

Robotikbaukästen als Lernumgebung in der universitären Informatikausbildung – ein Erfahrungsbericht

Birgit Koch
Universität Hamburg

Zusammenfassung

Um den sich ständig wandelnden inhaltlichen Ansprüchen des Informatik-Studiums gerecht zu werden, werden neue Lehr- und Lernszenarien eingesetzt, mit denen vielfältiges Wissen und Methodenkompetenz vermittelt, praktische Fähigkeiten und Fertigkeiten entwickelt sowie Teamarbeit und Kreativität gefördert werden können. Einen viel versprechenden Ansatz bildet dabei der Einsatz von Robotikbaukästen

Dieser Beitrag stellt die am Fachbereich Informatik der Universität Hamburg eingesetzte Lernumgebung vor und beschreibt Erfahrungen, die in der Veranstaltung „Hamburger Robocup – Mobile Autonome Roboter spielen Fußball“ mit Robotikbaukästen gesammelt wurden.

1 Einleitung

Seit den späten 1970er Jahren wird am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in der „Epistemology and Learning Group“ über die Zusammenhänge zwischen Lernumgebung und erlernten Fähigkeiten geforscht. Die darauf aufbauende Idee der Robotikbaukästen geht zurück auf die Arbeiten von Seymour Papert, der die ersten Schritte in die Richtung des Einsatzes von Computern und Robotern in der Lernwelt in seinem Buch *MINDSTORMS: Children, Computers and Powerful Ideas* beschrieb (Papert 1980).

Nach über 15jähriger Entwicklung, die mit der Entwicklung der *Turtle*-Roboter und der kinderfreundlichen Programmiersprache LOGO begann, kamen 1998 die ersten LEGO® MINDSTORMS™¹ Robotikbaukästen auf den Markt. Obwohl sich das Produkt primär an Kinder und Jugendliche ab 12 Jahren richtet, zog es auch viele Erwachsene in seinen Bann. Um die LEGO MINDSTORMS-Robotikbaukästen herum bildeten sich aktive und erfindungsreiche Online-Gruppen, die unter anderem alternative Programmierumgebungen und fortgeschrittene Bautechniken entwickelten. Inzwischen sind auch andere Entwicklungen auf dem Markt, wie zum Beispiel der Robotikbaukasten der Firma Fischertechnik oder den Roboterbaukasten Tetriss, eine Art Metallbaukasten der Firma Wonderbits.

In dieser Arbeit stellen wir die von uns benutzten Robotikbaukästen und Programmierumgebungen vor und berichten über unsere Erfahrungen mit Robotikbaukästen als Lernumgebung anhand der Lehrveranstaltung „Hamburger Robocup: Mobile Autonome Roboter spielen Fußball“, einer Veranstaltung des Fachbereiches Informatik der Universität Hamburg. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick auf zukünftige Arbeiten.

¹ LEGO® ist ein eingetragenes Warenzeichen von The LEGO® Group. MINDSTORMS™ und Robotics Invention System™ sind Warenzeichen von The LEGO® Group.

2 Robotikbaukästen und Programmierumgebungen

Um die Bedeutung des Einsatzes von Robotikbaukästen in Universitäten zu verstehen, ist es zunächst wichtig zu wissen, woraus Robotikbaukästen bestehen und wie sie programmiert werden können. Dies soll im Folgenden exemplarisch am LEGO MINDSTORMS-Robotikbaukasten veranschaulicht werden.

Bestandteile des Robotikbaukastens sind unter anderem ein programmierbarer RCX-Baustein (Hitachi H8/3292-Microcontroller mit 16 KB ROM und 32 KB RAM), Sensoren für Licht und Berührung, Motoren, viele übliche LEGO-Steine, ein Infrarot-Sender zur Datenübertragung, die Programmierumgebung *Robotics Invention System* (RIS) und ein Konstruktionshandbuch. Der RCX-Baustein verfügt über 3 Eingänge für Sensoren, 3 Ausgänge für Motoren oder Lampen, 5 frei wählbare Programme, ein LCD-Display, 4 Steuertasten, einen Lautsprecher und eine Infrarotschnittstelle. Abbildung 1 zeigt einen RCX-Baustein mit zwei Motoren, einem Lichtsensor und zwei Berührungssensoren.

