

UE MiniBots

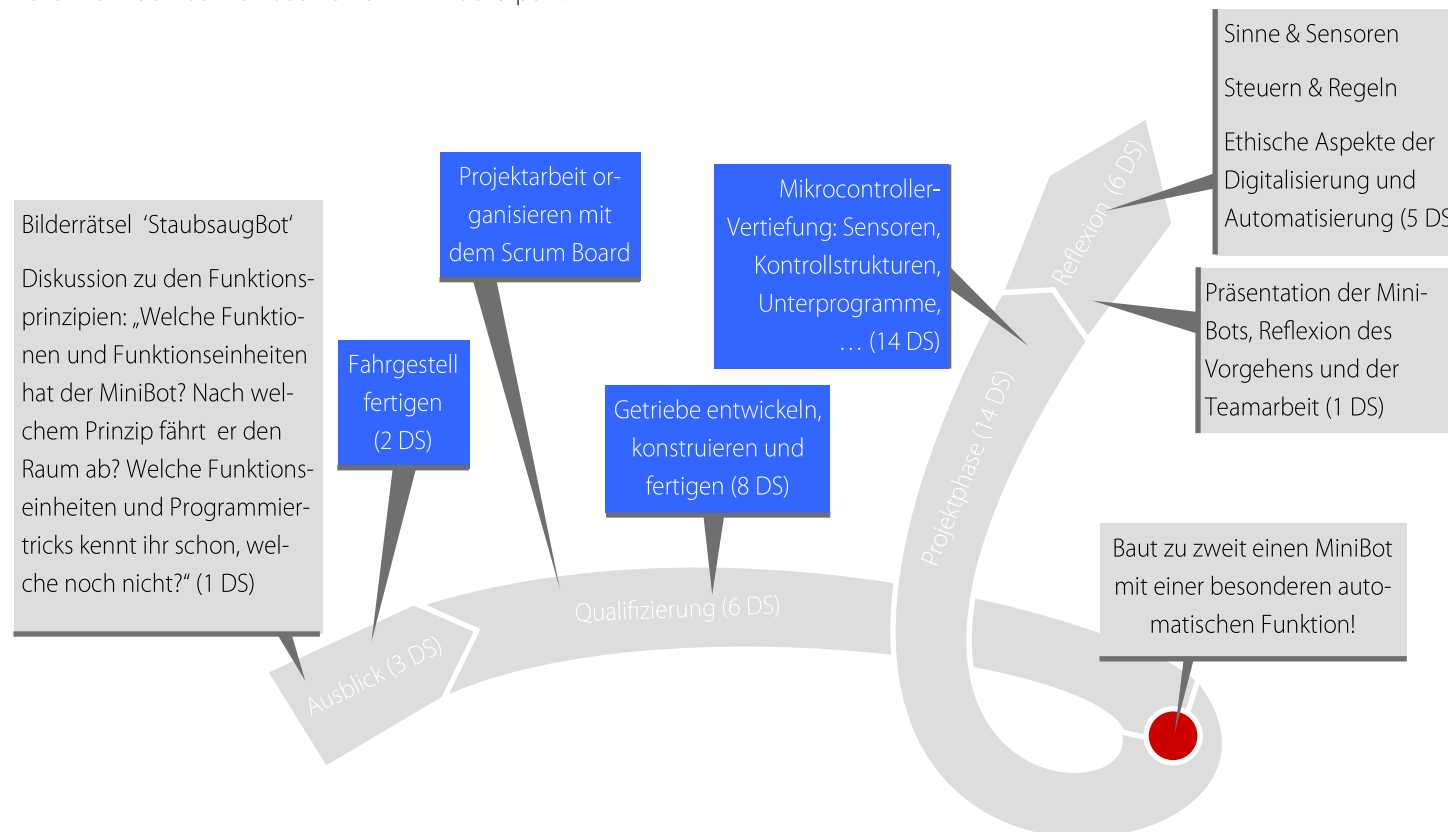
Fahrroboter mit Mikrocontroller-Steuerung

Im Zentrum dieser Unterrichtseinheit steht die Entwicklung eines MiniBots. Das ist ein kleiner, wendiger Fahrroboter, der mithilfe von Sensoren bestimmte Aufgaben automatisiert erfüllt.

