Entwurf und Realisierung eines virtuellen Labors zum Studium von 3-dimensionalen Rotations- und Translationsbewegungen

Jürgen Friedrich,
KTU Trabzon (Türkei)

Der vorliegende Beitrag stellt ein Computerlernprogramm zum Studium von 3-dimensionalen Rotations- und Translationsbewegungen vor. Das Ziel dieses Lernprogramms ist, das Erlernen, Aufstellen und/oder Verstehen von Transformationsgleichungen, etwa bei Erdrotationsbewegungen, bei Kreiselmethoden, in der mathematischen Geodäsie, in der Photogrammetrie, in der Satellitengeodäsie oder bei der Trägheitsnavigation.

1 Einleitung

Die zunehmende Anzahl und Komplexität von naturwissenschaftlichen Sachthemen und Anwendungen lässt sich mit konventionellen Ausbildungsmethoden aufgrund der relativ hohen finanziellen, personellen und zeitlichen Kosten immer weniger bewältigen, so dass computerunterstützter Unterricht für das Selbststudium oder in der Gruppe immer attraktiver wird (PASSERINI und GRANGER 2000). Dieser Trend ist durch die rasante Weiterentwicklung im Bereich der Computernetzwerke und insbesondere des World Wide Web noch verstärkt worden, wobei Technologien wie z. B. digitale Bibliotheken oder Videokonferenzen für die computerunterstützte Ausbildung besonders wichtig sind. So sind mittlerweile auch in Deutschland die ersten Projekte zum Aufbau von virtuellen Klassenzimmern und Universitäten angelaufen (z. B. http://www.netucate.com).

Doch Vorsicht ist geboten, weil computerunterstützter Unterricht nicht zwangsläufig besser und effizienter als herkömmlicher Unterricht ist. Das liegt zum einen an den Kinderkrankheiten, mit denen jede technische Neuerung zu kämpfen hat. Zum anderen klafft oft eine große Lücke zwischen dem theoretischen Anspruch solcher Systeme und ihrem tatsächlichen Gebrauchswert. Das liegt i. d. R. an unzureichender Hardware (z. B. mangelnde Bandbreite) und/oder einer falschen bzw. mangelhaften Lernstrategie und -struktur des Computersystems, die nicht im Einklang stehen mit allgemein anerkannten Erkenntnissen der Lernpsychologie. Der zuletzt genannte Aspekt berührt das Hauptthema des vorliegenden Beitrages. Er versucht u. a. die folgenden Fragen zu beantworten: „Wie funktioniert effizientes Lernen bei einem Menschen?“ und „Wie können vorhandene Lernprinzipien am besten in einem Computerlernprogramm umgesetzt werden?“.

2 Lernpsychologische Grundlagen und Prinzipien

Obwohl in der Lernpsychologie keine Einigkeit darüber besteht, wie der Lernprozess beim Menschen im Detail abläuft, so stimmen die verschiedenen Richtungen doch der folgenden grundsätzlichen Definition zu (HILL 1980): Lernen ist die Anpassung und Veränderung von bestehenden Erkenntnis- und Verhaltensmustern eines Menschen, wodurch seine persönliche Einstellung, Wissensstand und Leistungsfähigkeit beeinflusst wird. Der Lernprozess ist äußerst komplex, und es existieren verschiedene Theorien zu seiner Erklärung, wobei es bislang keine psychologische Theorie gibt, die alle bekannten Tatsachen des Lernens zufriedenstellend erklärt. Die bedeutendsten Theorien sind der Behaviorismus (vom engl. Behavior oder zu dt. Verhalten), die Gestaltpsychologie und daraus abgeleitete kognitive Theorien.

Der Behaviorismus mit seinen bekanntesten Vertretern J. B. WATSON (1878–1958), I. P. PAVLOV (1849–1936) und B. F. SKINNER (1904–1990) verwirft die Methode der Selbstbetrachtung und der Übertragung eigener Erlebnisse auf andere