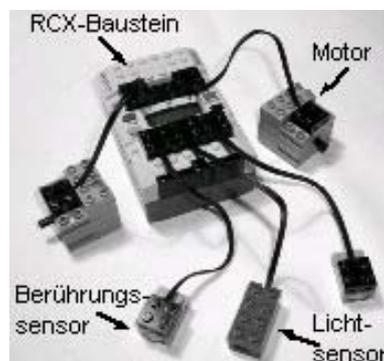


Abbildung 1: RCX-Baustein mit Sensoren und Motoren

Auf dem RCX-Baustein ist die Firmware installiert, die benötigt wird, mit dem Computer zu kommunizieren, um die Programme vom Computer auf den Roboter zu laden. Fünf einfache Programmbeispiele sind vorinstalliert, so dass der Roboter nach der relativ kurzen Konfigurationszeit sofort getestet werden kann.

Das *Robotics Invention System* (RIS) beinhaltet eine grafikbasierte Programmierumgebung, die mit „Blöcken“ arbeitet. Jeder Block steht für eine Instruktion. Die Blöcke werden bei der Programmierung in Form einer Kette per Drag and Drop aneinandergesetzt und bei der Programmausführung in der Reihenfolge der Kette abgearbeitet. Um Sensorwerte während der Programmausführung abzufragen, werden parallele Ketten benutzt. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel-Programm mit mehreren parallelen Ketten.

Neben der Software RIS, die im LEGO MINDSTORMS-Robotikbaukasten enthalten und eher für Kinder und Jugendliche gedacht ist, haben die aktiven LEGO-Online-Gruppen eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten geschaffen, damit auch fortgeschrittene Programmierer und Programmierinnen mit den Robotikbaukästen arbeiten können. Der größte Teil dieser Software ist im Internet frei verfügbar. Zu den von uns benutzten Programmierumgebungen gehören:

- *ROBOLAB*: arbeitet mit einer Form erweiterter Flussdiagramme, gestützt auf LabVIEW, und wurde speziell für den Einsatz in Schulen entwickelt
- *RCX Command Center*: mit Hilfe der Sprache *Not Quite C* (NQC), einer C-ähnlichen Sprache, werden die Programme textbasiert geschrieben (vgl. Abb. 3)

- *LEGO Java Operating System (lejos)*: eine Implementierung einer Java Virtual Machine (JVM)



Abbildung 2: Grafikbasierte Programmierungsumgebung: RIS

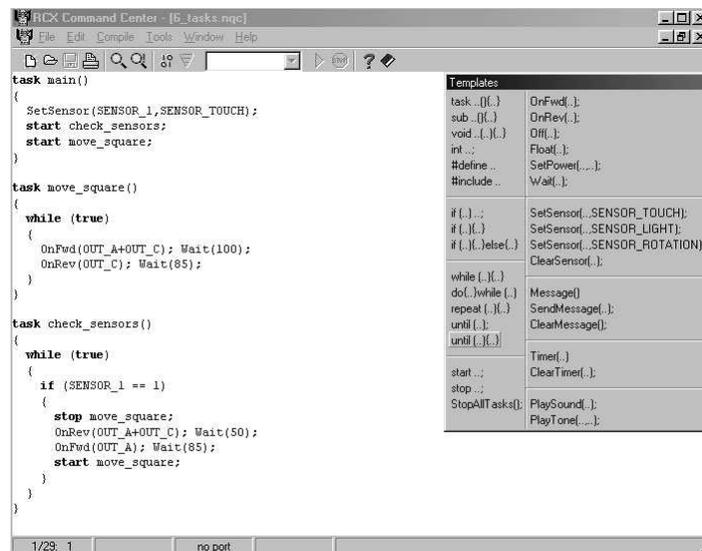


Abbildung 3: Textbasierte Programmierungsumgebung RCX Command Center mit NQC

Weitere Erweiterungen finden sich zum Beispiel in (Baum 2000; Baum et al. 2000; Erwin 2001; Knudsen & Noga 2000).