MiniBots sind den Schülerinnen und Schülern aus dem alltäglichen Umfeld durchaus bekannt. Dazu gehören etwa automatische Staubsauger, Wischmopps und Rasenmäher. Auch Rohrleitungen wie etwa Gaspipelines werden durch MiniBots regelmäßig abgefahren und auf undichte Stellen untersucht—und bei Bedarf gleich repariert. Im Katastrophenschutz spielen MiniBots als Erkundungsroboter ebenso eine Rolle wie in der Raumfahrt auf fernen Himmelskörpern.

Nach denselben Prinzipien funktionieren aber auch größere automatisierte Fahrroboter, wie sie etwa in den Werkhallen der Automobilindustrie oder in Lagerhallen großer Versandhäuser zum Einsatz kommen. In die Medizintechnik haben MiniBots mit wenigen Micrometern Größe Einzug gefunden und ermöglichen minimalinvasive Untersuchungen und Operationen im Gewebe.

Die Unterrichtseinheit erschließt dieses weite Feld der Robotik. Zugleich kann sie Ausgangspunkt sein für ethische Auseinandersetzungen mit der Digitalisierung und Automatisierung.



UE MiniBots

Rahmen der Unterrichtseinheit:

- Klasse 9 oder 10,
- Dauer: 1 Halbjahr (ca. 29 DS)
- Mikrocontroller, Elektronik-Bauteile und Computer in halber Gruppenstärke erforderlich, außerdem Getriebe-Halbzeuge und Sperrholz
- Werkmöglichkeit für wenige Doppelstunden, idealerweise CNC-Fräse / 3D-Drucker

Ziele und Schwerpunkte:

- fortgeschrittene Kenntnisse im Programmieren und Beschaltung von Mikrocontrollern und im Konstruieren von Antrieben
- Einblick in technische und ethische Dimensionen der Digitalisierung und Automatisierung

Benötigte Vorkenntnisse:

- Grundlagen im Arbeiten mit Mikrocontrollern, technischen Zeichen und Getriebe konstruieren und in der Holzbearbeitung

Neue LernBausteine und ThemenSeiten:

- Arduino2, Getriebe2, Zeichnen2, Zeichnen3 (für CAD)
- Bewegung, Sinne & Sensoren, Digitalisierung, Steuern & Regeln

Ausblick (1-3 DS)

Grundelemente von Fahrrobotern

Fahrgestell

Auch „Chassis“ oder „Untergestell“ genannte tragende Teile von Fahrzeugen, die die Baugruppen (Antrieb, Fahrwerk, Lenkung etc.) und die Nutzlast gegen äußere Krafteinwirkungen stabilisieren.

Antrieb

Einheit aus Motor und Getriebe, mit der eine Maschine bewegt wird.

Fahrwerk

Alle Teile eines Landfahrzeugs, die das Fahrgestell mit dem Untergrund verbinden (z.B. Räder, Radaufhängung, Lenkung).

Lenkung

Einrichtung mit der ein Fahrzeug gezielt in eine Richtung gesteuert werden kann.

Sensor

Elektronisches Bauteil, mit dem Veränderungen in der Umgebung wahrgenommen werden können.

