



Die Robothek

Ein Konzept zur Förderung von Physical Computing im Informatikunterricht

Michael Brinkmeier, Institut für Informatik

Moderner Informatikunterricht soll den Schülerinnen und Schülern zum einen die Möglichkeit geben verantwortungsbewusst und eigenständig mit existierenden und künftigen informatischen Systemen umzugehen. Zum anderen sollen sie in die Lage versetzt werden, die Möglichkeiten der neuen Technologie gestaltend und aktiv zu nutzen. Um diese Ziele zu erreichen muss den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gegeben werden, die unterschiedlichen Anwendungen der Informatik zu erproben und eigene Ideen realisieren zu können. Dazu gehört auch der sichere Umgang mit informatischen Standardwerkzeugen, wie z.B. Bürosoftware, Suchmaschinen und Kommunikationsdiensten wie z.B. EMail.

Von größerer Bedeutung, und der eigentliche Kern des Informatikunterrichts, sollten jedoch die Funktionsprinzipien der jeweiligen Systeme sein. Dies schließt eine Einführung in die Programmierung und verschiedene Modellierungsarten und -techniken ein. Dadurch wird den Schülern ein Eindruck von der Funktionsweise der sonst unreflektiert verwendeten Werkzeuge geben.

Während noch vor einigen Jahren die Programmierung in der Regel durch die Implementierung einfacher Algorithmen realisiert wurde, haben sich inzwischen andere Konzepte im Informatikunterricht durchgesetzt. Geeignete Entwicklungsumgebungen, wie z.B. Scratch [RMMH⁺09], Snap! [MH] oder Greenfoot [ABH⁺] bieten den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, eigene Ideen auf experimentelle und strukturierte Weise realisieren zu können. Dennoch „verlassen“ die erstellten Produkte und Lösungen den Computer nicht. Ihre Wirkung beschränkt sich auf die Manipulation digitaler Daten innerhalb des Systems. Daher werden sie häufig als rein innerinformatisch und ihre Erstellung als Spezialistenwissen wahrgenommen.

Der Einfluss der Informatik auf die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler geht jedoch deutlich weiter. In vielen Fällen werden Maschinen und technische Systeme durch programmierbare Komponenten gesteuert. Diese Anwendung informatischer Systeme wird unter dem Begriff **Physical Computing** zusammengefasst.

Bis vor wenigen Jahren erschien die Verwendung und Entwicklung solcher Systeme im Unterricht als schwer, bzw. unmöglich. Durch die Entwicklung kostengünstiger, robuster und leicht handhabbarer Systeme bietet sich inzwischen jedoch durchaus die Möglichkeit, auch diesen Aspekt der Informatik in der Schule in angemessener Weise zu behandeln.

Bisherige Erfahrungen zeigen, dass der Einsatz solcher Systeme im Unterricht sehr motivierend auf die Schülerinnen und Schüler wirkt. Durch die Interaktion mit der physischen Welt haben die Schüler ein enaktives, haptisches und räumliches Feedback hinsichtlich der Wirkungsweise der von ihnen erstellten Programme.

Die Steuerung autonomer Systeme, wie z.B. Roboter, erfordert, neben den üblichen Methoden der Modellierung, Algorithmisierung und Implementierung, adaptive Strategien. Durch Ungenauigkeiten der Mechanik und nicht kontrollierbare Einflüsse der Umwelt sind andere Ansätze zur Steuerung notwendig, als das Programmieren einer Abfolge von Bewegungen. Sensoren sind notwendig, um die Akteure zu steuern. Dabei ist ein möglicher Ansatz für die Schülerinnen und Schüler, die eigenen sensorischen und kognitiven Prozesse, z.B. beim Folgen einer Wand oder einer Linie, zu reflektieren und in implementierbare Strategien umzusetzen. Dabei können gezielt verschiedene Modelle aus der Automatentheorie oder dem Software-Engineering eingeführt und verwendet werden.

