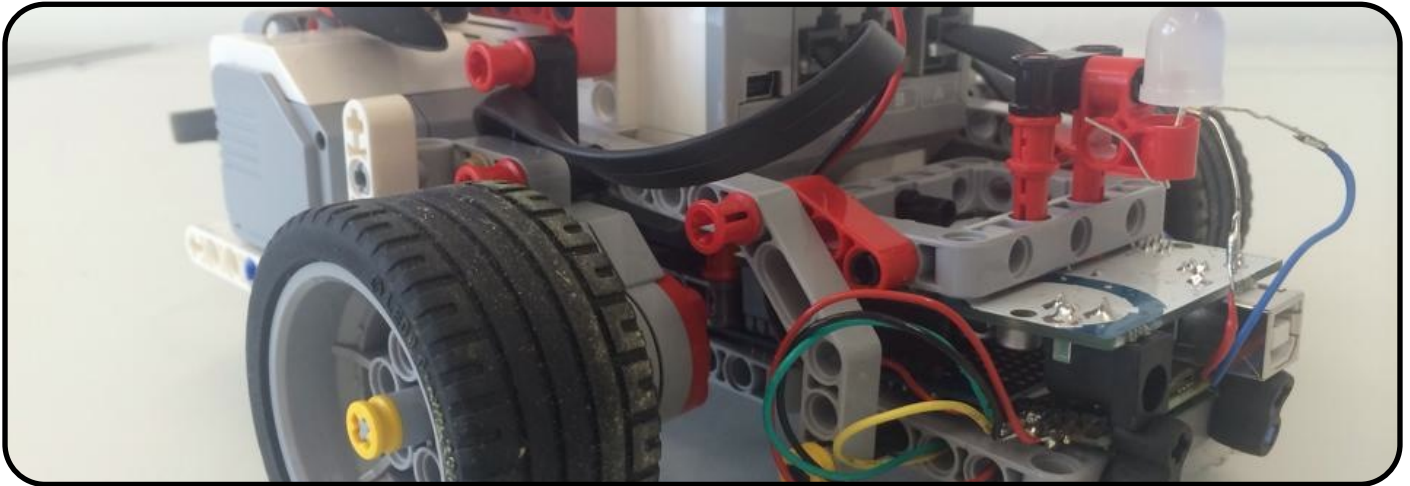


ROBOSLAVE

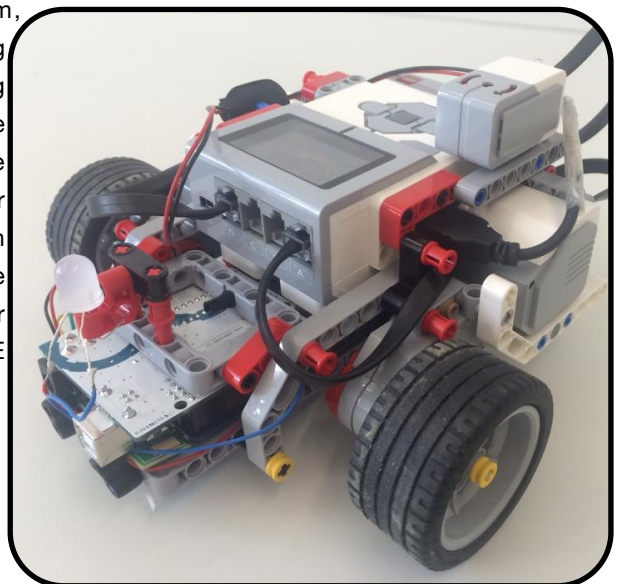
[ˈrɔbɔtɐ] „robota entstammt dem slawischen und bedeutet Arbeit oder Fronarbeit“
de.wiktionary.org/wiki/Roboter



INDOOR LOKALISIERUNG MIT PASSIVEN RFID-TRANSPONDERN

Das vorliegende Dokument beschäftigt sich mit der Lokalisierung eines autonomen Fahrzeuges (Abb. 1) mittels odometrie und im Boden versenkter passiver RFID-Transponder. Dabei ergänzen die passiven RFID-Tags (ISO/IEC 14443) als Bezugssystem die *p r o b a b i l i s t i s c h e* Ortsbestimmung (Positionskorrektur). Es wird untersucht, ob eine Indoor-Navigation unter Einsatz dieser beiden Ansätze umsetzbar ist, Schwachstellen aufgezeigt und mögliche Verbesserungen evaluiert. Das Fahrzeug selbst ist mit dem Lego EV3 Bausatzes konstruiert und durch eine Arduino Platine ergänzt. Des weiteren erweitert den EV3-Stein das Fahrzeug durch ein Gyroskop (Lego Kreiselsensor) und liefert die notwendigen Drehzahlmesser

in den beiden Motoren. Der Arduino ist mit einem NFC-Reader-Shield (Adafruit PN532 NFC/RFID) bestückt und durch ein Bluetooth-Modul (BlueSMIRF) erweitert. Beide Systeme kommunizieren über ihre Bluetooth-Schnittstellen mit einem Computersystem, welches die Auswertung der Sensorik, die Steuerung der Aktuatoren, die Wegfindung und die Visualisierung aller relevanten Daten übernimmt. Die eingesetzte Software ist mit der Processing IDE programmiert.



MOTIVATION

Bei einem Besuch eines Vortrags am Fraunhofer IIS im November 2013 zum Thema Lokalisierung in der Logistik kam unter anderem die Positionsbestimmung von Flurförderfahrzeugen in Lagerhallen zur Sprache. Dabei kommen heutzutage, neben anderen Systemen, auch im Boden versenkte RFID-Transponder zum Einsatz. Diese Variante der Selbstlokalisierung ubiquitärer Geräte warf die Frage in den Raum, ob jenes System auch in gewöhnlichen Indoor-Umgebungen eingesetzt werden kann.