Einstieg in die Unterrichtseinheit

Bewährt hat sich ein verrästelter Einstieg: das Bild eines MiniBots, z.B. eine Nachtaufnahme von einem Staubsaugerroboter, wird peu-à-peu aufgedeckt. Die Ausgangsfrage: „Was ist hier dargestellt?“ mündet in eine Diskussion zu Bau- und Programmprinzipien: „Welche Funktionen bzw. Funktionseinheiten muss der Roboter haben?“ Zu nennen sind als Funktionen beispielsweise: „vorwärts / rückwärts fahren“ und „wenden“, „Staub aufsaugen“, „Hindernisse erkennen“ und „Hindernissen ausweichen“. Dazu muss der Roboter einen *Antrieb*, ein *Fahrwerk* und eine *Lenkung* haben, außerdem *Sensoren*, einen Saugmechanismus und natürlich ein *Fahrgestell*, das all die genannten Baugruppen verbindet. Durch diese einfache Analyse entwickeln die Schülerinnen und Schüler bereits ein grobes Verständnis von MiniBots. Die zentralen (kursiv gedruckten) Fachbegriffe können dabei im Unterrichtsgespräch eingeführt und gesichert werden. Was sich genauer hinter den Baugruppen verbirgt, bleibt aber eine black box und wird im Zuge der Qualifizierungs- bzw. der Projektphase erarbeitet.

Die Frage „Nach welchem Prinzip könnte der Staubsaugerroboter den Raum abfahren?“ lenkt nun den Blick auf den Algorithmus. Auch hier ist das Ziel, ein erstes Verständnis dafür zu entwickeln, wie die genannten Baugruppen sinnvoll angesteuert werden könnten. Offenkundig fährt der Roboter nicht Bahn für Bahn ab, wie man es selbst beim Staubsaugen wohl machen würde. Es stellt sich die Frage: „Warum nicht—was spricht dagegen?“ Hindernisse im Raum (etwa Tisch- oder Stuhlbeine u.a.) würden den Roboter ständig aus seiner Bahn lenken. Technisch machbar, aber nicht leicht zu realisieren (bei automatischen Rasenmähern eher—wieso wohl?). Statt dessen hier anscheinend: Prinzip Zufall. „Wäre das überhaupt sinnvoll?“ Dadurch dass ein Staubsaugerroboter Nacht für Nacht eingesetzt wird und er dabei stets verschiedene Bahnen fährt, könnte eine hohe Wahrscheinlichkeit erzielt werden, dass jede Stelle im Laufe weniger Tage gereinigt würde. „Wie könnte der 'Zufall' programmiert worden sein? In welchem Winkel stehen seine Bahnen zueinander? Verlaufen sie schnurgerade?“

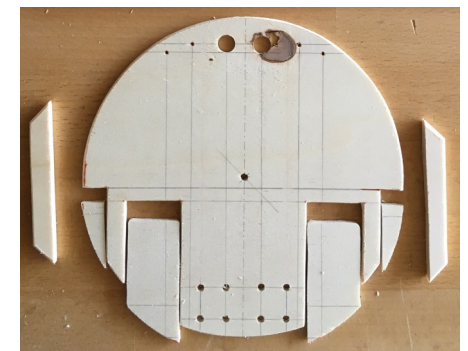
Qualifizierungsbedarf

Die Analyse des Staubsaugerroboters mündet in die Frage: „Könntet ihr schon einen Fahrroboter bauen und programmieren? Was ginge schon, welche Kenntnisse fehlen euch noch?“ Die Lehrkraft benennt gegebenenfalls, welche Mittel (ein Mikrocontroller, Motoren, Getriebemittel etc.) für die Entwicklung des MiniBots zur Verfügung stehen.

Aus einer einführenden Unterrichtseinheit zum Arbeiten mit dem Mikrocontroller (zum Beispiel UE „Reaktionstest“ oder „Disco in der Box“) können die Schülerinnen und Schüler bereits LEDs oder Lautsprecher ansteuern, einen Taster auslesen und beide durch eine Verzweigung im Programmablauf verbinden. Wie man Motoren ansteuert und durch geeignete Sensoren beispielsweise Hindernisse erkennen kann, ist ihnen neu. In Unterrichtseinheiten wie etwa „Kranbau“ oder „Getriebefahrzeug“ haben die Schülerinnen und Schüler Grundlagen der Holzbearbeitung und der Getriebekonstruktion erworben.