3 Erfahrungen mit der Lehrveranstaltung „Hamburger Robocup – Mobile Autonome Roboter spielen Fußball“

Während in den vergangenen Jahren der Einsatz von Robotikbaukästen in Schulen vermehrt untersucht und anerkannt wurde (vgl. Fieslake & Klein 2000; Christaller et al. 2001; Müllerburg 2001), werden diese im universitären Umfeld oft noch als Spielzeug und damit als irrelevant für die Lehre abgewertet.

Der Einsatz „echter“ Roboter in Hochschulen hat den Nachteil, dass sie sehr teuer sind, so dass sich sehr viele Studierende einen Roboter teilen müssen. Häufig hat es sich als schwierig herausgestellt, Studierende für Robotik zu interessieren und ihnen das Basiswissen zu vermitteln, die Einarbeitung in einen komplexen Roboter dauert oft Wochen bis Monate.

Um diese Probleme zu umgehen, haben wir uns entschlossen, Robotikbaukästen in der Lehre einzusetzen. Die Lehrveranstaltung "Hamburger Robocup: Mobile Autonome Roboter spielen Fußball" wird seit dem Sommersemester 2002 am Fachbereich Informatik der Universität Hamburg veranstaltet. In der Regel nehmen 10 bis 16 Studierende des Hauptstudiums mit unterschiedlichen Programmierkenntnissen an der Veranstaltung teil. Ziel dieses Projektes ist es, dass Studierende sich mit Mobilien Autonomen Robotern auseinandersetzen, um die Komplexität nichtlinearer Systeme, wie sie durch Roboter vorgegeben sind, zu entdecken und zu verstehen. Gleichzeitig sollen Fähigkeiten wie kritisches Denken, Kommunikation und Teamwork den Studierenden näher gebracht werden. Dabei übernehmen wir die Hauptidee von LEGO: „Lernen durch Spielen und Experimentieren“.

In der ersten Phase machen sich die Studierenden mit dem Robotikbaukasten vertraut. Einfache Modelle werden gebaut und getestet, das Konstruktionshandbuch wird oft zu Rate gezogen. Nach nur einer Stunde werden die ersten fahrenden Modelle präsentiert (vgl. Abbildung 4). Die Beispiel-Programme werden in dieser Phase von den Studierenden analysiert und verändert.

Nach dieser ersten Erprobungsphase kommen sie sehr schnell auf die eigentliche Aufgabenstellung zurück: einen Roboter zu konfigurieren und zu programmieren, der Fußball spielt unter Berücksichtigung der Regeln der Robocup Junior League. Dabei handelt es sich um einen Wettbewerb im nationalen und internationalen Rahmen, der mit Schülern und Schülerinnen mit Hilfe von Robotikbaukästen durchgeführt wird (vgl. Kroese et al. 2000; Lund 1999; Lund et al. 1999; Lund & Pagliarini 2000; Stone & Veleso 1998).

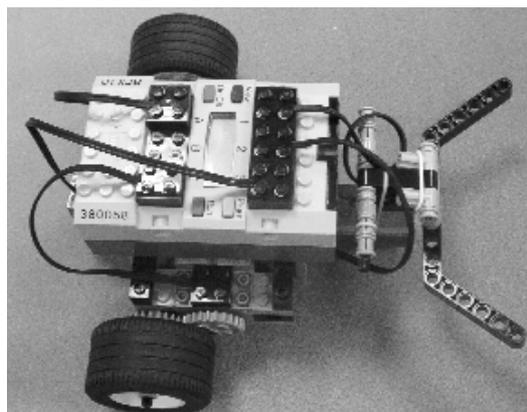


Abbildung 4: Roboter zum Fußballspielen

Die Studierenden sollen sich im Team absprechen, wie sie die gestellte Aufgabe angehen und wie sie die Rollen im Team verteilen. Dadurch wird zugleich eine gewisse Form von Projektmanagement geübt. In dieser Phase arbeiten die Studierenden überwiegend selbständig, wobei Bücher oder das Internet zu Rate gezogen werden. Die Funktion der Lehrenden beschränkt sich auf die bedarfsgerechte Beratung und Moderation.