Menschen, sondern geht von dem beobachtbaren menschlichen Verhalten unter verschiedenen Umweltbedingungen aus. Dabei spielen die Grundelemente Reiz (als Input) und Reaktion (als Output) eine herausragende Rolle, deren Zusammenspiel analysiert wird, um vorhandene Verhaltensgesetze im Menschen zu finden. Diese Reiz-Reaktions-(R-R)Verbindungen sind dagegen der Gestaltpsychologie, durch K. KOFFKA (1886–1941), W. KÖHLER (1887–1967) und M. WERTHEIMER (1880–1943) begonnen, nicht ausreichend, weil dadurch der menschlichen Persönlichkeit mit der Fähigkeit zur u. a. Bewertung und Beurteilung nicht genügend Beachtung geschenkt wird. Deshalb liegen der Gestaltpsychologie Reiz-Organismus-Reaktions-(R-O-R) Verbindungen zugrunde. Dabei wird der Organismus Mensch durch die Introspektion oder andere Methoden untersucht, die versuchen, die inneren Gesetze und Funktionsweisen des Menschen, seine persönlichen Empfindungen, Gefühle, Triebe, Motivation, Beurteilungen, Entscheidungen etc., deren Abhängigkeiten und Zusammenspiel herauszufinden. Aus der Gestaltpsychologie entwickelten sich kognitive Theorien, die in den letzten drei Jahrzehnten immer wichtiger wurden, so dass sie heute die allgemein anerkannte Grundlage der modernen Lernpsychologie bilden. Dabei wird der Lernende als aktiver Informationsverarbeiter und Problemlöser gesehen, der sein Wissen, Verstehen und Können bewusst konstruiert und zielgerichtet anwenden kann. Nach AEBLI (1981, 1987) lässt sich die Art des Wissens aufteilen in deklaratives (statisches) Wissen und prozedurales Wissen (Handlungswissen), wie es Abb. 1 veranschaulicht.

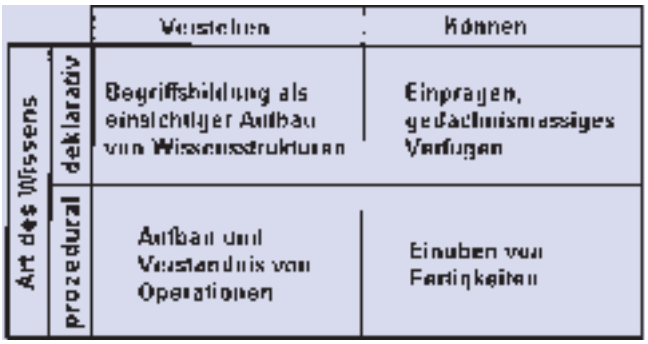


Abb. 1: Die Dimensionen des Lernens

Die Ergebnisse der verschiedenen psychologischen Theorien in Bezug auf das Erlernen von Sachthemen durch Vertiefung von deklarativem und prozeduralem Wissen können mit den folgenden Lernprinzipien LP01 bis LP10 weitestgehend zusammengefasst werden, wobei diese Liste keinen Anspruch auf hundertprozentige Vollständigkeit erhebt und sich einzelne Punkte durchaus überschneiden können.

LP01) Eine bestimmte Reiz-Rektions Verbindung findet häufiger und stärker statt, falls sie zum Erfolg führt, was u. a. die Grundlage der Versuch-und-Fehler- (engl. trial-and-error) Lernmethode ist.

LP02) Eine bestimmte Reiz-Reaktions-Verbindung kann sich nur durchsetzen, falls ausreichend genügend Versuche und Erfahrungen gesammelt werden. D. h. statistisch gesehen muss die Anzahl und Art der Versuche ausreichend sein, um gemäß der Fehlerwahrscheinlichkeit überhaupt zu einem Erfolg zu kommen.

LP03) Eine bestimmte Reiz-Reaktions-Verbindung kann sich nur durchsetzen, falls neben Versuchserfahrungen hinreichendes Wissen vorhanden ist, die Versuchsergebnisse analysieren und beurteilen zu können. D. h. Theorie und Praxis sollten in einem Lernprozess im Einklang stehen und sich harmonisch ergänzen.

LP04) Jeder Schritt in einem Lernprozess sollte entsprechend kurz sein und auf dem vorher Gelernten aufbauen. Ein zu großer Schritt wirkt motivationshemmend und birgt die Gefahr in sich, den Lernprozess zu schädigen.

LP05) Unmittelbare Bewertungen (engl. immediate feedback) von Lernleistungen sollten sofort erfolgen, weil sich die Motivation erhöht, wenn der Lernende laufend über seine Fortschritte im Bilde gehalten wird.

LP06) Am Anfang eines Lernprozesses sollte jeder Lernerfolg unmittelbar und ausreichend belohnt und danach durch einen kontrollierten Arbeitsplan mit sofortigen und/oder zufälligen Belohnungen gesteuert werden. Zufällige Belohnungen sprechen den Spieltrieb eines Menschen an und steigern seine Aufmerksamkeit und Motivation.