Fahrgestell fertigen

Das Fahrgestell für einen MiniBot kann entweder durch eine CNC-Fräse gefertigt und den Schülerinnen und Schülern vorgegeben oder durch sie von Hand gefertigt werden. Im zweiten Fall erhalten die Schülerinnen und Schüler Konstruktionsunterlagen und sägen das Chassis aus einer Sperrholzplatter heraus. Grundlagen der Holzbearbeitung—insbesondere zu Sicherheitsaspekten—sind vorab zu wiederholen. Auf dem Fahrgestell werden die Motoren, der Mikrocontroller sowie eine Powerbank als Spannungsquelle montiert.



Von Hand gefertigtes Fahrgestell mit Stegen zur Aussteifung (eigene Abb.)

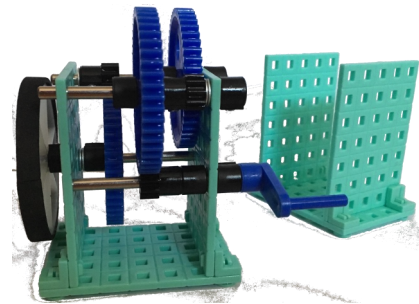
Qualifizierung (6 DS)

Projektarbeit organisieren

In dieser Unterrichtseinheit werden die Schülerinnen und Schüler einen MiniBot selbst entwickeln. Die verschiedenen Fahrroboter können dabei ganz unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Viele Ideen ergeben sich erst in der Projektarbeit. Das Projekt von Anfang bis Ende komplett durchzuplanen ist daher nicht sinnvoll. Dennoch soll die Projektarbeit nicht völlig unorganisiert ablaufen. Aus dem agilen Projektmanagement ist ein Mittel bekannt, das diesen Umständen Rechnung trägt: das Scrum Board. Es dient dazu, für die aktuelle Produktstufe Teilaufgaben festzulegen und wer sie bearbeitet. Da die Schülerinnen und Schüler vermutlich noch nicht mit einem Scrum Board gearbeitet haben, ist es sinnvoll, es in der Qualifizierungsphase einzuführen. Die erste Produktstufe wird dazu gemeinsam festgelegt: der MiniBot soll einen Antrieb haben. Dazu muss ein Getriebe entwickelt werden. Diese Teilaufgabe halten die Schülerinnen und Schüler auf einen kleinen Haftnotizzettel fest und kleben diesen in die doing-Spalte ihres Scrum Boards, da sie auch gleich hiermit anfangen.

Getriebe entwickeln

Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten den Zusammenhang zwischen der Drehzahl und dem Drehmoment eines Motors mithilfe des LernBausteins Getriebe 2. Sie erkennen, dass der eingesetzte Motor zwar sehr schnell, aber nicht sehr kräftig dreht (vgl. LB Getriebe2 Aufg.



Dreistufiges Getriebe für die Demontage-Remontage-Aufgabe (eigene Abb.)

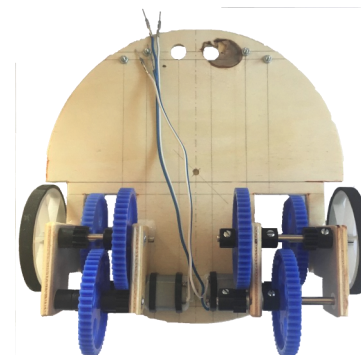
1). Im Zuge einer Demontage-Remontage-Aufgabe erarbeiten sie dann, wie das Drehmoment durch eine Übersetzung ins Langsame vergrößert werden kann. Dazu erhalten sie ein dreistufiges Getriebe, das zwischen zwei Lochplatten montiert ist. In jeder Getriebestufe ist das Überset-

zungsverhältnis 1:5 (ein Stirnrad mit 10 Zähnen treibt eines mit 50 Zähnen an). Die Schülerinnen und Schüler berechnen das Übersetzungsverhältnis insgesamt (s. die Randnotiz und LB Getriebe2 Aufg. 2). Durch einen geeigneten Prüfstand können die Drehmomente ohne Getriebe, mit ein-, zwei- und dreistufigem Getriebe auch gemessen werden (s. die Randnotiz und LB Getriebe2 Seiten 2-3). Ihre Erkenntnisse zur Konstruktion eines dreistufigen Getriebes halten die Schülerinnen und Schüler in Form einer technischen Zeichnung fest (vgl. LB Getriebe1). Dabei wird die Position der Achsen bzw. Wellen und die erforderliche Breite des Getriebes festgelegt.