In jeder Gruppe werden unterschiedliche Lösungsstrategien entwickelt, die den anderen Gruppen vorgestellt werden. Damit sollen die Studierenden lernen, ihre Ideen und Problemlösungen zu präsentieren und zu diskutieren.

Des Weiteren wurde die Lehrveranstaltung so konzipiert, dass die Teams zur selbständigen Arbeit an Schwerpunktthemen angeleitet werden. In so genannten Expertengruppen erarbeiten die Studierenden relevante Themen, stellen diese den anderen Studierenden vor und stehen den anderen Teams für Fragen zu ihrem erarbeiteten Thema zur Verfügung.

Ein Beispiel für die Vermittlung eines Informatikteilgebietes im Rahmen der Lehrveranstaltung ist die Modellierung der Roboter mit Hilfe der Fuzzy-Logic. Ungenaue Aussagen, die von den Studierenden im Laufe der Arbeit mit den Robotern als Problem erkannt werden, können mit Hilfe der Fuzzy-Logic präzise formuliert werden. Abbildung 5 zeigt die Roboter auf dem Spielfeld während eines Fußballspiels. Während der Arbeit mit den Robotern stellte sich heraus, dass die Roboter nicht geradeaus fahren, obwohl die Motoren mit der gleichen Leistung angesteuert werden. Die Studierenden lernen mit Hilfe linguistischer Variablen des Richtungswinkels auf dem Spielfeld, der Richtungswinkel der Räder sowie der Distanz zum gesuchten Objekt, dem Ball, die Mitgliedsgradfunktionen der linguistischen Variablen zu bestimmen und Regeln aufzustellen, die das dynamische Verhalten des fußballspielenden Roboters beschreiben.

Während der Lehrveranstaltung werden Turniere durchgeführt, in denen die einzelnen Teams ihre Roboter gegeneinander antreten lassen. Hierbei traten anfangs einige Schwierigkeiten auf (der Ball wird oft nicht gefunden, Roboter zielt auf falsches Tor, etc.). Für einige Studierende ist dies ein Anreiz, in der Freizeit weiter an den Robotern zu arbeiten oder im nächsten Semester eine weitere Veranstaltung zu besuchen. Auch Studien- und Diplomarbeiten sind aus solchen Problemen heraus entstanden.

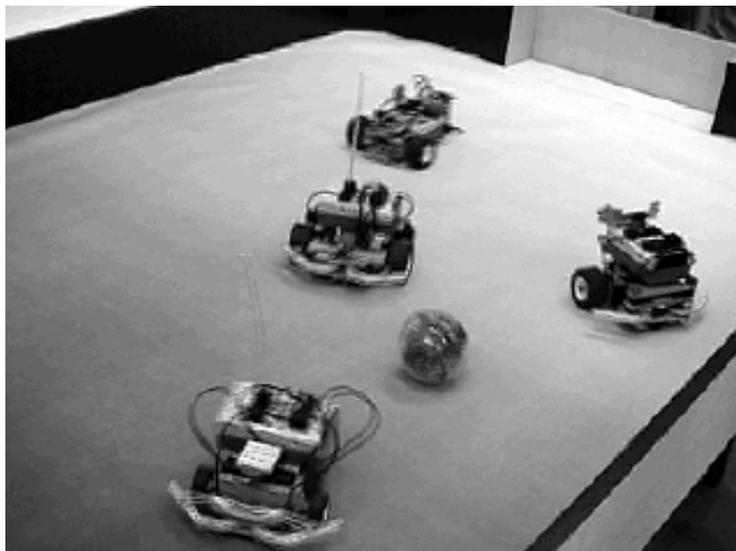


Abbildung 5: Hamburger Robocup Turnier fußballspielender Roboter

Um ein besseres Verständnis dafür zu gewinnen, wie die Studierenden die Möglichkeiten der Einführung von Robotikbaukästen in der universitären Informatikausbildung beurteilen, haben wir während der Veranstaltung mehrere Fragebögen ausgeteilt. Eine weitere Intention der Fragebögen war die Evaluation des Verständnisses und Interesses der Studierenden für Robotik per se und ihre Bereitschaft, mit interaktiven Elementen zu lernen. Zusätzlich gab es einige Fragen zur Bewertung der Lehrveranstaltung.