Wenige Wochen später wurde an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden am Standort Amberg in einer der Lehrsäle der Boden entfernt, um Renovierungsarbeiten durchzuführen. Diese Gelegenheit ergriff Herr Prof. Dr. -Ing Dominikus Heckmann (OTH AW, Fakultät EI, Lehrgebiet Mensch-Computer-Interaktion) um mit seinen Studenten der Medieninformatik im Rahmen der Vorlesungen „Mensch-Computer Interaktion“ und „Mobile and ubiquitous Computing“ das Projekt „Intelligenter Boden“ ins Leben zu rufen. Dabei ging es um die Umsetzung eines RFID- Transponder-Rasters unter dem

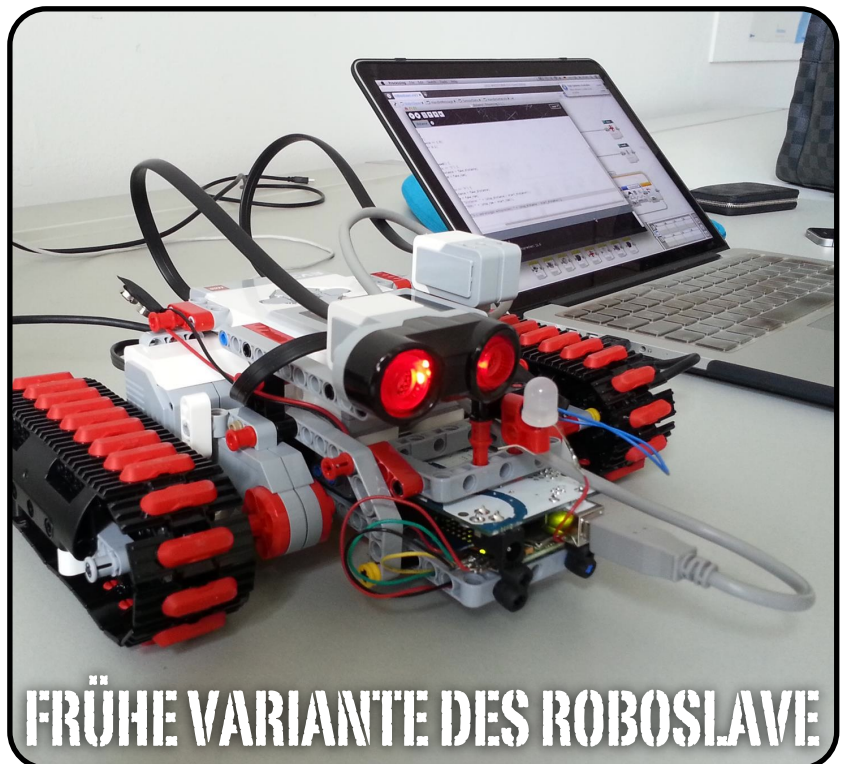
neu verlegten Boden (in Anlehnung an die Flurförderfahrzeuglokalisierung).

Nach Abschluss dieses Vorhabens widmeten sich die Studenten der Umsetzung diverser Systeme, welche auf die Verwendung der RFID-Transponder beruhen. Da zu diesem Zeitpunkt neue Hardware in Form von Arduino single-board microcontrollern und Lego EV3 Education Paketen angeschafft wurden, kam uns die Idee, einen auf Lego EV3 basierten Roboter zu konstruieren, der mittels Arduino und einem RFID-Reader automates Fahren ermöglicht. Hieraus entstand das Projekt RoboSLAVE (Robotic Self-Locating Vehicle).

Ziel dieses Projekts war es ein autonom steuerndes Fahrzeug zu konstruieren, welches neben der Odometrie als grundlegende Positionsbestimmung, eben auch die Fixpunkte, extrahiert aus den

passiven RFID-Transpondern im Boden, zur Lokalisierung bzw zur Korrektur der Position heranzieht.

Im folgenden wird das Projekt, die zu Grunde liegende Technik und die dafür entwickelte Software näher erläutert. Abschließend findet eine Bewertung der Ergebnisse statt, auf jenen verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten bzw Erkenntnisse fußen.



FRÜHE VARIANTE DES ROBOSLAVE

MATERIALIEN

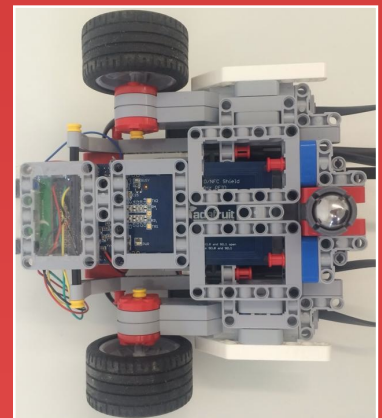
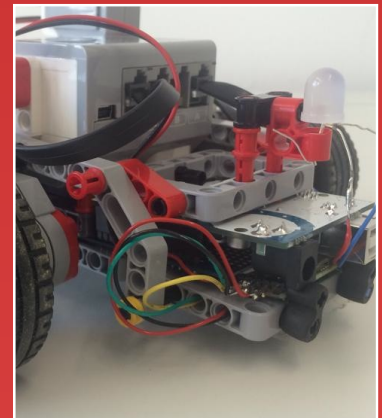
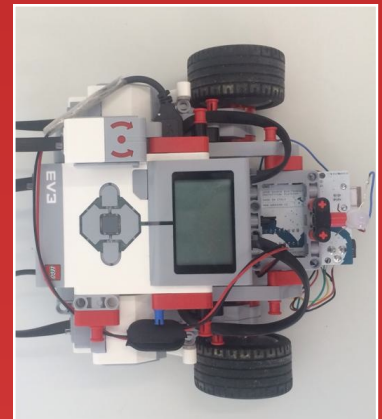
Das Fahrzeug

Das Grundgerüst ist mit dem Lego EV3 Education Basispaket und einigen Teilen aus dem Lego EV3 Erweiterungspaket konstruiert. Die Kinematik des Roboters übernehmen zwei rotatorische Achsen im vorderen Teil des Fahrzeugrahmens. Diese werden mittels zweier synchronisierter Legomotoren (EV3-Large-Servo-Motor-45502) angetrieben. Als drittes Rad dient eine am Heck angebrachte Kugel. Dieser Aufbau ermöglicht dem Fahrzeug eine Drehung um die Hochachse (gieren). Zentral gelagert, um das Gewicht gleichmäßig zu verteilen, befindet sich der EV3-Stein (EV3-Brick). Dieser Embedded-Computer versorgt alle Komponenten mit Strom, steuert die Motoren und liest die Sensorik aus. Das verbaute Bluetooth-Modul stellt die Kommunikationsschnittstelle zur zentralen Datenverarbeitung her. Zusätzlich ist am EV3-Stein ein Lego Kreisel sensor (EV3-Gyro-Sensor-45505) angebracht.