LP07) Ein Lernprozess sollte Möglichkeiten erhalten, andere Lösungen und alternative Lösungswege bzw. -methoden zu entdecken (engl. discovery learning), was die Neugier und den Entdeckungstrieb eines Menschen herausfordert und ebenfalls motivationssteigernd wirkt.

LP08) Ein Lernprozess läuft erfolgreicher ab, wenn der Lernende sich mit dem Sachthema interaktiv wie in einer Laborumgebung auseinander setzt, was bei weitem effektiver ist als das passive Aufnehmen von Sachthemen (engl. learning by doing).

LP09) Effektives Lernen funktioniert besser im Rahmen von konkreten Problemlösesituationen mit einem gewissen Maß an Anleitung und Führung.

LP10) Ein Lernprozess läuft erfolgreicher ab, wenn er in einer sinnvollen Struktur organisiert ist, die neue Lernerfahrungen und -erkenntnisse fördert.

3 Entwurf und Realisierung eines virtuellen Labors

3.1 Grundsätzliche Designfragen und -entscheidungen

In diesem Kapitel wird die Umsetzung der Lernprinzipien LP01 bis LP10 in ein virtuelles Labor zum Studium von 3-dimensionalen Rotations- und Translationsbewegungen beschrieben, wobei angestrebt wird, alle Prinzipien optimal zu verwirklichen. Es ist offensichtlich, dass eine solche Optimierungsaufgabe mehr als eine Lösung besitzt. Welche am Anfang umgesetzt wird, liegt zunächst im Ermessen des Programmdesigners, weil Softwareher-

stellung u. a. eine Verquickung von technischen und persönlich künstlerischen Anteilen ist. Im Laufe der Zeit sollte sich aber diejenige Lösung durchsetzen, die qualitativ am besten ist (wenigstens in der Theorie), weil sie bei den Endbenutzern am meisten Anklang findet. Daneben gilt es, allgemeine Kriterien von Computerprogrammen wie Genauigkeit, Robustheit, Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf zu beachten.

Der Entwurf eines virtuellen Labors unterscheidet sich am Anfang in keiner Weise von dem eines anderen Programmtyps. Das heißt, der Programmdesigner greift auf die Elemente, Methoden und Werkzeuge zurück, die sich allgemein im Softwarebereich durchgesetzt und bewährt haben. Dazu zählen insbesondere fertig benutzbare Datenbank-, Grafik- und Programmmodule, die nach dem Baukastenprinzip zusammengesetzt werden. Der objektorientierte Ansatz eignet sich besonders gut dazu (FRIEDRICH 1999). Wie die einzelnen Teile zusammengesteckt werden, hängt sehr von der Zielsetzung ab. Es ist zwingend erforderlich, dass ein Computerlernprogramm sehr viel Wert auf Klarheit und Übersichtlichkeit legen sollte, weil die Benutzer oft Computeranfänger sind.

Das Streben nach Klarheit und Übersichtlichkeit hatte in dieser Arbeit oberste Priorität. Wie können diese beiden Kriterien praktisch erfüllt werden? Nach den Erfahrungen des Autors eignet sich ein Laschensystem sehr gut dazu (siehe Abb. 2), weil sich dadurch ein Programm sehr einfach in seine wichtigsten Bestandteile gliedern lässt und weil sich die Gesamtbildschirmfläche jeweils um die Anzahl der Laschen vermehrt, so dass der Benutzer nicht von zu vielen Bildschirmelementen wie z. B. Boxen, Feldern und Schaltern verwirrt wird. Die Positionierung und Farbgebung dieser Elemente wurde dabei so gewählt, das die wichtigsten Teile immer auf der linken Bildschirmhälfte mit unterschiedlichem Farbhintergrund erscheinen.

Der zentrale Bestandteil des virtuellen Labors ist die Aufgabendatenbank oder kürzer Aufgaben-DB, die individuell anpassbar ist und die beiden anderen Programmteile Grafikfenster und Leistungsstatistik steuert. Die genaue Vorgehensweise wird im nächsten Abschnitt erläutert. Ein solcher Ansatz ist bislang in naturwissenschaftlichen Computerlernprogrammen nach Informationen des Autors kaum zu finden. Eine tabellarische Auflistung dieser Programme befindet sich in FRIEDRICH (1999).

3.2 Funktionsweise des virtuellen Labors

Das hier vorgestellte virtuelle Labor funktioniert wie folgt.

