

Gegenüberstellung von kostengünstigen Robotern als Lernobjekte für Schulen

Saskia Uta Dübener¹, Anina Ambra Morgner¹, Hans Felix Haupt², Maximilian Hugo Volk², Chiara Chantal Fischer¹, Simon Konstantin Langner² und Anton Jacker³

Abstract: Im Mittelpunkt steht der Vergleich verschiedener Roboter, welche als Lehrmittel an Schulen geeignet sind und in mehreren Kategorien miteinander verglichen werden. Außerdem wird das Projekt Dezibot präsentiert. Das Ziel des Projektes ist es, einen Bausatz für einen Roboter zu entwickeln, welcher \$10 kosten soll und an Schulen verwendet werden kann. Dabei liegt der Schwerpunkt der Bewertung darauf, dass jeder Lernende mindestens einen Roboter an seinem Arbeitsplatz alleine nutzen und programmieren kann. Es sollen keine dedizierten Räume notwendig sein.

Keywords: Roboter, Schule, Dezibot, Vibrationsmotor, Kilobot, AERobot, Lernobjekt, JIA

1 Einleitung

Die letzten Jahre brachten im Bereich der Robotik große Fortschritte. [El15] Die Forschung entwickelt sich immer mehr in die Richtung der im Schwarm agierenden Roboter. [RAN12; Ru13] Das Ziel bei diesen sogenannten Schwarmrobotern ist es, das Verhalten einer großen Menge an Robotern zu kontrollieren und diese so geschickt einzusetzen, dass sie so effektiv wie Ameisengruppen werden. [Ru13]

Die Fortschritte bei Schwarmrobotern führten dazu, dass man nun versuchen kann, die Roboter so kostengünstig zu gestalten, dass sie als Lernobjekt im Schulalltag einsetzbar sind. Dies ist wichtig, da man durch die Verwendung von Robotern die fachlichen Kompetenzen im Bereich der Programmierung fördert, da es motiviert, die Auswirkungen der eigenen Programmierung an einem interaktiven Objekt zu betrachten. Das Zusammenspiel von Robotern mehrerer Teilnehmer unterstützt zudem soziale Kompetenzen. Aufgrund zu hoher Preise ist es jedoch meist nicht realisierbar, einen kompletten Schulsatz zu kaufen. Dass nicht genügend Arbeitsmittel für jeden zur Verfügung stehen, ist ein häufig auftretendes Problem an Bildungseinrichtungen, wodurch sich mehrere ein Arbeitsgerät teilen müssen und der Lernfortschritt Einzelner leidet. [Le04, S.118] Aus eigener Erfahrung der Autoren und Autorinnen, welche an drei verschiedenen Gymnasien lernen, lässt sich sagen, dass viele Schulen nur zwei bis drei

¹ Neue Nikolaischule - Gymnasium der Stadt Leipzig, Klassenstufe 10, saskia-uta.duebener@hft-leipzig.de, anina-ambra.morgner@hft-leipzig.de, chiara-chantal.fischer@hft-leipzig.de

² Immanuel-Kant-Schule - Gymnasium der Stadt Leipzig, Klassenstufe 10, hans-felix.haupt@hft-leipzig.de, maximilian-hugo.volk@hft-leipzig.de, simon-konstantin.langner@hft-leipzig.de

³ Werner-Heisenberg-Schule - Gymnasium der Stadt Leipzig, Klassenstufe 10, anton.jacker@hft-leipzig.de

Roboter besitzen, welche im Unterricht durch den Lehrer demonstriert werden oder durch mehrere Lernende in Gruppen benutzt werden müssen. Aber eine Schülerin bzw. ein Schüler lernt am besten, wenn die Aufgaben selbstständig bearbeitet und gelöst werden können. [Le04, S.118] Des Weiteren besteht so die Möglichkeit, zu jeder Zeit den Roboter zu verwenden und ihn beliebig zu erweitern. Ferner sind wir der Meinung, dass Einige das Interesse am Arbeiten mit solchen Robotern verlieren, wenn sie nicht selber etwas bedienen oder programmieren dürfen. Aus diesen Gründen ist es besser, wenn jede Schule für jeden Lernenden einen Roboter zum Arbeiten bereitstellen kann, was nur funktioniert, wenn die Roboter kostengünstiger sind. Daher stehen Kostenreduktionen solcher Roboter im Mittelpunkt aktueller Forschungen.

Wir stellen aktuelle, kostengünstige Roboter für Bildungseinrichtungen vor. Dabei orientieren wir uns unter anderem am AFRON Wettbewerb [AF12], Pabanis Arbeit [PS15] und weiteren europäischen Robotern. Wir haben nur Exemplare für unseren Vergleich ausgewählt, die für den Gebrauch an Schulen propagiert wurden. Für die Recherche lagen uns außerdem ein LEGO Mindstorm, ein ASURO, ein AERobot und ein vereinfachtes Modell des Light-Tracking Bristlebots vor. Für alle anderen Roboter stand uns nur Literatur zur Verfügung.