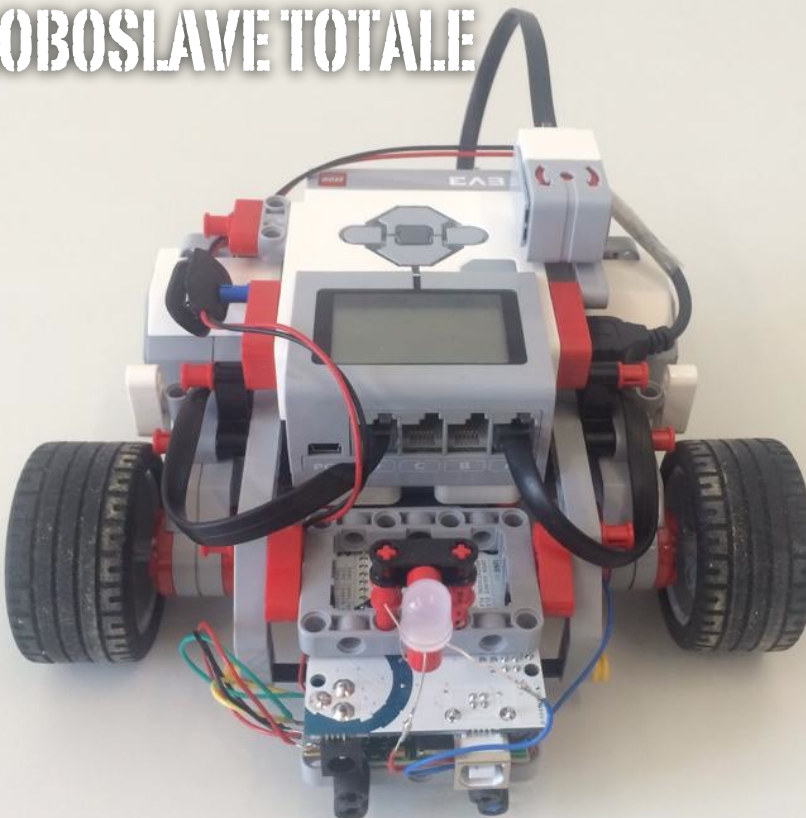
Im Unterbodenbereich befindet sich der Arduino single-board microcontroller. Dieser ist in das Legokonstrukt eingebettet. Er ist mit einem Bluetooth-Modul (BlueSMIRF) zur Kommunikation und einem NFC-Reader (Adafruit PN532 NFC/RFID) zum Auslesen der passiven RFID-Tags verbunden. Zur besseren Visualisierung, ist außerdem eine grüne LED angebracht. Die Stromversorgung erfolgt über ein eigens gefertigtes Kabel, das am USB-Port des EV3-Steins angeschlossen ist.

In der ersten Variante des Fahrzeuges wurde der Antrieb über zwei Ketten realisiert. Dieser Ansatz verursachte starke Vibrationen, welche den Gyrosensor zu fehlerhaften Messdaten führte. Zudem ist der Schlupf bei Vollgummirädern deutlich geringer, wodurch bei gleichem Vortrieb weniger Energie verbraucht wird (Die Motoren können ohne Geschwindigkeitsverlust mit niedriger Drehzahl betrieben werden). Später erwies sich die Befestigung des Gyrosensors als zu instabil und erzeugte ungewollte Winkelbeschleunigungen, welche zu falschen Rotationsmessungen führten. Dies konnte durch einen festeren Aufbau reduziert werden.

