

Informationsinfrastruktur im Wandel

Horst Schecker

Modellbildung und Simulation – Multimedia-Toolbox im Physikstudium

Hard- und Software-Werkzeuge halten schrittweise Einzug in die Grundausbildung von Physiklehrern und Diplomphysikern an der Universität Bremen. Ziel ist die Erschließung interessanter, realitätsbezogener Phänomene, deren Behandlung ohne Computereinsatz mathematisch oder experimentell recht aufwendig wäre. Ein Beispiel sind die Abbremsvorgänge beim Durchgang eines Meteors durch die Erdatmosphäre.

Der Beitrag beschreibt an Beispielen Multimedia-Module aus den Bereichen der numerischen Modellierung, der Simulation und der Auswertung digitalisierter Videos über Bewegungsvorgänge. Probleme der Implementation und die bisher erst begrenzte Lernwirksamkeit werden ebenfalls angesprochen.

Modelling and simulation – multimedia in physics degree courses

Multimedia is gradually integrated into the experimental physics courses at the University of Bremen for teacher students and physics majors. The aim is to include interesting, realistic phenomena, which are otherwise excluded from a quantitative approach because of analytical or experimental boundaries in conventional teaching. An example is the motion of a meteor in the atmosphere of the earth.

The article gives examples for the use of multimedia modules from the domains of numerical modelling, simulation, and video analysis of motion. Problems of implementation are discussed as well as the limited knowledge about specific learning effects.

Module et simulation – des instruments multimedia pour les cours de physique

Des instruments des hardware et software pénètrent pas à pas dans la formation de base des professeurs et des diplômés de physique à l'université de Brême. Le but est l'approche de phénomènes intéressantes et qui ont un lien avec la réalité, dont le traitement sans ordinateurs se révélerait mathématiquement et expérimentellement assez dispendieux. Un exemple est présenté: les réactions de freinage d'un météor lors du passage de l'atmosphère terrestre.

La communication décrit à l'aide d'exemples des modules multimédia des domaines du modèle numérique, de la simulation et de l'analyse de vidéos digitalisés, les phénomènes du mouvement. Les problèmes de l'implémentation et de l'efficacité jusqu'alors limitée de l'enseignement sont pareillement abordés.

Multimedia-Werkzeuge halten seit einigen Jahren Einzug in die fachliche und fachdidaktische Ausbildung von Lehramtsstudierenden im Fach Physik an der Universität Bremen. Die Arbeiten werden vom Institut für Didaktik der Physik betreut. Hintergrund sind Erfahrungen mit dem Einsatz von Multimedia im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe aus zwei Modellversuchen der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (CPU 1992; FEST 1994). Es geht jedoch nicht primär darum, die Studierenden auf den späteren Umgang mit Multimedia in der Schule vorzubereiten (Lernen *über* Multimedia), sondern um die Unterstützung des Physiklernens im Studium: Physiklernen *mit* Multimedia.

1 Ziele: Experimentieren mit Ideen

Der Einsatz von Multimediawerkzeugen eröffnet neue Möglichkeiten für die vertiefte physikalische Analyse

komplexer und realitätsbezogener Phänomene. Damit kann einer falsch verstandenen „Theorielastigkeit“ der Physikausbildung entgegengewirkt werden. Im konventionellen Kanon der Grundvorlesungen stehen vereinfachte, sogenannte „gereinigte“ Phänomene im Vordergrund (wie lineare, reibungsfreie Bewegungen auf Luftkissenfahrbahnen).

Der klassische Kanon begründet sich aus der Systematik der Begriffsbildung, der Einführung in Meßverfahren und der geschlossenen mathematischen Lösbarkeit. Zu leicht verbleibt man jedoch bei konstruierten Sonderfällen. So verzichtet man auf viele *physikalisch* interessante und für die Studierenden motivierende Betrachtungen, weil *mathematische* oder *meßtechnische* Schranken im Wege stehen.