Durch die Demontage-Remontage-Aufgabe ist nun auch klar, welche Teilaufgaben noch zu erledigen sind, damit der MiniBot einen Antrieb hat: es muss ein Getriebegestell konstruiert und gefertigt und der Antrieb schließlich montiert werden. Auch diese drei Teilaufgaben werden auf Haftnotizzettel notiert und in die to do-Spalte geklebt. Der Zettel für die erste Teilaufgabe „Getriebe entwickeln“ wandert hingegen in die done-Spalte.

Getriebe konstruieren, fertigen, montieren

Die Konstruktion des Getriebegestells erfolgt entsprechend der LernBausteine Getriebe1 (S. 4), Zeichnen1 und Zeichnen2 (Dreitafelbild). Die Fertigung kann entweder mit einer CNC-Fräse erfolgen oder—wie in der Abbildung rechts—von Hand. Für die Montage ergeben sich verschiedene Möglichkeiten (s. die Abb.). Die Haftnotizzettel werden von to do über doing zu done verschoben. Die Schülerinnen und Schüler sollen diese Teilaufgaben stets zusammen bearbeiten.



Fertiges Fahr- und Getriebegestell, Räder im 3D-Druck gefertigt (eigene Abb.)

Übersetzungsverhältnis bei mehrstufigen Getrieben

Das Übersetzungsverhältnis i eines Stirnradgetriebes kann aus der Anzahl der Zähne bestimmt werden:

$$i = (z_{\text{Abtrieb}} / z_{\text{Antrieb}}). \text{ Bsp.: } i = 50 / 10 = 5.$$

Bei mehrstufigen Getrieben werden die Übersetzungsverhältnisse multipliziert, also z.B. $(50:10) \times (50:10) \times (50:10) = 125:1$

Stillstands-Drehmoment

Bei den nach dem LernBaustein Getriebe II bestimmten Drehmomenten handelt es sich um Stillstands-Drehmomente. Der Antrieb wird ja bis zum Stillstand belastet und die dafür nötige Kraft multipliziert mit dem Hebelarm bestimmt.

Das Stillstands-drehmoment (engl.: stall torque) ist eine wichtige Kennzahl zum Vergleich von Antrieben. Um heraus zu finden, mit welchem Drehmoment der Antrieb optimal läuft, muss der Betriebspunkt mit der höchsten Leistung (engl.: maximum power point, kurz mpp) bestimmt werden. Die Leistung P ist proportional zum Produkt aus Drehmoment und Drehzahl: $P = 2\pi f \tau$. Das Drehmoment muss dazu dynamisch, nicht statisch bestimmt werden.

Projektauftrag und Projektphase (14 DS)

Benötigte Materialien pro Zweiergruppe:

Die meisten der folgend gelisteten Materialien können wiederverwendet werden:

Mikrocontroller und Materialien dazu, Auflistung siehe den LernBaustein Arduino 1.

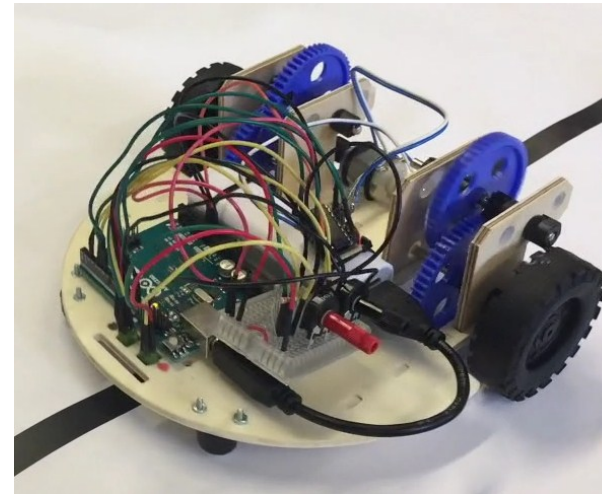
Für die Bauteile für das Fahrgestell, Getriebe-Halbzeuge, eine geeignete Powerbank und Sensoren gibt es eine Bestellliste zu finden. Die Laufäder können übrigens auch selbst konstruiert und im 3D-Druck gefertigt werden. Für das Fahrgestell gibt es eine Anleitung für die Fertigung von Hand oder eine Fräsdatei