Physical Computing birgt ein großes kreatives Potential. Durch die Kombination von virtuellen und physischen Komponenten ist es möglich, interaktive Bilder oder Skulpturen zu schaffen, die auf die Anwesenheit von Personen oder die Umgebungshelligkeit reagieren und Lichtanimationen oder Geräusche produzieren. Mit Hilfe von Motoren können Teile der Kunstwerke bewegt werden.

Die Arbeit mit Robotern oder Hardwarekomponenten zur Steuerung elektronischer oder mechanischer Systeme bietet zudem einen sehr guten Anlass zu projektartigen Arbeitsformen. Durch die Verwendung geeigneter, dem Wissens- und Leistungsstand der Schülerinnen und Schülern angemessener

nen Programmierumgebungen, ist eine weitgehend selbständige Problemlösung möglich. Die, gegenüber reinen Softwareprojekten, physische und haptische Komponente bietet dabei einen zusätzlichen kognitiven Zugang. Statt mit rein abstrakten oder nur visualisierten Systemen arbeiten die Schülerinnen und Schüler an tatsächlich anfassbaren Objekten. Durch die Verknüpfung mit den virtuellen und technischen Modellen, erfassen sie dabei Aspekte der Modellierung und Implementierung informatischer Systeme.

Die Realität in den Schulen

Im regulären Informatikunterricht wird Physical Computing bislang nur vereinzelt eingesetzt. Hauptursache dafür ist der hohe finanzielle Aufwand, gekoppelt mit einer Unsicherheit über die Möglichkeiten und die Effizienz des Einsatzes. Die verbreitetsten kommerziellen Systeme erfordern hohe finanzielle Aufwendungen für die Anschaffung und den Erhalt. Damit ist es für viele Schulen finanziell nicht oder nur schwer vertretbar einen oder mehrere Klassensätze mit 10 bis 15 Exemplaren anzuschaffen. Dieses Problem wird durch die wirtschaftliche Orientierung der Anbieter deutlich verschärft. Wird ein neues System eingeführt, wird die Unterstützung für die ältere Variante häufig eingestellt. Ersatzteile sind nicht oder nur noch vereinzelt erhältlich und neue Softwareversionen sind nicht unbedingt abwärtskompatibel. Dadurch entsteht auf Schulen, die die Systeme kontinuierlich nutzen wollen, der Druck, sich komplette Sätze des neuen Systems anzuschaffen.

Das Fehlen von didaktischen Konzepten, um die Roboter im regulären Informatikunterricht einzusetzen, verschärft das finanzielle Risiko noch. Viele der vorhandenen Materialien zielen insbesondere auf die Begabtenförderung oder freiwillige Angebote in Form von Arbeitsgemeinschaften ab. Die Einbindung in die curricularen Vorgaben ist in der Regel unzureichend ausgearbeitet oder nur mit hohem Zeitaufwand möglich.

Hinzu kommt, dass den Lehrkräften in der Regel die Zeit und die Möglichkeit fehlt, sich mit Physical Computing auseinanderzusetzen. Viele der existierenden Werkzeuge sind für den Unterricht nur bedingt geeignet. Die von den Anbietern zur Verfügung gestellten Entwicklungsumgebungen sind unter Umständen nicht ausreichend didaktisch reduziert oder verwenden Darstellungsformen, die sich nicht ohne weiteres mit anderen Unterrichtsinhalten, standardisierten Modellierungstechniken oder Darstellungen verknüpfen lassen. Frei verfügbare Systeme,

wie z.B. Scratch4Arduino [scr] oder Ardublocks [ard], beheben diese Probleme, sind häufig aber noch im Entwicklungsstadium.

Die Ziele der Robothek

Die Robothek soll den Schulen und Lehrkräften der Region die Möglichkeit bieten, Physical Computing im Informatikunterricht einzusetzen. Dazu sollen möglichst niedrigschwellig verschiedene Systeme und Komponenten vorgehalten werden, die die Lehrkräfte für den Unterrichtseinsatz über mehrere Wochen ausleihen und einsetzen können. Mittel- und langfristige Ziele sollen das Ziel aber nicht die Abhängigkeit der Schulen von der Robothek sein. Vielmehr sollen die Ergebnisse und Systeme den Schulen zur Erprobung und Evaluation dienen, um gegebenenfalls eigene Materialien anzuschaffen.