Numerische Verfahren und neuartige Sensoren und Meßwandler, die in einer Multimedia-Toolbox bereitgestellt werden – wie etwa berührungslose Ultraschall-Entfernungsmesser oder Videotechnik –, können diese

Schranken wenn nicht beseitigen, so doch in erheblichem Umfang abzubauen. Da bei numerischen Herangehensweisen der Zwang zu geschlossenen, analytischen Lösungsverfahren entfällt, können Studierende mit eigenen Ideen und Lösungsansätzen experimentieren. Die Steigerung *physikalischer* Komplexität wird von der Steigerung *mathematischer* Komplexität oder des Rechenaufwandes entkoppelt.

Gleichzeitig wird das Ausprobieren unterschiedlicher Lösungsansätze gefördert. In einer Fallstudie mit vier Studentengruppen, die mit einer offenen Multimedia-Toolbox das Thema „Bungee-Jumping“ bearbeiteten, fand Paice (1997, 116 ff.) bei den drei erfolgreichen Gruppen recht unterschiedliche Vorgehensweisen, die bei der Frage nach den beim Sprung auftretenden Kräften und Beschleunigungen zu jeweils akzeptablen Ergebnissen führten. Zur Verfügung standen u.a. ein numerisches Grundmodell, eine digitalisierte Videoaufzeichnung eines Sprungs sowie technische Daten zu den verwendeten Seilen. Damit waren sowohl rechnerische Abschätzungen, die koordinatenmäßige Erfassung der Bahnkurve oder auch die Erarbeitung einer modellbasierten Simulation möglich.

Diese Offenheit in der Auswahl und Anwendung der Werkzeuge ist ein wichtiges Merkmal einer Multimedia-Toolbox, das sie von Computer-Based-Training (CBT) Materialien unterscheidet. Die Werkzeuge sind nicht auf ganz bestimmte Phänomene zugeschnitten und schreiben keine bestimmten Arbeitsschritte vor. Angestrebt ist eine möglichst kontextfreie, themenübergreifend einsetzbare und für Erweiterungen offene Lernumgebung. Erste Leitlinie bei der Zusammenstellung einer Toolbox sollte die Nutzung bereits vorhandener Materialien sein. Es gibt auf dem internationalen Markt inzwischen eine ausreichende Menge sinnvoll einzubindender Programme und Geräte, die einen erheblichen Entwicklungsaufwand bereits hinter sich haben. Man muß das Rad nicht ständig neu erfinden. Wenn ergänzende Neuentwicklungen notwendig sind, sollte das in Teams mit Softwareprofis und Lehrenden erfolgen. Aus der fachlichen und fachdidaktischen Sicht ist das Pflichtenheft zu entwerfen, das dann von versierten Entwicklern in einem ständigen Abstimmungsprozeß in das Produkt umgesetzt wird. Durch Entlastung von unnötiger Programmierarbeit werden bei Dozenten und Wissenschaftlern Ressourcen frei, die effektiver für eine Intensivierung der Wirkungsforschung genutzt werden sollten.

Das weltweit bekannteste Beispiel für Synergieeffekte bei der Zusammenführung vorheriger Einzelprojekte ist die Entwicklung des Comprehensive Unified Physics Learning Environment (CUPLE) aus den USA (Wilson 1992). In die CUPLE-Toolbox sind die Entwicklungen sehr vieler Gruppen an amerikanischen Universitäten eingebunden, die auf dem Feld der Multimedia bereits vorher erfolgreich tätig waren. Inzwischen strahlt CUPLE international aus. Viele der Ideen und manche der Materialien, die in unsere Bremer Multimedia-Toolbox eingeflossen sind, stammen aus dem Umfeld des CUPLE-Projekts.