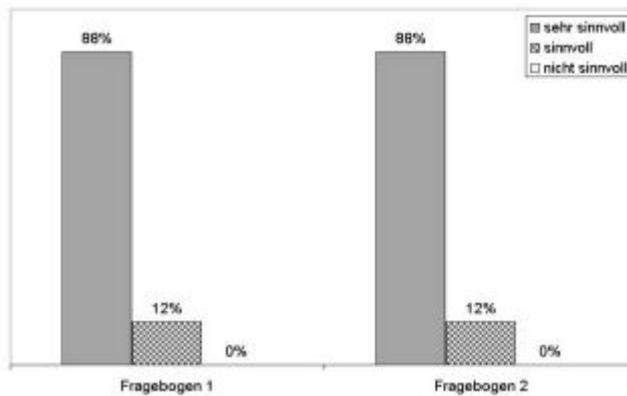
Die Auswertung der Fragebögen zeigte, dass die meisten Studierenden praktische Tätigkeiten im Unterricht favorisieren. Frühere Untersuchungen bestätigen, dass das Lernen in einer strukturierten Lernumgebung leichter fällt und der gelernte Stoff besser im Gedächtnis behalten wird (vgl. Martin 1994). Alle Studierenden waren der Meinung, dass Robotikbaukästen das Informatikstudium interessanter gestalten und auch in anderen Lehrveranstaltungen sehr hilfreich wären (Programmierung, Künstliche Intelligenz, Softwaretechnik, Bildverarbeitung, etc.). Einige gaben an, dass durch Nennung des Namens „LEGO“ in der Veranstaltungsankündigung Neugierde geweckt wurde und dass sie sich sonst nicht mit Robotik beschäftigt hätten. Überraschend war, dass bei den Studierenden das Interesse an der Robotik nach der Veranstaltung so groß war, dass sie im Anschluss daran Studien- und Diplomarbeiten zu Themen der Robotik anfertigten.

Eine andere Beobachtung zentrierte sich auf das Lernen während der Veranstaltung. Eine uns interessierende Frage war, warum die Arbeit mit Robotikbaukästen so faszinierend für die Studierenden ist. Die Antwort der Studierenden darauf: „es ist Spaß“, „es ist getarntes Lernen“ oder „es gab so viele Möglichkeiten“. Im heutigen Informatik-Studium gibt es oft nur eine richtige Antwort oder Lösung zu einer Frage oder einer Problemstellung, was nicht unbedingt der realen Welt entspricht. Während der Robotik-Veranstaltung fanden die Studierenden die Atmosphäre eines offenen Experiments vor, in der viele unterschiedliche Lösungen zu einem Problem möglich und gewünscht waren.

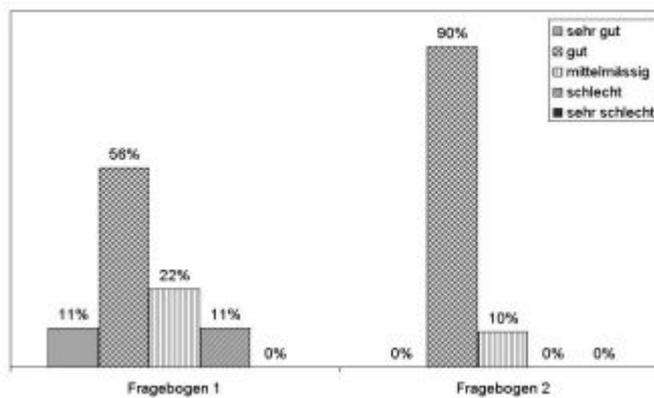
Auch hat die Veranstaltung gezeigt, dass die Studierenden durch das Experimentieren mit den Robotikbaukästen motiviert wurden, sich mit Robotik und Programmierung zu beschäftigen. Wir konnten beobachten, dass auch Studierende ohne Vorkenntnisse sich in kurzer Zeit in das System einarbeiten konnten. Dabei half ihnen neben dem spielerischen Einstieg vor allem die Projektarbeit in Gruppen, die Teamarbeit unterstützte. Hierbei war es uns wichtig, dass – bedingt durch den kostengünstigen Zugang der Roboter – kleine Gruppen gebildet werden konnten, die jeweils einen Roboterbaukasten für ihre Experimente zur Verfügung gestellt bekamen.