Ein besonderer Schwerpunkt soll auf dem Einsatz in den Realschulen liegen. Diese haben durch die Einführung des neuen Kerncurriculums für die Sekundarstufe I [?] einen hohen Innovationsdruck. Außerdem bietet sich der Einsatz von Physical Computing in dieser Schulform aufgrund der berufsbildenden Aspekte besonders an.

Die Arbeit der Robothek lässt sich in vier miteinander verzahnte Ebenen unterteilen:

- Die **Unterrichtsebene** umfasst den praktischen Einsatz im Unterricht und das Vorhalten entsprechender Materialien.
- Die zweite Ebene bezieht sich auf die **Aus- und Fortbildung von Lehrkräften**.
- Die dritte Ebene bildet das **wissenschaftliche Fundament**. Dies schließt insbesondere die didaktisch und fachwissenschaftlich fundierte Erstellung und Evaluation von Werkzeugen, Unterrichtseinheiten und geeigneter Hardware ein.
- Auf der vierten Ebene finden sich **außerunterrichtliche und außerschulische Aktivitäten**, wie z.B. die Ausrichtung von Roboterwettbewerben oder die Unterstützung von Schüler- und Ausbildungsprojekten.

Unterricht

Um den unterrichtlichen Einsatz zu ermöglichen soll die Robothek verschiedene Hardwaresysteme in ausreichender Zahl vorhalten. Diese können von Lehrkräften für Zeiträume von drei bis sechs Wochen

über ein Online-System ausgeliehen werden. Gemeinsam mit der Hardware werden Unterrichtsmaterialien zur Verfügung gestellt, mit denen gezielt Inhalte des Curriculums erarbeitet werden können. Dabei soll auf bereits vorhandenen Ideen, Materialien und Unterrichtseinheiten aufgebaut werden.

Durch den Einsatz von Projekten variierender Komplexität, sowie unterschiedlichen Entwicklungsumgebungen und Systemen, lässt sich das Prinzip des Physical Computing in Alters- und Leistungsstufen der Sekundarstufen 1 und 2 einsetzen. Neben den allgemeinbildenden Gymnasien und Gesamtschulen sollen dabei insbesondere Realschulen, technische Gymnasien und berufsbildende Schulen einbezogen werden.

Aus- und Fortbildung von Lehrkräften

Die Robothek soll im Bereich der Aus- und Fortbildung von Lehrkräften eingesetzt werden. Interessierte Lehrerinnen und Lehrer erhalten die Gelegenheit sich einzelne Sätze der vorhandenen Systeme auszuleihen und die Materialien zu sichten. Dieses Angebot soll durch regelmäßige Fortbildungen ergänzt werden, in denen die jeweiligen Systeme und Unterrichtseinheiten vorgestellt werden. Zusätzlich ist das Angebot einer Begleitung des praktischen Einsatz seitens der Arbeitsgruppe „Didaktik der Informatik“ vorgesehen.

In der zweiten Stufe der Lehrerausbildung soll Referendarinnen und Referendaren in Zusammenarbeit mit dem Studienseminar Osnabrück die Möglichkeit gegeben werden, die Ressourcen der Robothek für Unterrichtssequenzen einzusetzen. Dies schließt explizit die Verwendung im Rahmen von schriftlichen Hausarbeiten ein.

Schließlich ermöglicht die Robothek den Einsatz des Physical Computing im Rahmen der universitären Lehrerausbildung. Dies umfasst Praktika und die Arbeit mit Schülern in Seminaren und Workshops, sowie die Verwendung im Rahmen von Fachpraktika und Abschlussarbeiten.