2 Medien: Die Multimedia-Toolbox

Unter einer Multimedia-Toolbox verstehen wir die Vernetzung kontextfreier Werkzeuge zur Datengewinnung,

Datenbearbeitung und Modellierung, die vom Nutzer flexibel für eigene Fragestellungen herangezogen werden können. Grundlage der Vernetzung ist ein einfacher Datenfluß zwischen den Werkzeugen. Dadurch wird es z.B. möglich, Meßdaten, die aus einem Experiment oder einem digitalisierten Video ermittelt wurden, in einfacher Weise mit den Vorhersagen eines auf den Vorgang abgestimmten dynamischen Modells zu vergleichen.

Gemäß dem Konzept des offenen Werkzeugkastens ist die Zusammenstellung der Werkzeuge nicht fest vorgegeben, sondern kann im Hinblick auf den physikalischen Themenbereich angepaßt werden. Neben Modellbildungsumgebungen, Meßwerterfassungssystemen oder Tabellenkalkulationsprogrammen, die nahezu über den gesamten Bereich des Grundstudiums der Experimentalphysik einsetzbar sind, gibt es auch domänenspezifische Werkzeuge, z.B. Simulationsbaukästen für die geometrische Optik oder die Mechanik. Im Folgenden wird die Zusammenstellung beschrieben, die wir für das Themengebiet Mechanik (1. Semester) verwenden:

- Meßdatenerfassung: *Bremer Interface System*
- Modellbildungsumgebung *Stella* (s. Schecker 1998)
- Tabellenkalkulation: *MatheLab*
- Videoauswertungswerkzeug: *2D_Video_QT*
- Simulationsbaukasten *Interactive Physics*

Diese konkrete Ausfüllung der Materialkategorien kann ohne Änderungen an der Gesamtkonzeption variiert werden. So verwenden wir z.B. auch andere kommerzielle Meßdatenerfassungssysteme oder Standardsoftware wie *Excel*.

2D_Video_QT

Für die Auswertung von Videos muß ein Rechner als Hardwareerweiterung über ein Digitalisierungsboard verfügen, in das die Daten von einem Videorecorder eingespielt werden. Die digitalisierten Videosequenzen werden als Softwarevideos abgespeichert und können dann mit weniger leistungsstarken Rechnern ausgewertet werden. Dazu dient *2D_Video_QT*, mit dem digitalisierte Videosequenzen von Festplatte eingelesen und wie mit einer Fernbedienung abgespielt werden. Über das Videofenster wird von *2D_Video_QT* ein Koordinatensystem gelegt, in dem man per Mausclick in jedem Einzelbild die Position eines Körpers markiert. Die Daten werden automatisch im Hintergrund in eine Datentabelle (z.B. für *MatheLab*) eingetragen.

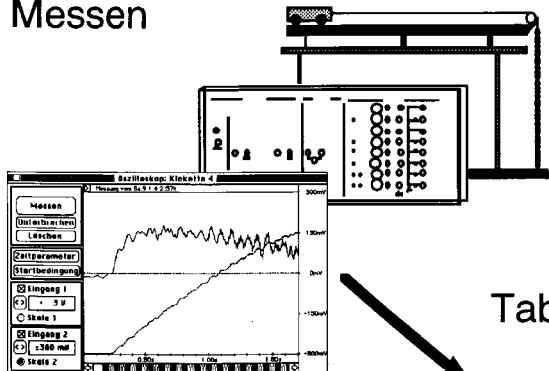
MatheLab

MatheLab ist ein speziell für mathematisch-naturwissenschaftliche Zwecke entworfenes Tabellenkalkulations- und Grafikprogramm. Es geht in seinen Möglichkeiten zur interaktiven, mausgesteuerten Grafikerstellung und -auswertung sowie den angebotenen Funktionen über Spreadsheets wie *Excel* hinaus. *MatheLab* hat im Werkzeugkasten die zentrale Funktion einer Datenschnittstelle. *MatheLab* kann von allen anderen Modulen Daten importieren und vergleichend gegenüberstellen, z.B. um zu überprüfen, ob ein mit *Stella* erstelltes Modell in seinen Vorhersagen mit einer Messung oder einer *2D_Video_QT*-Auswertung übereinstimmt.