Im Folgenden werden Roboter untereinander in verschiedenen Punkten verglichen sowie Empfehlungen ausgesprochen. Wir haben uns auf die Schwerpunkte Preis, Größe, Kinematik, Programmierbarkeit, Verfügbarkeit im Bausatz und Eignung für verschiedene Altersklassen aufgrund der erforderlichen Fähigkeiten für den Zusammenbau und die Programmierung der Roboter beschränkt. Uns ist dabei durchaus bewusst, dass es noch andere mögliche Vergleichskategorien gäbe, jedoch sind diese aus unserer Sicht am wichtigsten. Hierbei gehen wir nur auf Roboter ein, die man als fertiges Gerät, als Bausatz oder in Einzelteilen käuflich erwerben kann.

2 Stand der Wissenschaft

Weil der Bedarf an kostengünstigen Robotern für Schulen in Afrika groß war, hat die Organisation African Robotics Network (AFRON) im Jahr 2012 einen Wettbewerb zur Entwicklung von „10 Dollar Robots“ gestartet. Das Ziel war es, einen Roboter zu entwickeln, der leicht nachzubauen ist, von Schülerinnen und Schülern eigenständig programmiert werden kann und zudem unter \$10 kostet. In diesem Wettbewerb hat die Harvard University mit ihrem Kilobot einen Sieg erlangt. [AF12]

Kilobot

Der Kilobot von Rubenstein et al. ist ein Low-Cost-Roboter in der Programmiersprache C, der im Rahmen des Wettbewerbs von AFRON entstanden ist. Er dient dazu, kollektive Algorithmen auf einer großen Menge an Robotern zu testen. Das Ziel beim Entwickeln der Kilobots war es, einem Einzelbenutzer die Möglichkeit zu geben, ein großes Kilobot-Kollektiv einfach zu bedienen. Der Roboter wurde so entwickelt, dass er

vier populäre Schwarmverhalten implementieren kann: die simulierte Futtersuche, die Formationskontrolle, die Phototaxis und die Synchronisation. Den Entwicklern war es wichtig, Formationsalgorithmen wie SDASH zu implementieren, wofür der Kilobot bestimmte Fähigkeiten benötigt: Er muss sich vorwärtsbewegen, rotieren, mit Nachbarn kommunizieren, die Distanz zwischen sich selbst und anderen Robotern bestimmen und er braucht für solche Algorithmen genügend Speicher. Formationsalgorithmen erlauben es Robotern, ihren Standort in der Ebene gegenseitig zu kontrollieren bzw. zu korrigieren und dadurch im Schwarm Figuren zu bilden. [RAN12; Ru13]

Der Roboter besteht grundlegend aus zwei versiegelten Vibrationsmotoren, einem Lithium-Akku, drei starren Stützbeinen, einer Infrarot-LED und Infrarot-Photodioden, einer RGB-LED und einem Umgebungslichtsensor. Als Chassis wird eine Leiterplatte mit einem Durchmesser von 3,3 cm benutzt. Auf der Unterseite der Leiterplatte finden der Infrarotsender bzw. -empfänger, der ATmega328 und die drei Beine Platz. [RAN12; Ru13] Für die Fortbewegung sind die Vibrationsmotoren zuständig. Die Zentripetalkräfte der Motoren werden in die Vorwärtsbewegung des Kilobots umgewandelt. Die Infrarot-LED und Infrarot-Photodioden sind für die Kommunikation mit den benachbarten Robotern, die bis zu 10 cm entfernt sein können, zuständig. Durch diese Kommunikation ist eine größere Menge an Kilobots in der Lage, Formationen zu bilden. Oberhalb der Aufstellfläche hängt ein leistungsstarker Infrarotsender, der Overhead-Controller. Er ist in der Lage, mit wenig Aufwand allen Robotern gleichzeitig Informationen zu senden. [Ru13]

Die geringe Größe der Kilobots ist für schulische Zwecke gut geeignet, da die Roboter problemlos auf einen Schultisch passen. Zusätzlich besitzen sie eine RGB-LED, die für Interaktivität sorgt. Man kann mehrere hundert Kilobots gleichzeitig laden, indem man sie auf eine metallische Oberfläche stellt und sie mit einer leitfähigen Platte überdeckt, was eine Arbeiterleichterung im Schulbetrieb bietet. Des Weiteren wird behauptet, dass jeder Roboter innerhalb von 5 min montierbar sei [RAN12], was schwer vorstellbar ist, wenn man sich die Elektronik des Roboters genauer anschaut. [Ru13] Für den Einsatz in der Schule ist nachteilig, dass man den Overhead-Controller benötigt, den man für jeden Arbeitsplatz mit einem Preis von 590€ [Gé17] bereitstellen müsste, weil jeder Roboter einzeln und nicht als Schwarm programmiert werden soll. Der Kilobot belegte einen ersten Platz beim AFRON Wettbewerb 2012, obwohl er mit \$14 [RAN12; AF12] zu teuer ist. Diesen Preis erhält man außerdem erst, wenn man die Einzelteile für 1000 Roboter kauft. [Ru13] Fertig zusammengebaut kostet jeder Kilobot 135€ (\$148). [Ru15] Der nötige Aufwand ist uns für den Gebrauch in Schulklassen zu hoch.