1) In Aufgaben-DB eine neue Aufgabe lesen
2) In Grafikfenster diese Aufgabe ausführen
3) In Aufgaben-DB die gefundene Lösung testen
4) Falls die Lösung richtig war, wird diese bewertet und in der Leistungsstatistik angezeigt, und es geht mit Schritt 1) weiter zur nächsten Frage, usw.
5) Falls die gefundene Lösung falsch war, geht es wieder zurück zu Schritt 2), usw.

Eine solche Funktionsweise eignet sich sehr gut, alle Lernprinzipien LP01 bis LP10 zu realisieren. Die Aufgabendatenbank kontrolliert die im Grafikfenster vom Benutzer gefundenen Lösungen und zeigt die Ergebnisse in der Leistungsstatistik an. LP01 bis LP04 werden durch das Laschensystem in Kombination mit Aufgabendatenbank und Grafikfenster verwirklicht. LP05 und LP06 werden durch die Aufgabendatenbank und Leistungsstatistik realisiert. Das Grafikfenster erlaubt das Auffinden von alternativen Lösungswegen (LP07). Das Laschensystem ermöglicht genügend Interaktivität (LP08). Der Lernstoff lässt sich mit Hilfe der Aufgabendatenbank in konkreten Problemlösesituationen mit zielgerichteter Anleitung, Führung und Struktur organisieren (LP09 und LP10).



Abb. 2: Das Laschensystem des virtuellen Labors

3.3 Inhalte der Aufgabendatenbank und des Grafikfensters

Die Aufgabendatenbank ist das Kernstück des hier vorgestellten virtuellen Labors zum Studium von 3-dimensionalen Rotations- und Translationsbewegungen. Ihr Inhalt wurde so strukturiert, dass ein Benutzer von einfachen zu den komplizierteren Lernthemen geführt wird. Außerdem soll direkt bei der ersten Aufgabe der Umgang mit dem Lernprogramm eingeübt werden. Dazu sind Rotationen besser geeignet als Translationen. Deshalb wurde der Inhalt der Aufgabendatenbank in die folgenden vier Lernbereiche organisiert.

1) Rotationsbewegungen,
2) Licht und Schatten von Gegenständen,
3) Translationsbewegungen und
4) Rotations- und Translationsbewegungen.

Zudem besitzt die Aufgabendatenbank keine Begrenzung. D. h. der Benutzer kann nach Belieben Lernbereiche und Aufgaben selber hinzufügen und verändern, was für einen Benutzer wichtig ist, der das Lernprogramm zum Unterrichten verwenden möchte.

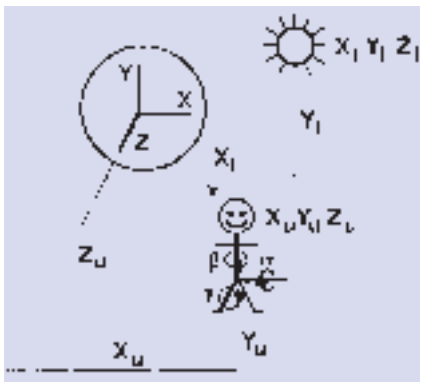


Abb. 3: Koordinatensystem des virtuellen Labors mit Planet im Zentrum, Lichtquelle und Beobachter

Allen Aufgaben dient Abbildung 3 als Grundlage, wobei ein Planet unseres Sonnensystems im Zentrum des verwendeten Koordinatensystems liegt. Ein Beobachter kann

Translationsbewegungen über die Koordinaten (X_u, Y_u, Z_u) und Rotationsbewegungen um die Systemachsen mit den Winkeln (α, β, γ) ausführen, während die rotationssymmetrische Lichtquelle translatorisch über die Koordinaten (X_l, Y_l, Z_l) bewegt werden kann.

Somit stehen dem Programmbenutzer neun Parameter (X_u, Y_u, Z_u, α, β, γ, X_l, Y_l, Z_l) zur Verfügung, die im Grafikfenster über Schieberegler und Up-Down-Buttons einstellbar sind. Daneben lassen sich im Grafikfenster u. a. der Name und die Rotationsgeschwindigkeit des Planeten sowie die Farbe seines Hintergrundes und des reflektierten Lichtes verändern.

3.4 Realisierung des virtuellen Labors

Nach dem Abschluss der Entwurfsphase konnte das virtuelle Labor realisiert werden. Die gesamte Entwicklungszeit bis zur ersten vollständigen Version betrug für einen Programmierer ca. sechs Monate. Das Endprodukt wurde „Planet Explorer“ genannt und kann von http://members.xoom.com/bsttc/dload/PlanetExplorer.zip (3.3 MB) kopiert werden. Mittlerweile wurde es in verschiedenen Unterrichtsumgebungen eingesetzt und laufend verbessert.