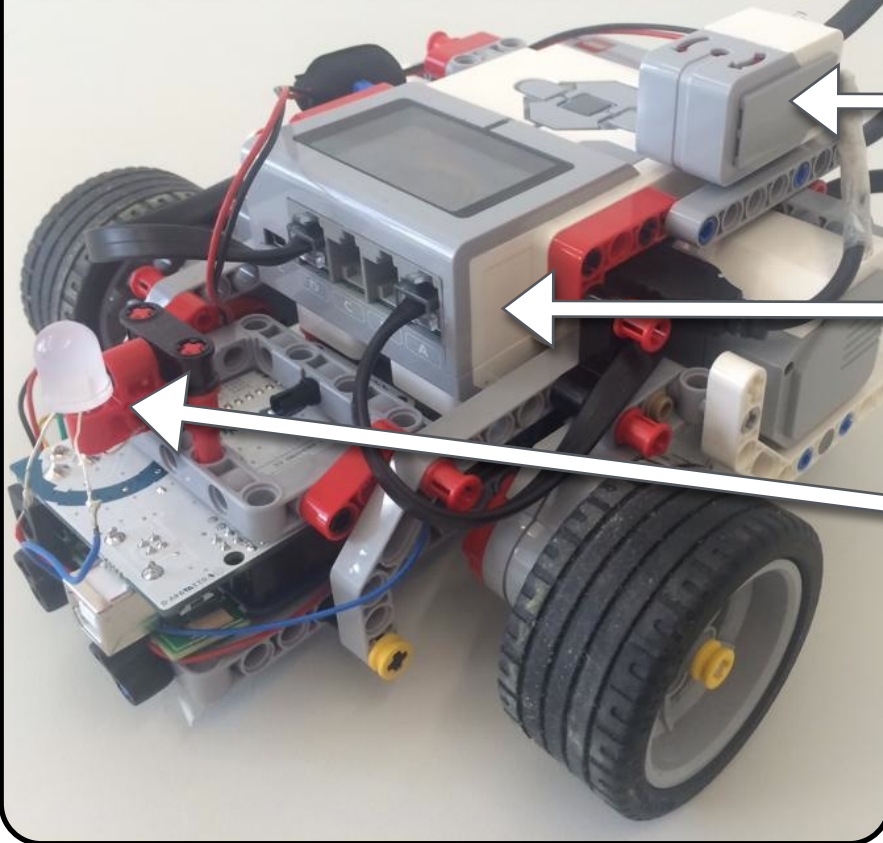
ROBOSLAVE



ROBOSLAVE TOTALE



ROBOSLAVE FRONTANSICHT

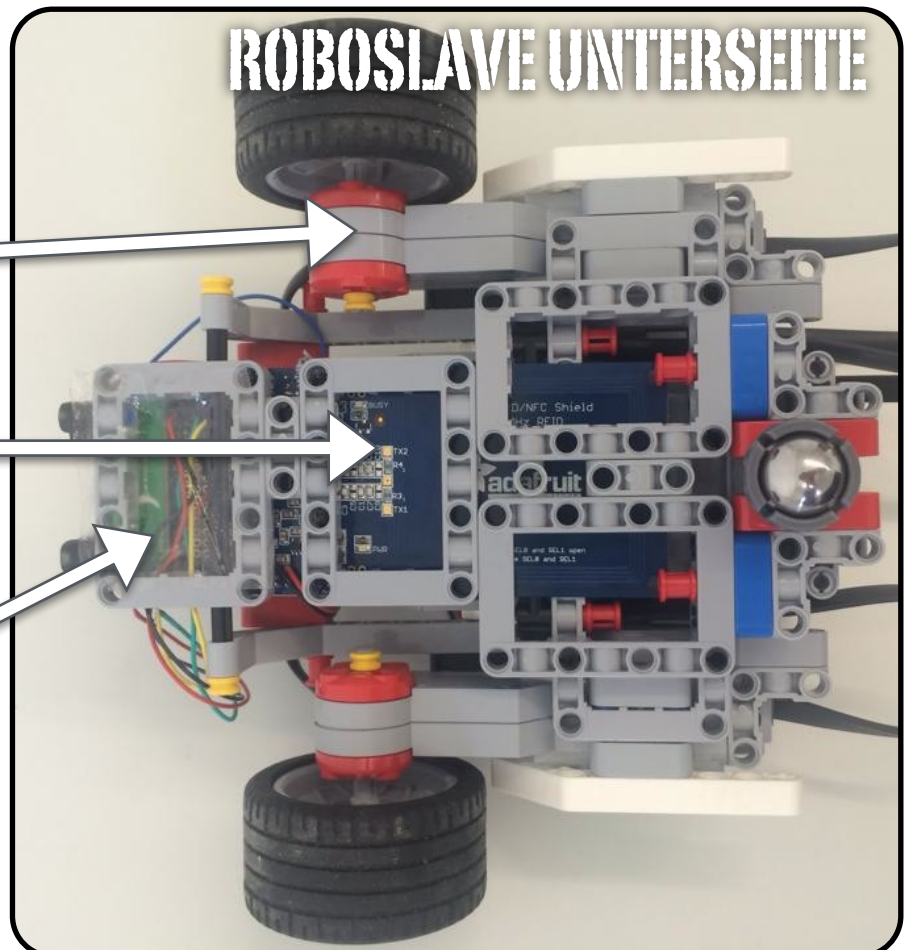


Gyrosensor

EV3-Stein

LED

ROBOSLAVE UNTERSEITE

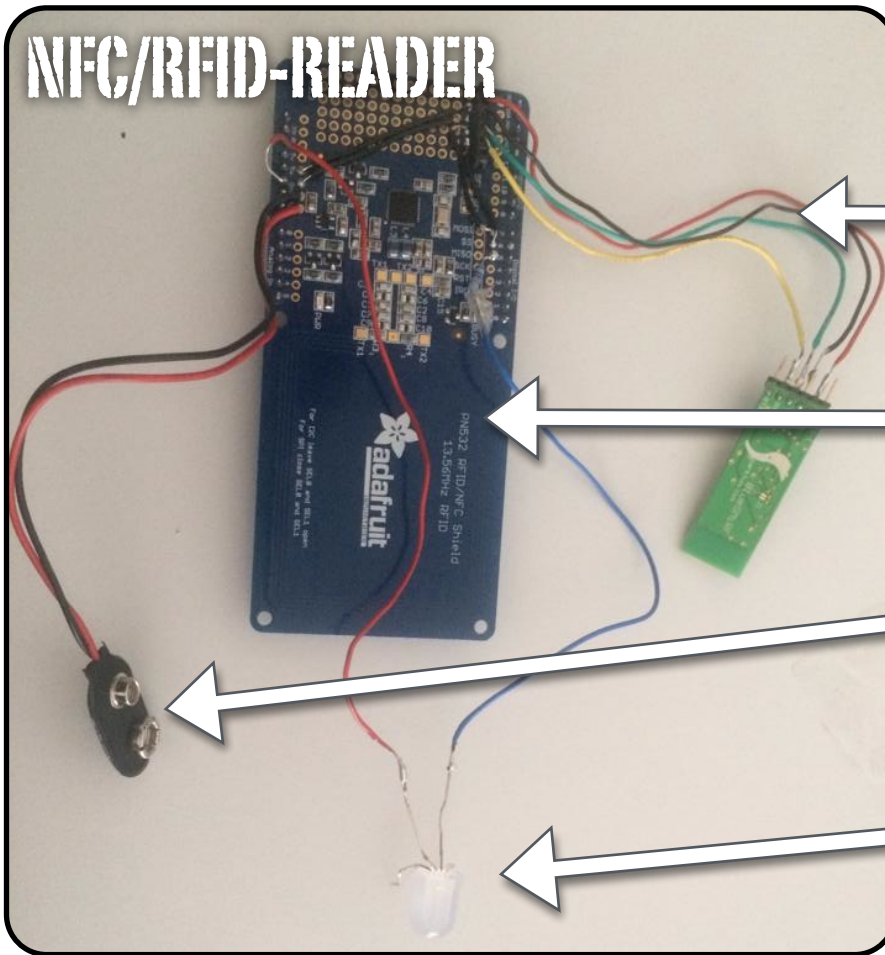


Motor

RFID-Reader / Arduino

Bluetooth-Modul

NFC/RFID-READER



Bluetooth-Modul

Adafruit NFC/RFID

Stromversorgung

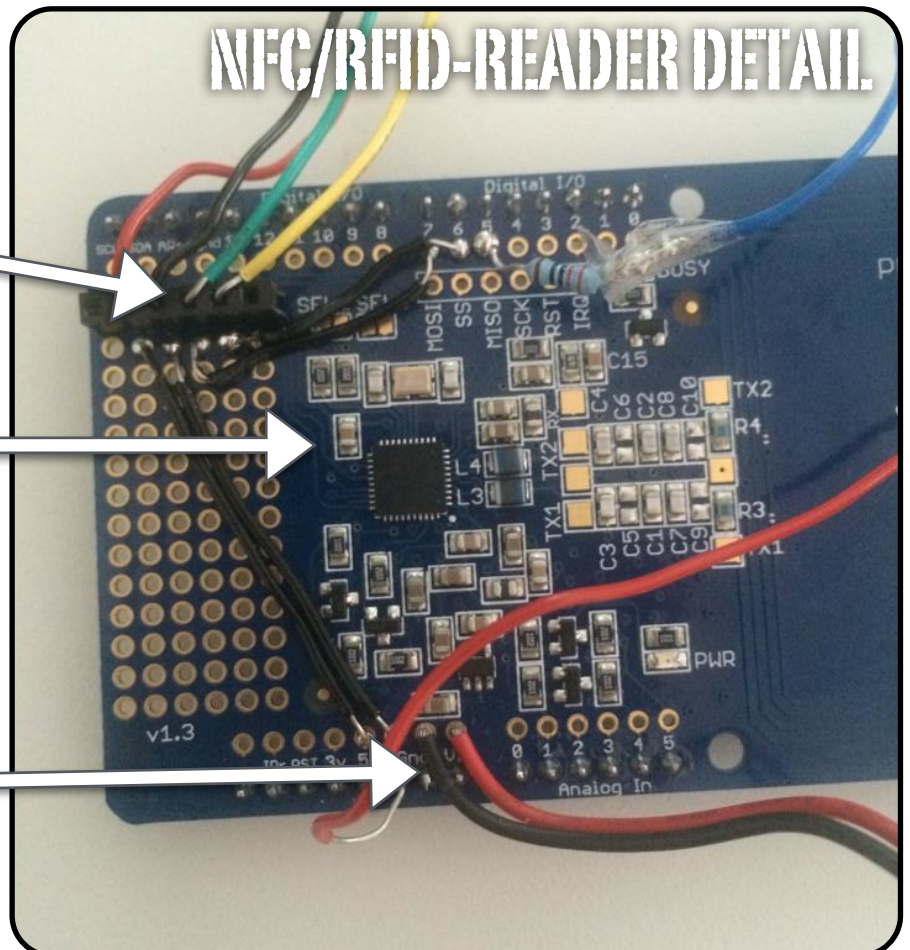
LED

NFC/RFID-READER DETAIL