Light-Tracking Bristlebot

Oft nimmt man sich auch ein Beispiel an der Tier- und Pflanzenwelt, um seine Roboter funktionsfähiger und individueller zu gestalten. [Ka14] So ist auch der Light-Tracking Bristlebot, ein einfach konstruierter Roboter von Science Buddies, der wie ein Insekt aussieht, entstanden. Er ist in der Lage, automatisch auf eine Lichtquelle zuzufahren.

Dieses Verhalten kann man auch bei echten Insekten beobachten. Es wird dort „Phototaxis“ genannt. [SB16a; Ri64, S.321]

Den Roboter mit seiner Grundfläche von 12,6 cm² kann man als Bausatz für 54,99€ (\$59.95) [SB16b] bestellen, wobei zusätzlich zwei Zahnbürstenköpfe benötigt werden. Science Buddies verspricht, dass die Anleitung so einfach erklärt sei, dass selbst Kinder ohne vorherige Elektronik-Erfahrung diesen Roboter leicht zusammenbauen können. [SB16b] Eine Steckplatte bildet das Chassis des Roboters. Die Kinematik basiert grundlegend auf den Zahnbürstenköpfen und den Vibrationsmotoren. [SNS11, S.57] Bei der Vibration werden im ersten Schritt die Borsten zusammengedrückt. Dadurch entsteht eine Spannung auf den Borsten und diese fungieren wie Federn. Die rücktreibende Kraft lässt sie im zweiten Schritt nach oben springen und damit bewegt sich der Roboter. Er verwendet zwei Fototransistoren, um die Vibrationsmotoren zu kontrollieren. So kann man ihn mit ein wenig Übung ganz leicht durch Labyrinth und Hindernisparcours führen. [SB16a]

Die ausführliche Anleitung zum Bau eines Light-Tracking Bristlebots ist vorteilhaft für Schüler, die bisher wenig Erfahrung mit Mechanik gesammelt haben. Das Prinzip der Fortbewegung ist simpel, da es auf der Phototaxis beruht. Dieses können auch jüngere Kinder gut verstehen. Wir empfehlen den Roboter eher im Physik- als im Informatikunterricht einzusetzen, da die Algorithmen durch Ändern der Elektronik des Roboters implementiert werden und sich somit der Lerninhalt eher auf elektrische Schaltungen bezieht.

ASURO

Ein weiterer kostengünstiger Schulroboter ist der ASURO vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Der DIN A6-Blatt große Roboter ist in C programmierbar und seinen Bausatz kann man bereits für 50€ (\$54.46) pro Stück erhalten. [As17] Er besitzt zwei Fototransistoren zur Linienverfolgung [Ei12, S.240], sechs Kollisionstaster, vier Leuchtdioden als Statusanzeige [Ei12, S.243], einen Mikrocontroller ATmega8L [Ei12, S.240] und zwei Lichtschranken für die Odometrie, die Zählung der Radumdrehungen. [Os07; Ei12, S.243] Die Kinematik des Roboters beruht auf zwei Rädern. Der ASURO kommuniziert über Infrarotsignale. [GG04, S.21].

Für jüngere Schülerinnen und Schüler ist der ASURO aufgrund der anfallenden Lötarbeiten nicht geeignet. Da es sich bei dem Roboter um einen Fahroboter handelt, benötigt er viel Platz zum Bewegen. Zusätzlich erscheint uns der Roboter für eine Anwendung in der Schule zu teuer.

MIT SEG

Der MIT SEG gewann beim AFRON 2012 den dritten Platz. [SI12] Diesen Origami-inspirierten Roboter, welcher sich durch zwei große gefaltete Räder aus Polyester charakterisiert, [SI12; MI14] die mit modifizierten Servomotoren auf dem Chassis verbunden sind, schätzen wir auf eine Fläche von 96 cm². Außerdem besitzt er einen

Infrarotsensor, wodurch sich für den Roboter die Möglichkeit ergibt, Hindernisse zu erkennen. [S112; Se17] Die Entwickler behaupten, dass der Roboter an einem Tag zu bauen sei. [S112; Se17].