Wissenschaftliches Fundament

Der schulische Einsatz soll auf verschiedene Arten wissenschaftlich begleitet werden. Zum einen wird die Arbeitsgruppe „Didaktik der Informatik“ die notwendigen Unterrichtsmaterialien sammeln, entwickeln und evaluieren. Dies soll durch systematisierte Online-Befragungen der Lehrkräfte und der Schüler im Anschluss an die Ausleihe, durch Erfahrungsberichte und gezielte Hospitationen während der Einsatzphase erfolgen.

Auf fachlicher und technischer Ebene soll mittelfristig eine gezielte, wissenschaftlich fundierte Weiter- und Neuentwicklung von Systemen und Entwicklungsumgebungen erfolgen. Die Basis dafür ist die Evaluation existierender Systeme im Unterrichtseinsatz. Dieser Teil des Projektes soll perspektivisch in Kooperation mit den Arbeitsgruppen für Technische Informatik und Wissensbasierte Systeme geschehen. Ergänzt wird dies durch die Anpassung, Entwicklung und Erprobung altersgerechter Entwicklungsumgebungen.

Außerunterrichtliche Aktivitäten

Neben der Arbeit in den Schulen, wird die Arbeitsgruppe „Didaktik der Informatik“ im Rahmen der Robothek außerunterrichtliche und außerschulische Projekte unterstützen und durchführen. Dies soll in der Regel in Kooperation mit Partnern aus verschiedenen Bereichen geschehen. Beispiele hierfür sind:

- Workshops im Rahmen von schulischen und universitären Informationsveranstaltungen, wie z.B. dem Schnuppertag Informatik, dem Hochschulinformationstag, Dem Zukunftstagm dem Technologietag usw.
- Unterstützung von schulischen Projekttagen und -wochen
- Unterstützung von Firmen bei der Durchführung von Schulprojekten, wie z.B. der Berufsbildungsgesellschaft Georgsmarienhütte mbH (BGG).
- Organisation und Durchführung von Roboterwettbewerben, wie z.B. dem RoboDay und der Robo-Tec in Kooperation mit der Initiative pro-Ausbildung, der GMH, KME und den Stadwerken Osnabrück.
- Unterstützung von Schülerprojekten, z.B. im Rahmen von Jugend Forscht, in Kooperation mit den Schulen und dem Schülerforschungszentrum.

Das geplante Vorgehen

Die erfolgreiche Einrichtung der Robothek erfordert diverse vorbereitende Maßnahmen, die bereits mit dem praktischen Einsatz einher gehen können. Eine der Hauptfragen ist mit Sicherheit die der verwendeten Systeme. Dazu müssen existierende Komponenten evaluiert und erprobt werden. Der Schwer-

punkt wird dabei auf Arduino-basierten Systemen liegen. In diesem Bereich gibt es eine große Auswahl an preisgünstigen Alternativen. Basierend auf Erfahrungen in AGs und Unterricht wurde bereits eine erste Auswahl getroffen.

Eine weitere Maßnahme ist die Sammlung von Unterrichtsideen und bereits existierender Materialien und ihre Anpassung an die ausgewählten Systeme. Dies soll auch im Rahmen von universitären Praktika und studentischen Abschlussarbeiten erfolgen.

Um den Aufbau zu beschleunigen, ist geplant mit **Pilot-Schulen** und **Pilot-Lehrkräften** in der Region zu kooperieren. Das Ziel ist eine möglichst intensive Erprobung und Entwicklung der Prozesse und Materialien. Dazu sollen zudem **Schülerexperten** berufen werden, die bereits in AGs oder außerschulischen Arbeitsgruppen Erfahrungen gesammelt haben. Diesen soll in Workshops oder im Rahmen regelmäßiger Termine die Gelegenheit gegeben werden, mit den Materialien zu arbeiten und mit ihren Eindrücken und Erfahrungen Einfluss auf die Entwicklung der Robothek zu nehmen.

Eine Webpräsenz soll die Schnittstelle zu den Schulen und Lehrkräften bilden. Über sie soll die Ausleihe organisiert und Materialien zur Verfügung gestellt werden. Weitere Komponenten sind ein System zur Online-Befragung der Teilnehmer sowie ein Wiki für Schüler und Lehrer.