4 Schlussfolgerungen

Dieser Beitrag hatte zum Ziel, den Entwurf und die Realisierung eines virtuellen Labors zum Studium von 3-dimensionalen Rotations- und Tranlationsbewegungen zu beschreiben. Dabei wurde besonderes Gewicht auf die Klarheit und Übersichtlichkeit durch die Verwendung eines Laschensystems gelegt. Lernpsychologische Prinzipien konnten in einer entsprechend ausgelegten Aufgabendatenbank verwirklicht werden. Die bisher gemachten Erfahrungen sind ermutigend, so dass Computerlernprogramme nach gleichem Muster für andere naturwissenschaftliche Themenbereiche in der Planung sind.

Literatur

AEBLI, H.: Grundformen des Lehrens. Eine allgemeine Didaktik auf kognitionspsychologischer Grundlage, Klett Verlag Stuttgart 1981

AEBLI, H.: Grundlagen des Lehrens, Klett Verlag Stuttgart 1987

FRIEDRICH, J.: Object-oriented design and implementation of CFDLab: a computer-assisted learning tool for fluid dynamics using dual reprocity boundary element methodology, Computers & Geosciences Vol. 27, No. 7, S. 785–800, 1999

HILL, W. F.: Learning: A Survey of Psychological Interpretations, 3rd ed. Methuen Publ. London 1980

PASSERINI, K. und M. J. GRANGER: A development model for distance learning using the Internet, Computers & Education No. 34, S. 1–15, 2000

Anschrift des Verfassers:
JÜRGEN FRIEDRICH, KTU Trabzon (Türkei), Department of Geodesy and Photogrammetry, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey, Tel./Fax: +90-462-3257977, E-Mail: jafriedrich@yahoo.de

Zusammenfassung

Computerlernprogramme können das computerunterstützte Studium von Sachthemen durch die Realisierung von virtuellen Laborumgebungen ermöglichen. Dabei besteht oft eine große Diskrepanz zwischen Anspruch und dem wirklichen Gebrauchswert. Deshalb ist große Sorgfalt bei Entwurf und Realisierung von solchen Programmen erforderlich, wie sie der vorliegende Beitrag an einem Computerlernprogramm zum Studium von 3-dimensionalen Rotations- und Translationsbewegungen veranschaulicht. Das Ziel dieses Lernprogrammes ist, das Erlernen, Aufstellen und/oder Verstehen von Transformationsgleichungen in den folgenden Gebieten zu unterstützen: Erdrotationsbewegungen, Kreiselmethoden, mathematische Geodäsie, Photogrammetrie, Satellitengeodäsie und Trägheitsnavigation. Nach einer kurzen Einführung in die Grundlagen der Lernpsychologie und -prinzipien werden diese dazu benutzt, ein virtuelles Labor zu entwerfen und zu verwirklichen, dessen Kernbestandteil eine individuell anpassbare Aufgabendatenbank ist. Ein solcher Ansatz ist bislang in naturwissenschaftlichen Computerlernprogrammen kaum verwirklicht worden.

A. J. Brandenberger:

Das abenteuerliche Leben eines Ingenieur-Geometers

Quebec, Villmergen 2000,
101 Seiten, Fr. 20.–

Lebenslauf eines schweizerischen Vermessungsingenieurs, der den grössten Teil seines Lebens im Ausland verbrachte, so nennt der Autor seine Memoiren im Untertitel. 1916 in St. Gallen geboren, studierte Arthur J. Brandenberger Vermessungsingenieur an der ETH Zürich und kam früh zu Auslandseinsätzen. Ab 1950 hatte er Professuren in der Türkei, den USA und Kanada inne. Für UNO-Erhebungen bereiste er praktisch alle Länder der Erde und leitete Forschungsprojekte zum Südpol und im Norden Kanadas. Brandenberger erzählt die Stationen seines Lebens spannend und bildhaft mit zahlreichen Anekdoten, Episoden und Bezügen zur Weltgeschichte. Der Buchtitel verspricht nicht zuviel: das abenteuerliche Leben des „Principal Consultant of the United Nations for World Cartography“ kann zur Lektüre empfohlen werden.

Bezug:
Sigwerb AG, Dorfmattenstrasse 26,
CH-5612 Villmergen,
Fax: 0041 56 619 52 50
E-Mail: verlag@vpk.ch

Th. Glatthard