Abbildungen x-y präsentieren einige weitere Ergebnisse der Evaluation der Hamburger Lehrveranstaltung. Dabei bezeichnet ‚Fragebogen 1‘ die Daten der Zwischenevaluation in der Veranstaltungsmitte während ‚Fragebogen 2‘ die Daten gegen Ende der Veranstaltung wiedergibt.

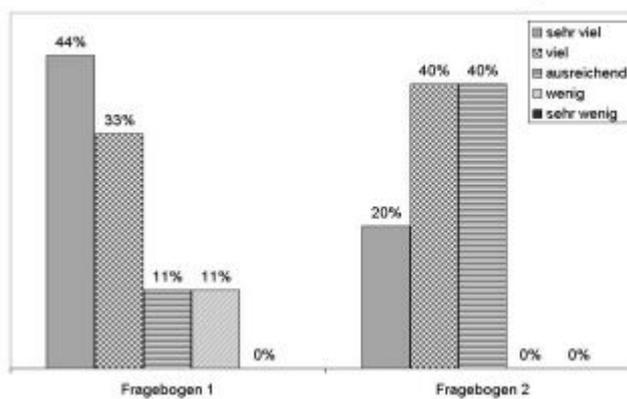
Für wie sinnvoll hältst Du den Einsatz von Robotikbaukästen in der universitären Lehre?

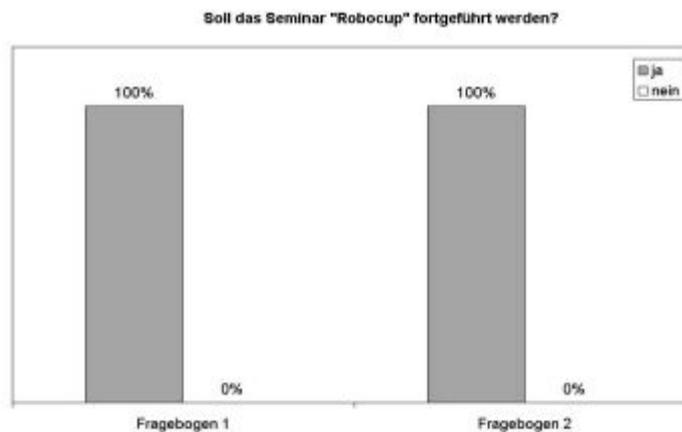
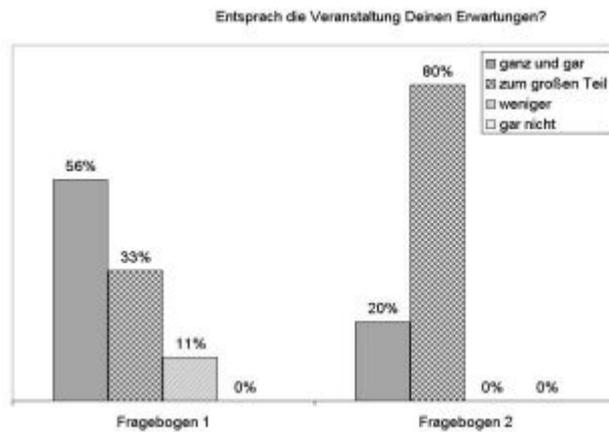


Wie bewertest Du die Struktur des Seminars (Verhältnis Theorie - Praxis)?



Wie viel Kommunikation mit Kommilitonen / Teamarbeit gab es?