Eine auf die vorherigen Iterationen aufbauende Version des SEG, der MIT Printable Robot, gewann im Jahr 2014 im Wettbewerb von AFRON und IEEE Robotics and Automation Society sogar Platz 1. [MI14; Hu14, S. 11] Dieser Roboter besitzt nun noch robustere, kostengünstigere und anpassungsfähigere Hardware [MI14; Th17], zusätzliche Sensoren und eine überholte Software. Zudem wird durch eine LED und einen Photosensor eine Linienverfolgung ermöglicht. [Sp14; Hu14, S.11; Th17] Der Roboter wurde um eine Arduino kompatible graphische Drag & Drop-Programmierung [MI14] erweitert und lässt sich über einen für 18,40€ (\$20) bestellbaren Bausatz eigenständig und ohne weiteres Werkzeug per Hand bauen. Der Preis bezieht sich auf die Abnahme von vier Stück. [Th17; Hu14, S.11] Zum Betrieb benötigt er als Fahrroboter viel Fläche. Wegen der einfachen Programmiersprache ist der Erwerb der Fachkompetenzen nur begrenzt.

SwarmRobot

Ein weiterer Mitbewerber beim AFRON Wettbewerb 2012 war der Xinchajian Shanghai Hackerspace, der mit seinem SwarmRobot den zweiten Platz hinter dem Kilobot belegte. [AF12] Das Chassis besteht aus einer Platine, an der die Räder aus zwei Plastikdeckeln von Getränkeflaschen befestigt sind. Der Roboter kann über Infrarotsignale kommunizieren und besitzt einen ATtiny2313 Mikrocontroller, eine H-Brücke zur Steuerung der Motoren, einen Akku und eine Leuchtdiode, die als Poweranzeige und als Stütze fungiert. [Xi12] Mit einem Preis von 8,72€ (\$9.51) ist er kostengünstig, jedoch benötigt er, wie alle Fahrroboter, eine Menge Platz für seine Bewegungen. [Xi12]

Lollybot

Ein anderer Roboter, der am AFRON Wettbewerb 2012 teilnahm, ist der Lollybot, welcher von Dr. Tom Tilley von der Payap University entwickelt wurde und nur 8,22€ (\$8.96) kostet. Er besteht teilweise aus einfachen Alltagsgegenständen, wie z.B. zwei Chupa Chups Lollies und Flaschendeckeln als Räder. Sein Chassis wird von einem nur 3,48€ (\$3.80) teuren Dualshock Controller mit USB Anschluss gebildet. Der Controller enthält zwei Force-Feedback Vibrationsmotoren, welche der Roboter für die Fortbewegung nutzt. Die zwei Lollies werden an den Joysticks befestigt und verlängern sie zu Fühlern. An der Unterseiten sind Sensoren zur Linienverfolgung angebracht. Der USB Anschluss stellt gleichzeitig eine Spannungsversorgung und eine Schnittstelle zwischen Roboter und Computer zur Verfügung. Der Roboter wird durch den angeschlossenen Computer gesteuert. [AF12, Hu14 S.11]

Der Lollybot ist ein sehr kostengünstiger Roboter, dessen Bauteile frei verfügbar sind. Da er ein Fahrroboter ist, benötigt er relativ viel Platz. Außerdem erweist sich die ständige Verbindung mit einem Computer im Unterricht als unpraktisch, da die Kabel

ein erhöhtes Sicherheitsrisiko mit sich bringen, sich verknoten können und außerdem den Bewegungsraum der Roboter stark einschränken.

LEGO Mindstorms

Bei LEGO Mindstorms handelt es sich um einen Baukasten nach dem Lego-Technik-Prinzip. Neben den Legosteinen sind Elektromotoren, verschiedene Sensoren sowie ein programmierbarer Controller im Baukasten enthalten. Die Controllereinheit kann über eine graphische Benutzeroberfläche oder eine Hochsprache programmiert werden. [Pe15]

Der Vorteil der Mindstorms Roboter besteht darin, dass sie selbst zusammengebaut werden können. Dadurch entsteht die Möglichkeit mit einfachen Robotern anzufangen und sich langsam zu komplexeren Maschinen zu steigern. Leider ist ein gewisser Installationsaufwand nötig, bevor man eine Hochsprache benutzen kann. Außerdem liegen die Kosten mit 320€ (\$350) [Ru15] sehr hoch, weshalb es nicht möglich ist, dass jeder Lernende einen Roboter besitzt. Die Kinematik basiert auf mit Getrieben verbundenen Gliedmaßen oder Rädern. Durch das Prinzip der Legosteine und des Controllers besitzt der Roboter des Weiteren eine große Grundfläche.

