985 promovierte er bei Prof. Buchholz an der Uni Hamburg 1987 mit einem Thema aus der allgemeinen Quantenfeldtheorie.

Anschließend arbeitete er noch zwei Jahre als Assistent an der Uni Göttingen in diesem Bereich.

1989/90 war er am MPI für Aeronomie in Katlenburg/Lindau in der Gruppe von Horst-Uwe Keller, wo er sich mit Bildauswertung beschäftigte und eine solide Ausbildung als Systemadministrator erhielt.

Anschließend war er bis 2000 am Rechenzentrum der TU Hamburg-Harburg tätig, zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter, dann als Abteilungs- und stellvertretender RZ-Leiter. Sein Aufgabengebiet umfasste zunächst die Hardware- und Systemausstattung, vor allem mit Vektor- und Parallelrechnern. Später übernahm er den Bereich Fachberatung und RZ-Kurse und setzte einen Schwerpunkt im Bereich *Scientific Computing* und paralleles Programmieren. Hier setzte er sich besonders für den Einsatz auf *Quasistandards* basierender Techniken ein, wie PVM, MPI oder OpenMP.

Seit 2000 ist er als Professor für Physik und Informatik am Studienbereich Maschinenbau der Privaten Fachhochschule für Wirtschaft und Technik Vechta/Diepholz (FHWT). Neben Vorlesungen in den Studienbereichen Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen beteiligt er sich am Aufbau des Zusatz-Studiengangs Maschinenbau-Informatik. Sein gegenwärtiges Hauptinteresse liegt in der Entwicklung multimedialer Techniken für die Lehre sowie in der breiten Anwendung von Simulationstechniken, auch über den technisch-naturwissenschaftlichen Bereich hinaus. Darüberhinaus engagiert er sich im Wissenstransfer aus den Hochschulen heraus, etwa durch Begründung des *Diepholzer Kolloquiums*, das sich zum Ziel setzt, aktuelle Wissenschaftsthemen der allgemeinen Öffentlichkeit zu vermitteln.

## The Global Journal of Engineering Education

The UICEE's *Global Journal of Engineering Education* (GJEE) was launched by the Director-General of UNESCO, Dr Frederico Mayor at the April meeting of the UNESCO International Committee on Engineering Education (ICEE), held at UNESCO headquarters in Paris, France, in 1997.

The GJEE is set to become a benchmark for journals of engineering education. It is edited by the UICEE Director, Prof. Zenon J. Pudlowski, and has an impressive advisory board, comprising around 30 distinguished academics from around the world.

The Journal is a further step in the Centre's quest to fulfil its commission of human resources development within engineering through engineering education, in this instance, by providing both a global forum for debate on, and research and development into, issues of importance to engineering education, and a vehicle for the global transfer of such discourse.

In the first six years of the Journal's existence, 254 papers over 1,850 pages have been published, including award-winning papers from UICEE conferences held around the world. Papers have tackled issues of multimedia in engineering education, international collaboration, women in engineering education, curriculum development, the future of engineering education, the World Wide Web and the value of international experience, to name just a few. Other examples include: Vol.3, No.1 was dedicated to papers on quality issues in engineering education; Vol.3, No.3 focused on papers given at the *1<sup>st</sup> Conference on Life-Long Learning for Engineers*; Vol.4, No.2 centred on the German Network of Engineering Education and was the first issue published entirely in the German language; Vol.4, No.3 centred on the achievements of the *2<sup>nd</sup> Global Congress on Engineering Education*, held in Wismar, Germany; while Vol.5, No.2, had a more regional focus on Taiwan, and Vol.6, No.2 concentrated on engineering education in Denmark.

The GJEE is available to members of the UICEE at an individual member rate of \$A100 p.a., or to libraries at a rate of \$A200 p.a. (nominally two issues per year, although each volume has included an extra, complementary issue). For further details, contact the UICEE at: UICEE, Faculty of Engineering Monash University, Clayton, Victoria 3800, Australia. Tel: +61 3 990-54977 Fax: +61 3 990-51547, or visit the UICEE Website at:

<http://www.eng.monash.edu.au/uicee>