4 Zusammenfassung und Ausblick

Robotikbaukästen repräsentieren eine Form eingebetteter Echtzeitsysteme. Durch ihre leichte Verfügbarkeit, gute Dokumentation, weltweiten Einsatz in Schulen und Hochschulen und einer Vielzahl an Programmierumgebungen sind sie die ideale Lernplattform für Mobile Autonome Roboter. Mit Hilfe von Robotikbaukästen kann ein sehr breites Spektrum an Themen in der universitären Informatikausbildung behandelt werden: Imperative Programmierung, Strukturierte Analyse, Programmierung paralleler Abläufe, Softwareentwicklung und Qualitätsmanagement, Reaktive Systeme, Soft-Computing, Künstliche Intelligenz, Bildverarbeitung, Rechnerarchitektur und -organisation, Betriebssysteme, Sensorik, Mathematische und physikalische Grundlagen, Multiagenten Systeme (vgl. Dudek et al. 1996), Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Braitenberg-Vehikel (vgl. Braitenberg 1993), Informatik und Gesellschaft etc. Die Faszination, die von den „künstlichen Schöpfungen“ ausgeht, ist ein starker Antrieb für die Beschäftigung mit weiterführenden Themen und Methoden (vgl. Dudek & Jenkin 2000).

Das universitäre Informatikstudium gilt häufig als theorielastig. Spannende Praktika, Projekte und Laborexperimente gibt es oft gar nicht oder erst im Hauptstudium. Die Auswertung der Lehrveranstaltung „Hamburger Robocup – Mobile Autonome Roboter spielen Fußball“ hat gezeigt, dass

neben dem starken Motivationspotential für die Studierenden besonders die Erfolgserlebnisse im Umgang mit den Robotern Lernerfolge brachten. Wenn Studierende dürfen, dann entwickeln sie im Studium Kreativität und – Beispiel Fußball spielende Roboter – sportlichen Ehrgeiz. Die Entwicklung einer eigenen Lösung zu einer Aufgabe, mit anschließendem Wettbewerb besitzt trotz – oder vielleicht gerade wegen – der möglichen Komplexität einen sehr großen Motivationsgrad und stellt für die Studierenden eine spannende Herausforderung dar.

Die Kombination von LEGO-Bauelementen und moderner Hard- und Software kann zu einem neuen Ansatz in der Informatik-Ausbildung von Studierenden führen. Durch die Arbeit mit Robotikbaukästen wird die Teamarbeit gefördert, da Gruppen von zwei bis drei Studierenden komplette Projekte abwickeln können (vgl. Jadud 1999). Auch die Möglichkeit des entdeckenden Lernens (vgl. Schulmeister 1997) ist pädagogisch interessant: in der Arbeit mit den Robotikbaukästen wird das selbständige Ermitteln von Wissen („learning by doing“) durch eigenständige Untersuchungen und Tests („exploration and construction“) und damit auch das wissenschaftliche Arbeiten gefördert. Die Studierenden setzen sich kreativ und kritisch mit möglichen Lösungen auseinander und diskutieren diese, ein Vorgehen, das für die „normale“ Arbeitswelt typisch ist.

Projektmanagement ist ein weiteres Lernziel, das die Studierenden auf ihre spätere Berufspraxis vorbereitet. Ein Projekt kann ein ganzheitlicher Entwicklungsansatz mit der Projektierung von Hard- und Software, mit der mechanischen Konstruktion und der Codierung der Software sowie dem Systemtest und der Dokumentation des Gesamtsystems sein. Dieser Ansatz lässt sich dahingehend ausbauen, dass die Erstellung von Pflichtenheften oder auch die Präsentation der Ergebnisse, auch in einer Fremdsprache, weitere Fähigkeiten der Studierenden fördern.

Didaktisch ist das Erlernen und Erfahren von Programmier- und Designmethoden im Informatikstudium wichtig. Hier lassen sich mit Hilfe der Robotikbaukästen auch neuere Softwareentwicklungs-Methoden wie z.B. das Extreme Programming – eine stark teamorientierte Arbeitsweise – einbetten.

Mit den dargestellten Möglichkeiten gilt es in weiteren Veranstaltungen zu evaluieren, inwieweit sich mit der Einführung von Robotikbaukästen die universitäre Informatikausbildung verbessern lässt und inwieweit diese Anwendungen von Lehrenden und Studierenden angenommen werden.