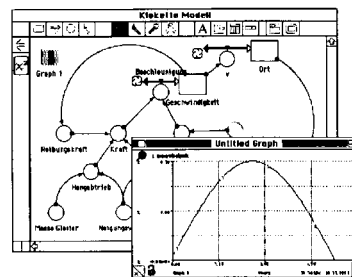
Stella

Stella ist ein grafikorientiertes Modellbildungssystem, das auf dem systemdynamischen Ansatz beruht. Es dient der Formulierung und numerischen Lösung von

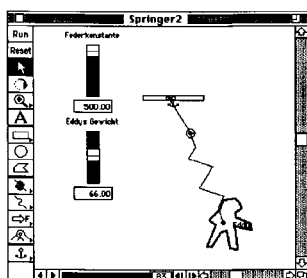
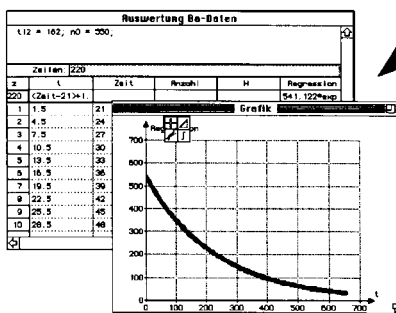
BREMER INTERFACE
Messen



STELLA
Modellieren



MATHELAB
Tabellenkalkulation
Grafik



INTERACTIVE PHYSICS
Simulieren

2D_VIDEO
Koordinaten erfassen

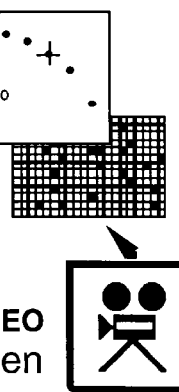


Abb. 1: Komponenten der Mechanik-Toolbox

(Differenzen-) Gleichungssystemen. Mit seiner Hilfe kann die Beschreibung komplexer Vorgänge anschaulich in grafisch repräsentierten Begriffsnetzen entwickelt und dann schrittweise quantifiziert werden. Dafür sind keine Programmiersprachenkenntnisse erforderlich. Das Modell kann in Simulationsläufen getestet werden. Für die Datenausgabe stehen Diagramme und Tabellen zur Verfügung.

Interactive Physics

Interactive Physics ist ein Baukasten für Simulationen zweidimensionaler Bewegungsvorgänge. Für die Konstruktion der Simulationswelt greift man auf eine Auswahl von Quadern, Federn, Dämpfungsgliedern, Kugeln usw. zurück, die mit physikalischen Parametern (Masse, Geschwindigkeit usw.) versehen werden. Der Nutzer arbeitet ohne Programmiersprache vollständig objektorientiert mit Maus- und Menüsteuerung – ähnlich wie bei einem Grafikprogramm. Die so erstellten Simulationen werden animiert und können als Softwarevideo abgespeichert werden. Die Simulationsergebnisse lassen sich an *MatheLab* exportieren.

Bremer Interface System

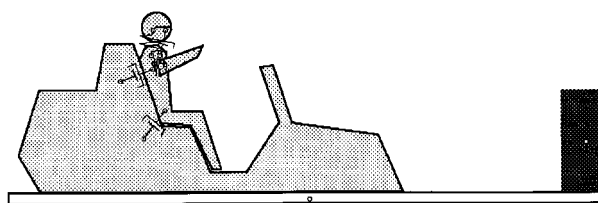
Das *Bremer Interface System* besteht aus einem Hardwaremodul mit analogen und digitalen Eingängen, an denen Spannungen sowie Digitalsignale gemessen werden. Es ist für den direkten Anschluß von Standardmeßwandlern wie Lichtschranken oder Geiger-Müller-Zählrohre vorbereitet. Das Interface verfügt über die

Funktionen Speicheroszilloskop, Stoppuhr und Digitalzähler. Die Ergebnisse werden in Grafiken und Tabellen dargestellt und mausunterstützt interaktiv ausgewertet. Die erhobenen Daten können an Tabellenkalkulationssysteme exportiert werden.