Kobot

Ein weiterer Roboter ist der Kobot von der Middle East Technical University. Der Kobot ist zylinderförmig mit einem Durchmesser von 12 cm. An das Chassis sind zwei Motoren für den Antrieb der Räder, drei AA Batterien oder ein Lithium-Polymer-Akku als Stromversorgung und einige Sensoren angebracht. Als zentrale Steuerung nutzt der Kobot einen PIC16F877A Mikrocontroller. Der Roboter verfügt über acht in einem Kreis angeordnete Infrarotsensoren, einen Summer und drei LEDs. Ausschließlich für Bildverarbeitung wird ein 200 MHz PXA255 Mikroprozessor genutzt. [Tu07] Die Besonderheit des Kobots ist, dass er über ZigBee programmiert werden kann. [Tu07; PS15] Aufgrund der vielen teuren Bauteile und der komplizierten Programmierung durch die Kommunikation von einem Mikrocontroller und einem Prozessor ist der Roboter nicht zu empfehlen. Leider gelang es uns außerdem nicht, eine Bezugsquelle für den Roboter zu finden.

AERobot

Nicht vergessen sollte man in dieser Auflistung den AERobot, ein Projekt des Wyss Institutes der Harvard Universität. Er nahm am AFRON Wettbewerb 2014 teil und gewann gleich in mehreren Kategorien. Es wird angegeben, dass der Preis pro Baukasten bei ca. 9,10€ (\$10) liegt. Nach Aussagen der Entwickler solle der AERobot für Lernende der Unterstufe gut geeignet sein, da er schnell und ohne Vorwissen durch Anbringen von zwei Schrauben zusammengebaut werden kann. [Ru15]

Die Programmierung erfolgt über eine einfache graphische Sprache. Der Roboter besitzt einen USB-Stecker zum Upload und Laden des Akkus. Die Ausstattung umfasst Vibrationsmotoren, welche zur Fortbewegung notwendig sind, sowie Infrarotsensoren,

welche zur Hinderniserkennung und Abstandsmessung dienen, womit der Roboter der Phototaxis fähig ist. Weiterhin sind zum Boden ausgerichtete Infrarotsender und -empfänger für die Linienverfolgung zuständig und zur Interaktion mit dem Anwender ist eine RGB-LED angebracht. [Ru15]

Bei einem Testkauf stellten wir fest, dass ein Bausatz, Steuern und Lieferkosten einbezogen, 29,51€ (\$32.08) und nicht \$10 kostet. Die Anschaffung ist schwierig, da er zur Zeit nicht hergestellt wird. Im Vergleich zu anderen Robotern ist der AERobot kostengünstig und benötigt durch seinen Vibrationsantrieb wenig Platz. Der USB-Anschluss ist für die Programmierung durch seine weite Verbreitung von Vorteil. Wegen der einfachen graphischen Programmiersprache können jüngere Schülerinnen und Schüler das Programmieren leicht erlernen. Aufgrund der Abbildung 3 in [Ru15] schätzen wir ein, dass die Elektronik des Roboters zu kompliziert ist, um Gegenstand des Unterrichts sein zu können.

3 Eignung für die Schule

Besonders wichtig erscheint uns bei der Beurteilung der Preis. Bei der Literaturrecherche hat sich ergeben, dass \$10 eine gute Preisgrenze bilden [AF12], damit die Schule möglichst für alle Lernenden einen Roboter bereitstellen kann, über den diese zum besseren Lernfortschritt persönlich verfügen [Le04, S.118]. Dass der Roboter keinen weiträumigen Platz in Anspruch nimmt, um sich z.B. auf einem Schultisch frei zu bewegen, besitzt ebenfalls Relevanz. Nur in seltenen Fällen kann ein kompletter Raum für Roboter-Parcours belegt werden. Für den Platzbedarf einer Bewegung spielen die Größe und Kinematik des Roboters eine Rolle. Auf einem durchschnittlichen Schultisch stehen nur rund 50 x 40 cm² zur Verfügung. Bei einem höheren Bedarf ist der Roboter zu groß. Füße und Vibrationsmotoren sind geeignetere Kinematiken als Räder, da diese durch ihre stets äußere Befestigung am Chassis den Roboter verbreitern. Zusätzlich sind Roboter mit weniger Mechanik kostengünstiger.

Die Programmierbarkeit setzt sich für uns aus kostengünstigem Upload und einer zielgruppengerechten Programmiersprache zusammen. Um Interferenzen mit der Infrarotschnittstelle des Nachbarn zu vermeiden, sollte für den Schulgebrauch eine Kabelverbindung verwendet werden. Des Weiteren wären Infrarotsender am Computer sehr teuer.

Ob der Roboter bereits fertig montiert ist und nur noch programmiert werden muss oder ob es sich um einen Bausatz handelt, welchen man noch selbst zusammenbauen muss, ist bei der Betrachtung außerdem ausschlaggebend. Verwendet man jedoch einen Bausatz darf die Montagezeit nicht zu groß sein. Allerdings hat man die Möglichkeit beim Zusammenbau mehr über die elektronischen Komponenten zu lernen.