In unserer Lehrveranstaltung war ein geringer Frauenanteil bei den Teilnehmern auffallend: unter den 10 teilnehmenden Studierenden war nur eine Frau. Dies kann zum einen auf die Unterrepräsentation von Frauen in Informatik-Studiengängen zurückgeführt werden, zum anderen spielte gegebenenfalls auch die Aufgabenstellung eine Rolle. So scheinen Frauen eher Aufgaben aufzugreifen, in denen Roboter kooperativ zusammenarbeiten. Auch Situationen aus der alltäglichen Welt und Design-Aufgaben sprechen Frauen in Robotik-Kursen eher an. Dies werden wir in den zukünftigen Veranstaltungen berücksichtigen und überprüfen.

Literaturverzeichnis

- Baum, D. (2000): *Dave Baum's Definitive Guide To LEGO® MINDSTORMS™*. APress.
- Baum, D.; Gasperi, M.; Hempel, R.; Villa, L. (2000): *Extreme MINDSTORMS™. An Advanced Guide to LEGO® MINDSTORMS™*. Apress.
- Braitenberg, V. (1993): *Vehikel – Experimente mit kybernetischen Wesen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Christaller, T.; Indiveri, G.; Poigne, A. (Eds.) (2001): *Proceedings of the Workshop on Edutainment Robots 2000, 27th - 28th September 2000, St. Augustin, Germany, GMD Report 129, GMD-Forschungszentrum Informationstechnik GmbH*.

- Dudek, G.; Jenkin, M. (2000): *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press.
- Dudek, G.; Jenkin, M.; Milios, E.; Wilkes, D. (1996): *A taxonomy for multi-agent robotics. Autonomous Robots*.
- Erwin, B. (2001): *Creative projects with LEGO® MINDSTORMS™*. Addison-Wesley.
- Fieslake, M.; Klein, B. (2000): Trainingscamp für Astronauten – Roboter konstruieren und programmieren. In: *Unterricht – Arbeit und Technik*, Heft 6/2000, S. 16-20.
- Jadud, M. (1999): *TeamStorms as a Theory of Instruction*.
<http://www.indiana.edu/~legobots/paperspres.html>.
- Koch, B. (2003): *Einsatz von Robotikbaukästen in der universitären Informatikausbildung am Fallbeispiel „Hamburger Robocup: Mobile autonome Roboter spielen Fußball“*. Diplomarbeit, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg.
- Knudsen, J. B.; Noga, M. L. (2000): *Das inoffizielle Handbuch für LEGO® MINDSTORMS™ Roboter*. Köln: O'Reilly Verlag.
- Kroese, B.; van der Boogaard, R.; Hietbrink, N. (2000): Programming robots is fun: Robocup Jr. 2000. In: *Proceedings of the Twelfth Belgium-Netherlands AI Conference BNAIC'00*, pp 29-36.
- Lund, H.H. (1999): Robot Soccer in Education. In: *Advanced Robotics Journal*, 13:8, pp 737-752.
- Lund, H.H.; Arendt, J.A.; Fredslund, J.; Pagliarini, L. (1999): Ola: What Goes Up, Must Fall Down. In: *Journal of Artificial Life and Robotics*, 4:1.
- Lund, H.H.; Pagliarini, L. (2000): RoboCup Jr. with LEGO® MINDSTORMS™. In: *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation (ICRA2000)*, New Jersey: IEEE Press.
- Martin, F.G. (1994): *Circuits to Control: Learning Engineering by Designing LEGO Robots*. Arbeit zur Erlangung des PhD, Massachusetts Institute of Technology.
- Müllerburg, M. (Hrsg.) (2001): *Abiturientinnen mit Robotern und Informatik ins Studium, AROBIKS Workshop Sankt Augustin, Schloss Birlinghoven, 14. - 15. Dezember 2000*, GMD Report 128, GMD - Forschungszentrum Informationstechnik GmbH.
- Papert, S. (1980): *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.
- Schulmeister, R. (1997): *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme: Theorie – Didaktik – Design*. 2. Auflage. München: Oldenbourg.
- Stone, P.; Veloso, M. (1998): Towards Collaborative and Adversarial Learning: A Case Study in Robotic Soccer. In: *International Journal of Human Computer Studies*, 48.

Kontakt

Koch, Birgit
 Universität Hamburg
 Vogt-Kölln-Str. 30
 22527 Hamburg
 E-Mail koch@informatik.uni-hamburg.de