3 Beispiele

3.1 Car Crash: Simulation mit Interactive Physics

In Abbildung 2 wird mit *Interactive Physics* der Aufprall eines Autoscooters gegen eine feste Barriere simuliert. Die beteiligten Körper Fahrbahn, Scooter, Dummy (mit Korpus, Kopf und Arm) sowie Bande wurden als Polygonzüge, Kreise oder Rechtecke gezeichnet und menügesteuert mit physikalischen Eigenschaften versehen (Masse, Elastizität, Anfangsgeschwindigkeit). Zur Simulation der Funktion von Sicherheitsgurten ist der Korpus mit Dämpfungsgliedern an das Chassis des Scooters gekoppelt. Das Dämpfungsverhalten und die Dämp-



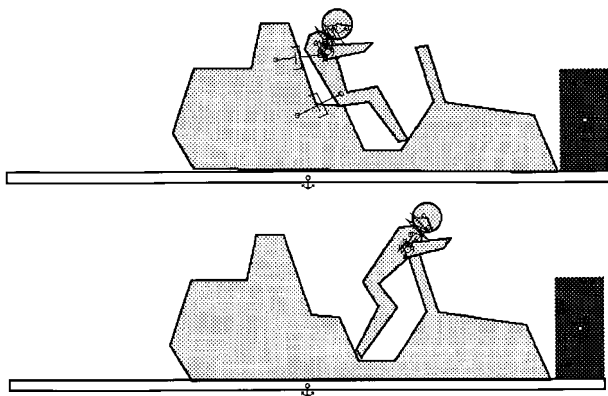


Abb. 2a-2c: Simulation des Aufpralls eines Autoscooters auf eine Barriere (mit und ohne Sicherheitsgurt); erstellt mit dem Simulationsbaukasten *Interactive Physics*.

funktionskonstanten sind einstellbar. Der Kopf des Dummys ist mit einer Feder plus Dämpfungsglied an den Korpus gebunden. Die animierte Simulation ist besonders im Vergleich zum Ergebnis ohne Gurt interessant. Die simulierten „Meßdaten“, z.B. die auftretenden Beschleunigungen, können als Diagramme eingeblendet werden. Die Wahl geeigneter Parameter für die Simulation erfordert einigen Aufwand, und natürlich sind die gewählten Werte noch weit vom Anspruch entfernt, einen realen Crash nachzubilden – dennoch kann daran das Grundprinzip des Sicherheitsgurtes verdeutlicht werden, nämlich die Impulsänderung auf ein möglichst großes Zeitintervall zu verteilen, um die auftretenden belastenden Kräfte gering zu halten. Wenn man den Vorgang im Labor mit einem Modellexperiment nachbildet, können mit dem Interface während der Aufprallphase Kraftdaten gemessen werden, um den Sachverhalt auch aus der experimentellen Perspektive zu beleuchten.

3.2 Durchgang eines Meteors durch die Erdatmosphäre

Abbildung 3 zeigt die grafische Ebene eines *Stella*-Modells, mit dem man den Bewegung von Meteoren durch die Erdatmosphäre unter vereinfachenden Annahmen simulieren kann. Das begriffliche Modell veranschaulicht die qualitativen Zusammenhänge zwischen den zu berücksichtigenden physikalischen Größen. Aus Platzgründen kann hier die Symbolik nicht im einzelnen erläutert werden. Einige wichtige Zusammenhänge sollen aber benannt werden. Der Meteor fliegt mit hoher Geschwindigkeit auf die Erde zu und tritt in die dünne Lufthülle der Erde ein (ca. 70km Höhe). Die Geschwindigkeit „v“ nimmt aufgrund einer (negativen) Bremsbeschleunigung ab, und die jeweilige Annäherungsgeschwindigkeit verringert die Höhe über dem Erdboden. Der Pfeil von Höhe zur Luftdichte weist auf den funktionalen Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen hin. Die Luftdichte geht als wesentlicher Parameter in die Reibungskraft ein, welche letztlich die Bremsbeschleunigung verursacht. Über die Querschnittsfläche und die Materialdichte kann man verschiedene Größen und Typen von Meteoren nachbilden.