Bluetooth-Modul

Adafruit NFC/RFID

Stromversorgung

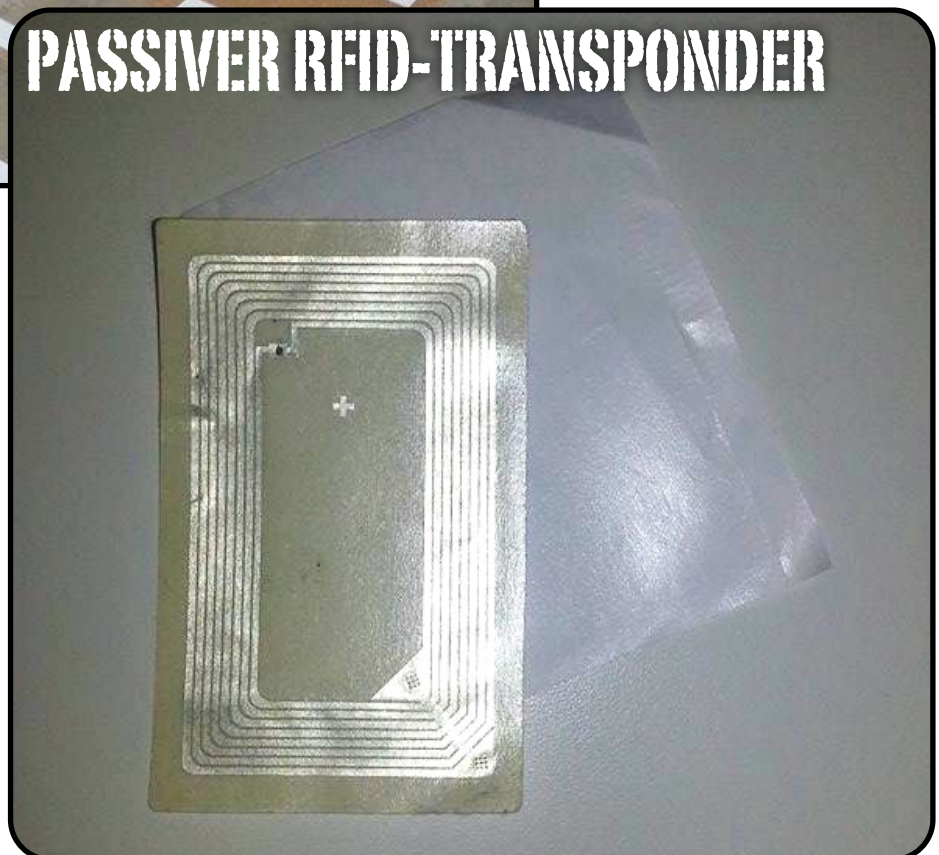


Die RFID-Transponder

Wie im Projekt „Intelligenter Boden“ ([LINK](#); [VERWEIS ka](#)) beschrieben, befinden sich auf ca. 35m² Grundfläche des Raumes über 500 passive RFID-Tags nach ISO/IEC 14443 (13,65Mhz). Diese sind in einer Netzstruktur mit 25cm Kantenlänge verlegt und bedecken ca. 3/4 des Raumes.