Material

Die Robothek soll von verschiedenen Systemen genügend Sätze vorrätig haben, um den Einsatz in Lerngruppen von ca. 20 bis 30 Schülern, d.h. üblichen Kurs- und Klassengrößen, zu ermöglichen. Dabei wird von Arbeit in 2er oder 3er Gruppen ausgegangen. Die verschiedenen Systeme sollen dabei unterschiedliche Altersgruppen und Niveaustufen ansprechen und lassen sich im wesentlichen in vier Kategorien aufteilen, die im folgenden kurz vorgestellt werden.

Sensor-Aktor-Systeme

Sensor-Aktor-Systeme bestehen aus einer programmierbaren Steuerung sowie verschiedenen Sensoren und Aktoren. In Kombination mit selbstgebaute oder vorbereitete Komponenten aus Holz, Papier oder andern Materialien, sind die Schülerinnen und Schüler in der Lage funktionierende Modelle unterschiedlichster technischer Systeme zu bauen. Durch die Integration der Aktoren und Sensoren in Bilder oder Skulpturen, ergibt sich die Möglichkeit interak-

tive Kunstwerke zu schaffen, die durch den Mikrocontroller gesteuert werden.

In der Sekundarstufe 2 ermöglichen die Systeme z.B. die technische Implementierung von Mealy-Automaten. Dadurch werden die theoretisch konstruierten Modelle konkret und überprüfbar.

Durch eine große Auswahl an verschiedenen Aktoren und Sensoren ist das System flexibel anwendbar. Den Schülerinnen und Schülern kann damit die Möglichkeit geboten werden eigene Ideen und Projekte zu realisieren.



Abb. 1: Der Arduino UNO (Quelle: <http://www.arduino.cc>)

Sensor-Aktor-Systeme

Grundsystem: Arduino Uno oder Arduino Mega mit IO Expansion Shield

Sensoren: Schalter, Lichtsensoren, Bewegungssensor, Entfernungssensoren (Ultraschall/Infrarot), Temperatursensor

Aktoren: LEDs in verschiedenen Farben, Servomotoren

Zubehör: USB-Kabel, Akkus, Ladegerät

Software: Scratch4Arduino, Ardublocks

Anwendungen: Schrankensteuerung (Zitat), Ampelsteuerung (Zitat), Lichtsteuerung in einem Puppenhaus (Zitat), interaktiver Garten (Zitat), interaktive Bilder, Papierroboter, Informationsübertragung (Zitat), Motorencoder

Anzahl: 15 bis 20 Stück (2er Gruppen)

Kosten pro Set: ca. 120€

Kompakte Roboter

Ein *kompakter* Roboter ist von seiner Bauweise her mit speziellen Sensoren und Aktoren ausgestattet. Er

kann nicht durch zusätzliche Komponenten erweitert werden. Dadurch entsteht ein kohärentes, gut funktionierendes System, das sich mit darauf abgestimmter Software programmieren lässt. Eine hohe Anzahl und Diversität der Sensoren ermöglicht dabei die Verwendung in verschiedensten Szenarien und Projekten. Durch die Verwendung eines kompakten Systems wird der Fokus auf die Programmierung gelegt. Die technischen Komponenten sind nicht veränderbar. Lediglich das Verhalten des Systems kann verändert werden.



Abb. 2: Der Thymio II wurde an der ETH Lausanne und der Kunstschule Lausanne entwickelt. (Quelle: <https://aseba.wikidot.com/de:thymio>)

Kompakte Roboter

Grundsystem: z.B. Thymio II oder arduinobasierte Systeme

Sensoren (eingebaut): Entfernungssensor, Lichtsensoren, Druckknöpfe, Mikrofon, Temperatur, Rotationssensoren (Motorsteuerung)

Aktoren (eingebaut): Motoren, LEDs, Lautsprecher

Zubehör: USB-Kabel, Akkus, Ladegerät

Software: z.B. Aseba (Thymio II) oder Ardublocks und ArduinoC (Arduino)