Ferner haben wir die aus unsere Sicht geeignete Altersgruppe betrachtet, wobei wir wie folgt definieren: Roboter, die für den Zusammenbau nur einfache Fähigkeiten wie z.B.

das Kleben, das Falten bzw. das Bestücken einer Steckplatte erfordern und zu deren Programmierung keine bzw. eine graphische Programmiersprache nötig ist, eignen sich bereits für Grundschüler. Hierbei spielt auch das kinderfreundliche Design eine Rolle. Der Zusammenbau von komplexeren Robotern ist anspruchsvoller, weswegen wir hierbei eine Empfehlung ab Sekundarstufe I aussprechen. Handelt es sich um eine textuelle Programmiersprache empfehlen wir den Roboter erst ab Klassenstufe 8. [Säl1, S.9] Roboter, bei denen Arbeitstechniken wie Löten notwendig sind, empfehlen wir, aufgrund der fehlenden Behandlung in der Schule, generell erst in der Sekundarstufe II. Die folgenden Tabellen stellen den Vergleich der einzelnen Roboter untereinander in den einzelnen Kategorien dar.

Roboter	Upload	Grundfläche	Platzbedarf	Kinematik
Kilobot	Infrarot	8,5 cm ²	gering	Vibration
Light-Tracking Bristlebot	-	12,6 cm ²	gering	Vibration
ASURO	Infrarot	155 cm ²	groß	Räder
MIT Printable	keine Angabe	96 cm ²	groß	Räder
SwarmRobot	ISP 6	104,14 cm ²	groß	Räder
Lollybot	USB	mind. 86,35 cm ²	groß	Räder
LEGO Mindstorms EV3	USB/ manuell	mind. 77 cm ²	groß	Räder
Kobot	ZigBee	113 cm ²	groß	Räder
AERobot	USB	ca. 28 cm ²	gering	Vibration
Dezibot	TTL-RS232	19,63 cm ²	gering	Vibration

Tab. 1: Kenndaten der Roboter, Grundfläche geschätzt

Roboter	Altersgruppe	Preis/Los	Verfügbarkeit	Bausatz
Kilobot	8. KS+	12,85€/1000 146,50€/10	bestellbar	nein
Light-Tracking Bristlebot	Grundschule+	55,03€/1	bestellbar	ja
ASURO	SEK II	49,99€/1	bestellbar	nein
MIT Printable	Grundschule+	18,36€/4	bestellbar	ja
SwarmRobot	SEK II	8,73€/1	nicht bestellbar	ja
Lollybot	SEK II	8,22€/1	bestellbar	ja
LEGO Mindstorms EV3	SEK I	mind. 320€/1	bestellbar	ja
Kobot	SEK II	keine Angabe	nicht bestellbar	keine Angabe
AERobot	SEK I	13,07€/500 23,61€/1	nur Restbestände	nein
Dezibot	SEK II	7,71€/1	bestellbar	ja

Tab. 2: Verfügbarkeit einzelner Roboter (KS: Klassenstufe, SEK: Sekundarstufe)

4 Dezibot

Aufgrund dessen, dass kein Roboter unseren Anforderungen vollständig entsprach, brauchten wir eine eigene Lösung. Diese entstand, als Herr Prof. Wagner uns im Rahmen der JIA (Junior-Ingenieur-Akademie) [Te16, S. 8-9], an welcher die Autoren und Autorinnen teilnehmen, einen von ihm entwickelten Prototypen eines Roboters zeigte. Durch die Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Wagner entstand dann der Dezibot (Abb. 1), ein durch Vibration angetriebener Roboter. Er besteht inklusive der gesamten Elektronik aus 21 Bauteilen und wird in C programmiert. Des Weiteren besitzt er einen Infrarotsender, drei Empfänger und einen Mikrocontroller ATtiny261A sowie eine RGB-LED. Der Kilobot wurde als Vorbild genutzt und stark vereinfacht, wobei man allerdings kleine Kompromisse in Bezug auf die Fähigkeiten eingehen musste, wodurch der Dezibot unter anderem viel weniger Speicher besitzt. Obwohl die Entwicklung noch nicht vollständig abgeschlossen ist, entstanden bereits Programme für den Dezibot, wobei die Fortbewegung und die Nutzung der RGB-LED im Vordergrund stand. Außerdem arbeiten wir daran, dass der Roboter die Phototaxis beherrscht.