PASSIVER RFID-TRANSPONDER

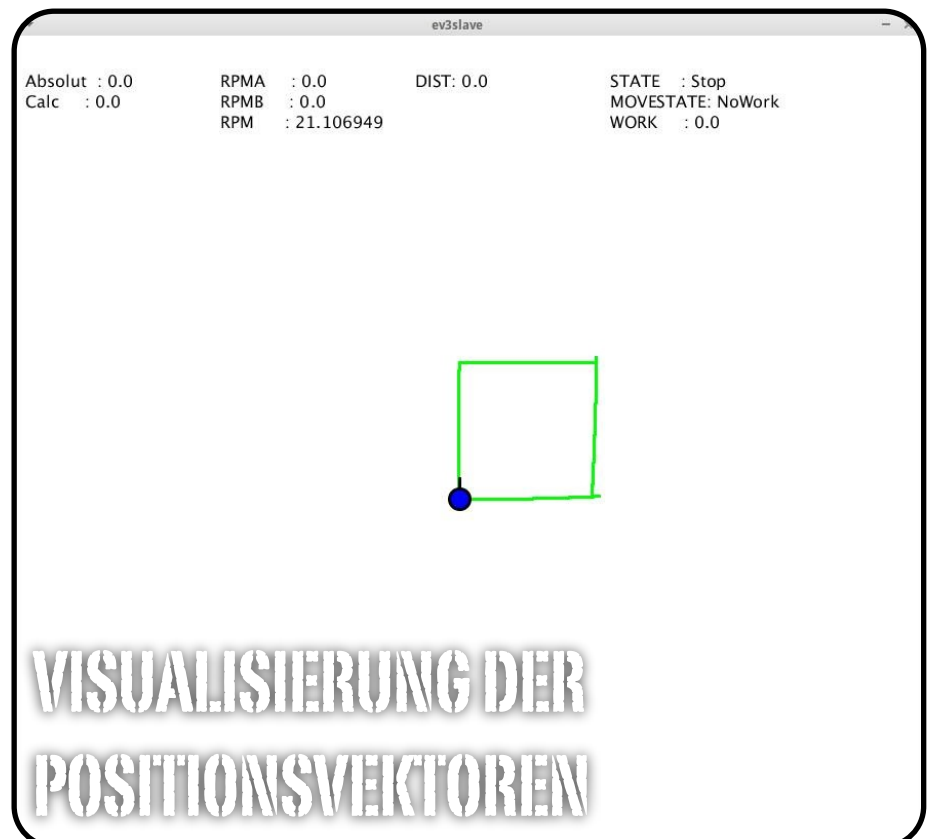
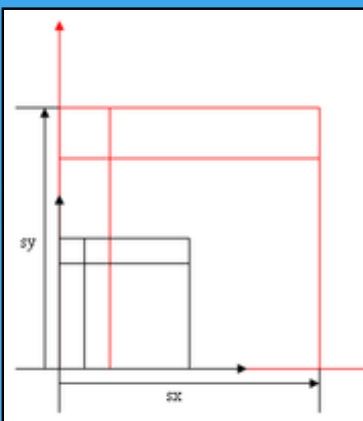
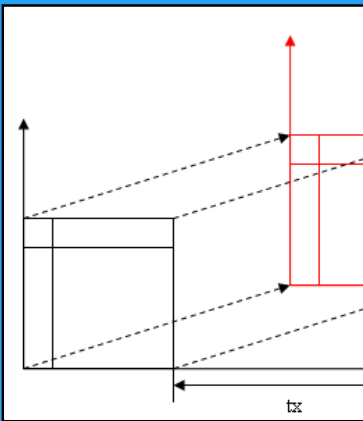
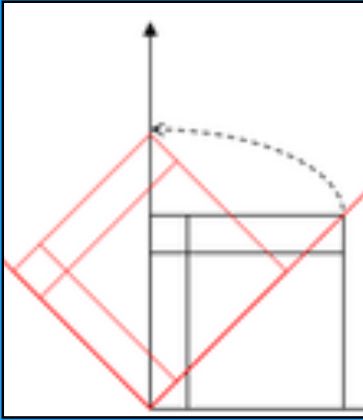


METHODEN

Abfahren vorgegebener Routen - Lokalisierung über Odometrie

Um ein Referenzbild des Fahrverhaltens unter ausschließlicher Verwendung der Odometrie zu erzeugen, wurde zu Beginn auf die Positionskorrektur durch die RFID-Tags verzichtet. Zudem vereinfacht es das Identifizieren einzelner Störfaktoren und ermöglicht es geeignete mittlere Fehlerwerte zu ermitteln. Das Fahrzeug startet in diesem Versuchsaufbau von einer vorgegebenen Richtung und Position im Raum. Danach wird in der Software eine Route bestehend aus frei wählbaren Fixpunkten vordefiniert. Schließlich fährt der Roboter diese Route bestmöglich ab. Dabei werden die Positions- und Zielvektoren in der Visualisierung dargestellt. Daraus ergeben sich aus dem Abmessen der Endposition (nach Abfahren aller Zielpunkte der Route) und dem Vergleich selbiger aus der Software feste Fehlerwerte. Aus der Wiederholung dieses Versuchs bildet sich ein mittlerer Fehlerwert für die Rotations- und Translationsbewegungen. Diese werden zur Fehlerkorrektur herangezogen.

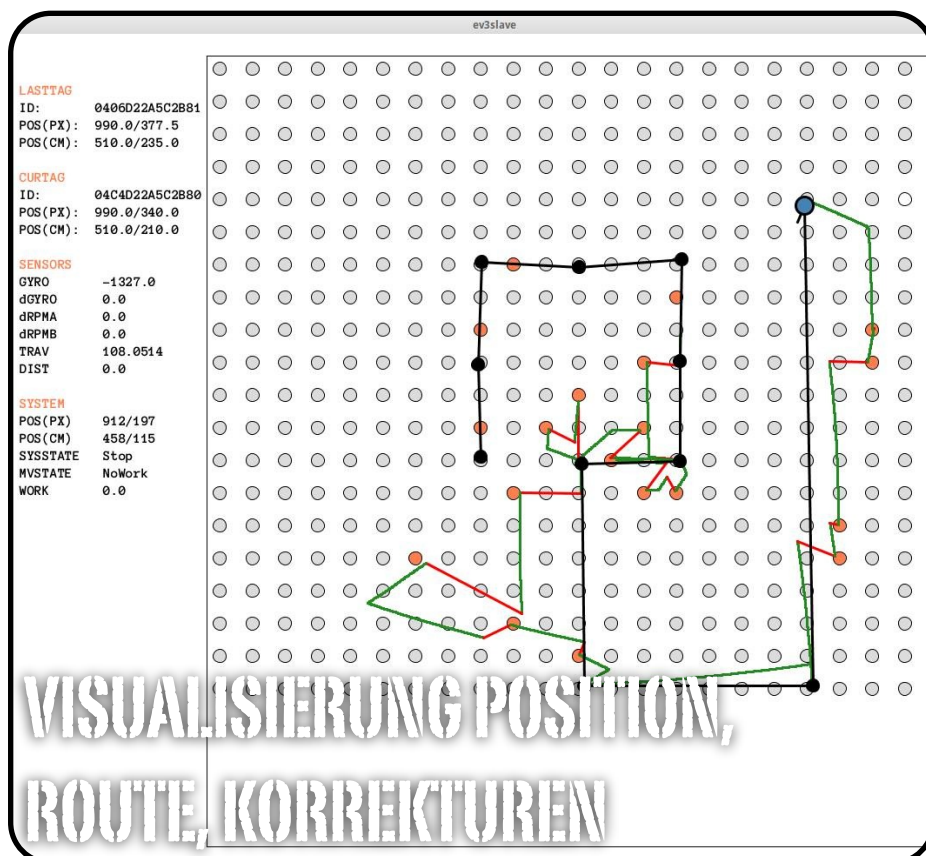
Durch die verwendeten Fehlerkorrekturen sinkt der mittlere Fehler bei der Positionsbestimmung auf $\pm 10\text{cm}/\pm 10\text{cm}$ und die Ungenauigkeit des Richtungsvektors auf $\pm 2^\circ/\pm 2^\circ$. Diese Fehlerwerte steigen (typisch für die Odometrie) bei Weglängen über 2,7 Volldrehungen (2,7 Volldrehungen $\sim 25\text{cm}$) des Motors.