Anwendungen: Linienverfolgung, Labyrinthfahrten, Kartographie unbekannter Umgebungen

Anzahl: 10 bis 15 Stück (2er oder 3er Gruppen)

Kosten pro Set: ca. 150€

Erweiterbare Roboter

Erweiterbare Roboter bestehen aus einer mobilen Plattform, die durch verschiedene Sensoren und Aktoren ergänzt werden kann. Idealerweise bietet das

System eine einheitliche Schnittstelle für verschiedene Sensoren, so dass diese auf einfache Weise angebaut werden können. Dadurch wird die Realisierung verschiedenster Projekte ermöglicht. Idealerweise ermöglicht das System zusätzlich die Verwendung beliebiger elektronischer Komponenten, die von den Schülerinnen und Schülern entworfen und erprobt werden können.

Bekannte Systeme dieser Art sind Lego Mindstorms und Fischertechnik Robotics. Auf Basis der Arduino-Boards bieten die Firmen DFRobot und SainSmart unterschiedliche Modelle an. Letztere Systeme basieren auf den gleichen Hardwarekomponenten, wie die oben beschriebenen Sensor-Aktor-Systeme.



Abb. 3: Das MiniQ Discovery Set der Firma DFRobot (Quelle: <http://dfrobot.com>)

Erweiterbare Roboter

Grundsystem: z.B. Lego Mindstorms EV3, MiniQ Discovery Set (arduinobasiert, DFRobot)

Sensoren: Entfernungssensor, Lichtsensoren, Druckknöpfe, Mikrofon, Temperatur, Rotationssensoren, Kompasssensor

Aktoren: Motoren (eingebaut), LEDs, Lautsprecher, Servo, Display

Zubehör: USB-Kabel, Akkus, Ladegerät

Software: Enchanting, LeJos (Mindstorms), Ardublocks und Arduino

Anwendungen: Linienverfolgung, Labyrinthfahrten, Kartographie unbekannter Umgebungen

Anzahl: 10 bis 15 Stück (2er oder 3er Gruppen)

Kosten pro Set: ca. 600€ (Mindstorms) bzw. ca. 200€ (Arduino)

Spezialistensysteme

Spezialistensysteme sind weitere Systeme, die als Einzelstück oder in kleinen Zahlen für spezielle Projekte oder zur Erprobung zur Verfügung stehen. Sie sollen insbesondere Lehrkräften und Studierenden zur Erkundung, sowie wissenschaftlichen Zwecken dienen. Dabei sollen unterschiedliche Konzepte auf ihre Verwendbarkeit im Unterricht hin geprüft werden.

Spezialistensysteme

Grundsystem: Fischertechnik Robotics, diverse Systeme auf der Basis des Arduino oder des Raspberry Pi, 3D-Drucker, LED-Cubes (Zitat)

Anwendungen: Erprobung, Studentische Arbeiten, Schülerprojekte (z.B. Jugend Forscht), Schulprojekte

Kosten pro Set: variabel

Literatur

- [ABH⁺] Amjad Altadmri, Neil Brown, Fabio Hedayioglu, Michael Kölling, Davin McCall, and Ian Utting. Greenfoot. <http://www.greenfoot.org>.
- [ard] Ardublocks. <http://blog.ardublock.com>.
- [MH] Jens Mönig and Brian Harvey. Snap! <http://snap.berkeley.edu>.
- [RMMH⁺09] Mitchel Resnick, John Maloney, Andrés Monroy-Hernández, Natalie Rusk, Evelyn Eastmond, Karen Brennan, Amon Millner, Eric Rosenbaum, Jay Silver, Brian Silverman, and Yasmin Kafai. Scratch: Programming for all. *Commun. ACM*, 52(11):60–67, November 2009.
- [scr] S4a - scratch for arduino. <http://s4a.cat>.
- [TP91] S. Turkle and S. Papert. Epistemological pluralism and the revaluation of the concrete. In I. Harel and S. Papert, editors, *Constructionism*, pages 161–192. Ablex, Norwood, NJ, 1991.