Baugruppe	Preis
Steuerung	2,28€
Struktur	1,01€
Antrieb	0,83€
Kommunikation	1,64€
Visualisierung	1,03€
Energieversorgung	0,87€
Sonst. Elektronik	0,05€
Gesamt	7,71€

Tab. 3: Preisliste Dezibot



Abb. 1: Der Dezibot

Der Dezibot ist mit 50 mm Durchmesser sehr klein. Somit können auch mehrere Roboter auf einem Tisch laufen. Im Gegensatz zum Kilobot ist der Dezibot mit einem aktuellen Preis von 7,71€ (\$8,59), welchen man durch die Tabelle 3 nachvollziehen kann, pro

Bausatz wirklich kostengünstig und kann über eine Kabelverbindung programmiert werden. Da der Roboter selber montiert werden muss, sollte der Dezibot vorzugsweise in höheren Klassenstufen eingesetzt werden. Aufgrund seiner Größe und seines Preises besteht aber die Möglichkeit, dass jeder Schüler sogar zwei Dezibots in Anspruch nehmen kann. Damit könnte die Kommunikation zwischen zwei Robotern geübt werden, sodass später eine Nutzung des erworbenen Wissens für eine Schwarmapplikation durch die gesamte Klasse denkbar wäre. Die Interaktion der Lernenden würde wertvolle Sozialkompetenzen fördern.

5 Auswertung

Besonders wichtig ist uns, dass jedes Kind einen eigenen Roboter zum Lernen besitzt. Dies lässt sich nur durch einen kostengünstigen Roboter realisieren. Ermöglicht wird das durch den Verzicht auf Getriebe oder Gelenke. Darüber hinaus ist es wichtig, dass der Roboter so klein ist, dass er sich gut auf einem Schultisch bewegen kann. Weiterhin sind die Kosten für die Programmierung zu beachten. Folglich sind besonders die Parameter Preis [RAN12; Ru13] und Bewegungsradius wichtig. Bei der Untersuchung der einzelnen Roboter ließ sich feststellen, dass sie sich in den für uns wichtigen Parametern stark unterscheiden.

Der AERobot eignet sich sowohl aufgrund seiner Größe als auch wegen seines Preises. Er ist einfach zu programmieren und besitzt einen integrierten USB-Anschluss. Leider haben unsere Testkäufe ergeben, dass der Roboter im Augenblick nicht hergestellt wird. Der Kilobot stellt eine viel kleinere Alternative zum AERobot dar. Jedoch ist der Kilobot deutlich teurer und benötigt aufgrund des Overhead-Controllers zu viel Platz. Der Dezibot entspricht den von uns gestellten Anforderungen, weil er klein und einfach ist. Aufgrund dessen, dass er als Bausatz erscheint, kann man neben dem Verständnis für die Software auch ein Verständnis für die elektronischen Komponenten gewinnen. Der Roboter ist so kostengünstig, dass jeder Lernende sogar zwei Roboter besitzen kann, wodurch sich die Möglichkeit der Kommunikation ergibt. Der Light-Tracking Bristlebot ist gut geeignet, um Elektronikkenntnisse zu erwerben, weswegen er sich eher für den Physik- als für den Informatikunterricht eignet. Wir sind der Auffassung, dass man den Roboter aufgrund der Steckplatte leicht durch einen Mikrocontroller erweitern und somit auch softwareprogrammierbar machen kann. Leider ist der Bausatz des Roboters viel zu teuer. Wegen ihres zu großen Platzbedarfs empfehlen wir keine Fahrroboter und bevorzugen deshalb Roboter mit Füßen. Damit hätte der Dezibot als einziger Roboter, der Füße besitzt, das Preisziel von \$10 des AFRON Wettbewerbs 2012 erreicht und eignet sich deshalb am besten für Schuleinrichtungen, wobei wir den AERobot bei einer besseren Verfügbarkeit auch empfehlen würden.

6 Ausblick

Für alle Roboter besteht noch Optimierungspotenzial. An unserem Dezibot würden wir gerne noch einige kleine Veränderungen vornehmen, wie z.B. das Ersetzen der Batterien durch Akkus, wodurch der Roboter noch einmal minimal teurer wird, aber noch immer unter \$10 kosten würde. Man könnte auch versuchen, die Vereinfachungen, die zwischen Kilobot und Dezibot bereits bestehen, auf den AERobot anzuwenden. Eine weitere Überlegung wäre es, den Roboter anstatt mit einer Infrarot- mit einer Funkschnittstelle auszustatten.

Wir sind der Überzeugung, dass sich die Robotik als Kulturtechnik etabliert, weil sie in der Zukunft alle Lebensbereiche des Menschen berühren wird, woraus sich ergibt, dass in Schulen deutlich mehr Roboter als heute eingesetzt werden. Deshalb müssen entsprechende Kompetenzen in der Schule über mehrere Jahre hinweg verstärkt im Mittelpunkt der Vermittlung stehen.