MiniBot-Wettbewerbe z.B.:

- RoboCup German Open: www.robocupgermanopen.de
- RoboRAVE Germany: www.roborave.de
- Schul-Robotik-Cup Karlsruhe: www.robotiklab.wordpress.com

Auftrag

Dass der MiniBot nun, wo er einen fertigen Antrieb hat, auch fahren können soll, liegt auf der Hand. Der Auftrag umfasst weitere Funktionalitäten, die aber—wie geschil-dert—nicht zwingend schon jetzt festgelegt werden müssen. Die Erfahrung zeigt, dass einige Schüle-rinnen und Schüler bereits Ideen haben. Andere gehen Schritt für Schritt so durch die Produktent-wicklung, dass sich die jeweils nächste Produktstufe aus der vor-hergehenden ergibt. So entstehen MiniBots, die aus einem Labyrinth herausfinden, andere können einer Linie folgen, einen Raum reinigen, auf einem Tisch fahren ohne herunter zu fallen, ... Auch Wettbewerbe können sich natürlich Anlass für die Entwicklung eines MiniBots sein (s. die Randnotiz). Sinnvoll ist in jedem Fall der Hinweis, dass der MiniBot am Ende über mindestens eine sensorgesteuerte Automatisierung verfügen muss.



Beispiel für einen CNC-gefrästen Linienfolger (eigene Abb.)

Reflexion (4-6 DS)

Die Entwicklung von MiniBots kann Ausgangspunkt für übergeordnete Fragestellungen zur Bewegung in Natur und Technik, zu Sinnen und Sensoren, zum Steuern und Regeln und zur Auseinandersetzung mit ethischen Aspekten der Digitalisierung und Automatisierung sein. Zu all diesen Themen gibt es ThemenSeiten.

Projektarbeit

Die nächste Produktstufe wird typischerweise darin bestehen, dass der MiniBot fahren, wenden und anhalten kann. Dazu müssen die Motoren beschaltet und angesteuert werden. Die Schülerinnen und Schüler ergänzen diese Teilaufgaben auf ihrem Scrum Board und legen durch Kürzel, fest, wer welche Aufgabe bearbeitet. Wertvolle Hinweise finden sie im LernBaustein Arduino1 (S. 22). Dabei frischen sie zugleich ihre Grundkenntnisse in der Arbeit mit dem Mikrocontroller auf. Sinnvollerweise schreiben sie gleich Unterprogramme für das vorwärts fahren, wenden und anhalten. Für die weitere Produktent-

wicklung werden Sensoren nötig sein. Mithilfe von Ultraschallsensoren etwa können Hindernisse erkannt und Abständen gemessen werden. Der Reflexoptokoppler (CNY70) kann als Lichtschranke zum Erkennen von Linien, Tischkanten, Farben usw. dienen. Wie man dieses Sensoren ausliest, erfahren die Schülerinnen und Schüler im LernBaustein Arduino 2

Sicherlich ist es nicht sinnvoll, all diese ThemenSeiten in der Reflexionsphase zu verorten. Einige Aspekte zur Fortbewegung, zu Sinnen und Sensoren oder zum Steuern und Regeln können auch im Laufe der Projektarbeit von Interesse sein und entweder in den ersten 20 Minuten einer Doppelstunde erörtert werden— oder natürlich im Rahmen einer Hausaufgabe.