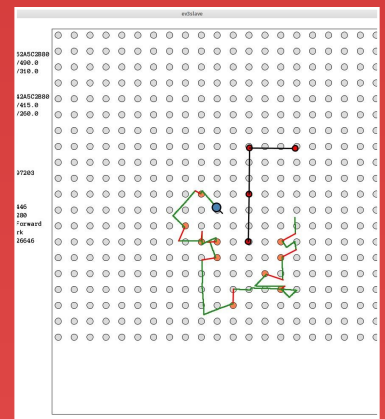
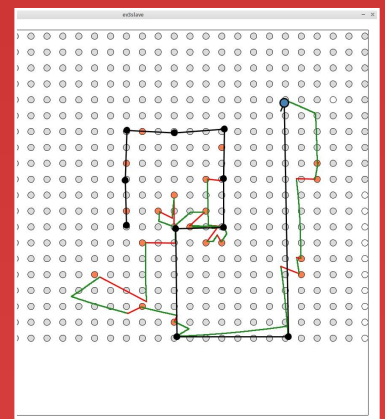
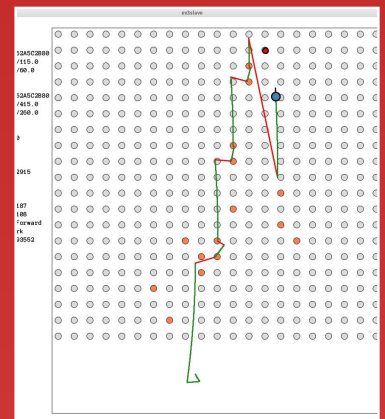
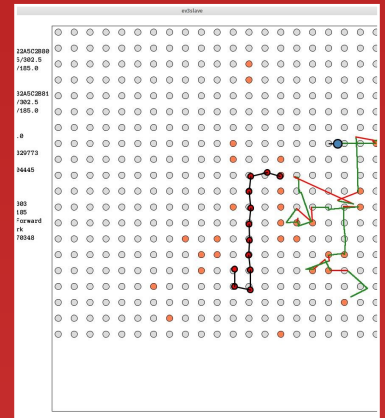
Abfahren vorgegebener Route - Lokalisierung über Odometrie und RFID-Tags

Die aus der Odometrie ermittelte Position wird bei Erreichen und erfolgreichem Einlesen eines RFID-Transponders neu berechnet. Trifft das Fahrzeug bei einer Vor-/Rückwärtsbewegung auf einen Transponder, korrigiert es seine karthesische Position Anhand der RFID-Positionskarte (welche als statische Information vorliegt). Es wird von der aktuellen Position des Fahrzeugs ein Vektor zur Transponderposition errechnet und mit einem Skalar von 0,9 multipliziert. Diese Korrektur ist notwendig, da das NFC/ RFID-Lesegerät den Transponder bereits in einem 5cm Radius erfassen kann und somit die tatsächliche Position im Durschnitt um diesen Faktor abweicht (best practice).

Wird ein Transponder ausgelesen, wird dieser temporär gespeichert. Erreicht das Fahrzeug einen zweiten Transponder, wird zusätzlich zur Positionskorrektur eine Richtungskorrektur durchgeführt. Dabei wird ein Richtungsvektor vom letzten zum jetzigen Tag gebildet und dieser mit dem Fahrzeugeigenen Richtungsvektor verglichen. Ist die Winkeldifferenz größer einer fest definierten Schranke, wird der Richtungsvektor des Fahrzeugs um diesen Winkelunterschied korrigiert.



TESTS



Kidnapped robot problem

In robotics, the kidnapped robot problem commonly refers to a situation where an autonomous robot in operation is carried to an arbitrary location. This is a very serious issue, and because the robot only computes its position in accordance with mathematical models, it is difficult to determine whether or not its position is being accurately reported. [...] [1]

Durch die Methodik der Lokalisierung über RFID-Transponder, löst das Fahrzeug das „kidnapped robot problem“ nach dem Einlesen zweier Tags. Spätestens zu diesem Zeitpunkt ist die aktuelle Position und Richtung aktualisiert worden.