Literaturverzeichnis

- [AF12] AFRON, <http://robotics-africa.org/2012-design-challenge>, 24.04.2017.
- [As17] Asuro Wiki, <http://www.asurowiki.de>, 24.4.2017.
- [Ei12] Eigner, Martin; Gerhardt, F.; Gilz, T.; Nem, F. M.: Informationstechnologie für Ingenieure, Springer-Verlag, 2012.
- [El15] Elmenreich, W.; Heiden, B.; Reiner, B.; Zhevzyk, S.: A low-cost robot for multi-robot experiments. 12th International IEEE Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES), (S. 127-132), 2015.
- [Gé17] Génération Robots, <https://www.generationrobots.com/de/401426-kilobot-controller-board-k-team.html>, 27.04.2017.
- [GG04] Jan Grewe, Robin Gruber: ASURO Roboterbausatz, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, AREXX Engineering, Firmenschrift, 2004
- [Hu14] Hunt, W.; McQuaid, R.; Sussman, J.; Tomko, E.: Introducing a Robotics Club in Albania, Report, Worcester Polytechnic Institute, 2014, 2017.
- [Ka14] Karpelson, M.; Waters, B. H.; Goldberg, B.; Mahoney, B.; Ozcan, O.; Baisch, A.; Meyitang, P.; Smith, J. R.; Wood, R. J.: A Wirelessly Powered, Biologically Inspired Ambulatory Microrobot, In Robotics and Automation, 2014 IEEE Internationale Conference on. IEEE, S.2384-2391, 2014
- [Le04] Lehnert, Uwe: Der EDV-Trainer, Oldenbourg Verlag, München, 2004
- [MI14] MIT News, <http://news.mit.edu/2014/csail-teams-printable-robots-earn-first-place-in-ieee-competition>, 24.04.2017.
- [Os07] Oskiper, T.; Zhu, Z.; Samarasekera, S.; Kumar, R.; Visual odometry system using multiple stereo cameras and inertial measurement unit. In Computer Vision and Pattern

- Recognition, CVPR'07. IEEE Conference on (S. 1-8). IEEE, 2007
- [Pe15] Perez, S. R.; Gold-Veerkamp, C.; Abke, J.; Borgeest, K.: "A new didactic method for programming in C for freshmen students using LEGO mindstorms EV3." Interactive Collaborative Learning (ICL), 2015 International Conference on. IEEE, 2015.
- [PS15] Pabani, H. S.; Shire, A. N.: Overview of Swarm Robotics. International Journal of Engineering Research and General Science Bd. 3 Nr. 1, S. 1029-1034, 2015
- [Ri64] Ringelberg, J.: The positively phototactic reaction of *Daphnia magna* Straus: a contribution to the understanding of diurnal vertical migration. Netherlands Journal of Sea Research 2.3, S. 319-406, 1964.
- [RAN12] Rubenstein, M.; Ahler, C.; Nagpal, R.: Kilobot: A low cost scalable robot system for collective behaviors. In Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on. IEEE, 2012.
- [Ru13] Rubenstein, M.; Ahler, C.; Hoff, N.; Cabrera, A.; Nagpal, R.: Kilobot: A low cost robot with scalable operations designed for collective behaviors. Robotics and Autonomous Systems Nr. 7, S. 966-975, 2014
- [Ru15] Rubenstein, M.; Cimino, B.; Nagpal, R.; Werfel, J.: AERobot: An affordable one-robot-per-student system for early robotics education. Robotics and Automation (ICRA), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015
- [Säl1] Sächsische Staatsministerium für Kultus: Lehrplan Gymnasium Informatik, 2011
- [SB16a] Science Buddies, http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project_ideas/Robotics_p012.shtml, 24.04.2017.
- [SB16b] Science Buddies, <https://store.sciencebuddies.org/advanced-bristlebot-kit.html>, 24.04.2017.
- [Se17] SEG MIT's Origami Inspired Segway Robot http://people.csail.mit.edu/cagdas/tmpAFRON/SEG/SEG_MITs_Origami_Inspired_Submission.html, 05.05.2017.
- [Sl12] Slice of MIT, <https://slice.mit.edu/2012/12/03/everythings-coming-up-robots-at-mit-videos/>, 24.04.2017.
- [SNS11] Siegart, R.; Nourbakhsh, I. R.; Scaramuzza, D.: Introduction to Autonomous Mobile Robots, The MIT Press, 2011.
- [Sp14] Spectrum.ieee, <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/diy/20-robot-mit-wins-aftron-design-challenge>, 24.04.2017.
- [Te16] Deutsche Telekom Stiftung: Junior Engineer Academy, Engineering education in cooperation with European Partner Schools, Firmenschrift, 2016.
- [Th17] The MIT SEG: An Origami-Inspired Segway Robot, <https://sites.google.com/site/mitprintablerobots/home>, 24.04.2017.
- [Tu07] Turgut, A. E.; Gökçe, F.; Celikkanat, H.; Bayındır, L.; Şahin, E.: Kobot: A mobile robot designed specifically for swarm robotics research, 2007
- [Xi12] Xinchejian, [https://wiki.xinchejian.com/wiki/Xinchejian_Shanghai_Hackerspace_AFRON_\\$10_Compensation_submission](https://wiki.xinchejian.com/wiki/Xinchejian_Shanghai_Hackerspace_AFRON_$10_Compensation_submission), 05.05.2017