Nach Festlegung der qualitativen Zusammenhänge wird das Modell quantifiziert. Durch einfaches Anklicken der

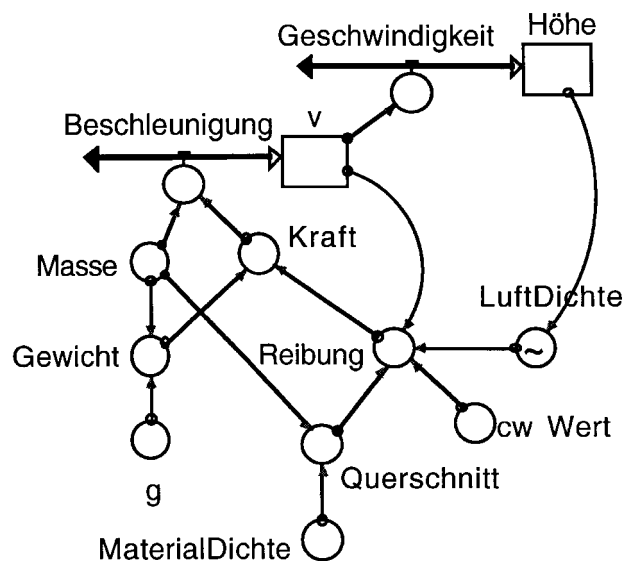


Abb. 3: Modell zur Bewegung eines Meteors durch die Lufthülle der Erde; entworfen mit dem Modellbildungsprogramm *Stella*.

einzelnen Größen lassen sich funktionale Beziehungen und Konstanten eingeben sowie die Differenzgleichungen mit Anfangswerten versehen. Man legt dann die Zeitparameter für den Simulationslauf fest, wählt eines der vorgeschlagenen numerischen Verfahren und läßt das Modell durchrechnen. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis für einen mittleren Steinmeteor und einen größeren Eisenmeteor.

Bremsbeschleunigung
in g

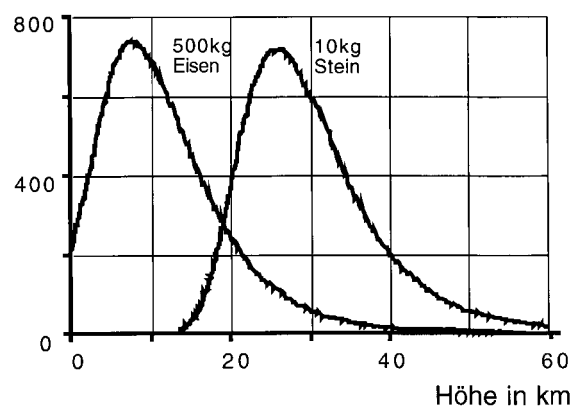


Abb. 4: Simulationsergebnis für zwei unterschiedliche Meteore.

Extremwerte vom Hundertfachen der Erdbeschleunigung g deuten auf zeitweise enorm hohe Reibungskräfte hin, die zum Verglühen führen können. Der Kurvenverlauf ergibt sich aus der Überlagerung zweier Effekte: Zu Beginn erfährt der Meteor aufgrund seiner hohen Geschwindigkeit sehr hohe Bremskräfte. Dadurch sinkt die Geschwindigkeit, und die Bremskräfte gehen trotz zunehmender Luftdichte zurück. Bei leichteren bzw. weniger dichten Meteoren erreicht die Bremsbeschleunigung früher hohe Werte als bei schweren. Kleine Meteore werden bereits in großen Höhen auf geringe Geschwindigkeiten verzögert. Sie fallen wie Steine herab und graben sich, falls sie nicht vorher verglüht sind, beim Aufprall nur wenig in die Erdoberfläche ein. Schwere,