Software

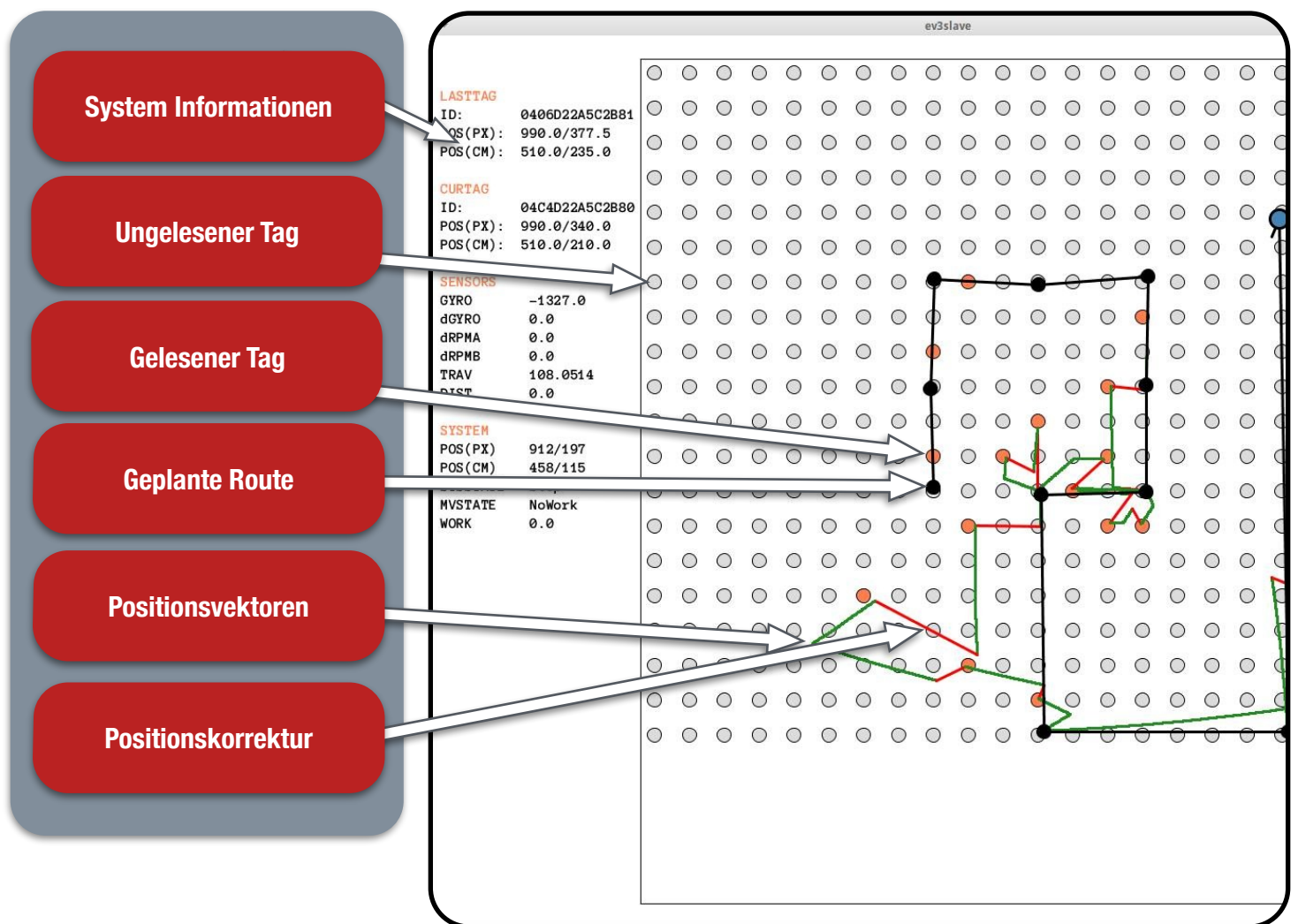
Die gesamte Software liegt in einem GitHub Repo (bzw. ImgShack) und ist dort für sich näher beschrieben. Der exakte Aufbau der Softwareteile ist in diesem Dokument nicht näher beschrieben.

Processing Sketch Visualisierung: <https://github.com/>

Arduino Sketch: <https://github.com/>

Lego EV3 Programm: <https://github.com/>

VISUALISIERUNG IM DETAIL



ERGEBNISSE

Die einfache Positionskorrektur durch passive RFID-Transponder ergänzt hervorragend die durch Odometrie ermittelte probabilistische Position des Fahrzeugs. Neben dem „kidnapped robot problem“ kann das Fahrzeug ebenfalls von einem beliebigen Punkt im Raum starten. Natürlich ist der Roboter auf diejenigen Räume begrenzt, in denen diese Transponder verlegt sind.

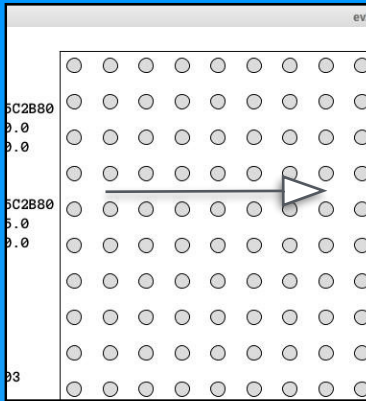
Diese Positionskorrektur funktioniert ebenfalls nur, wenn das Fahrzeug auf einen Transponder trifft und diesen erfolgreich auslesen kann. In den Versuchsaufbauten kam es des öfteren zu der misslichen Lage, dass das Fahrzeug zwischen den Transpondern fuhr und deswegen eine Korrektur nicht möglich war. Zudem ist die Reichweite passiver Transponder deutlich geringer als bei Aktiven. Dies begünstigt die Wahrscheinlichkeit, dass das Fahrzeug den Raum durchquert ohne einen Transponder einlesen zu können. (ABB FAHRZEUG ZWISCHEN TRANSPONDERN)

Aus dem Verfahren, wie der Richtungsvektor angepasst wird, ergeben sich zwei grundlegende Probleme. Zum einen kann der Raum durchquert werden, ohne zwei Tags in Folge zu erreichen, zum anderen wird der Richtungsvektor zum Vergleich sehr statisch errechnet. Wie in den Abbildungen (3 und 4) kann das Fahrzeug in unzähligen Varianten zwei Tags überfahren. Jedoch unterscheidet hier der Algorithmus nicht. Eine Feldstärkemessung kommt bei passiven RFID-Transpondern nicht in Frage.

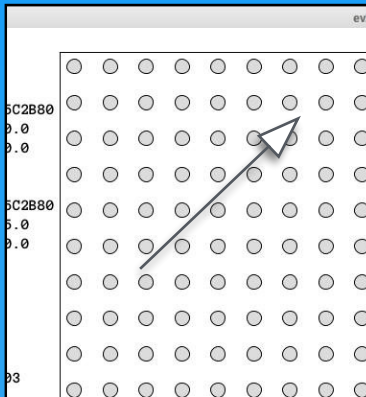
DISKUSSION

Die Lokalisierung kann durch verschiedene Änderungen am Aufbau positiv beeinflusst werden. Eine günstige Möglichkeit besteht darin, das Fahrzeug mit mehreren RFID Lesegeräten auszustatten. Diese sollten zueinander den selben Abstand haben wie die RFID Transponder. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit, dass das Fahrzeug ohne Erkennung eines Tags die Routenvorgabe abschließt verringert.

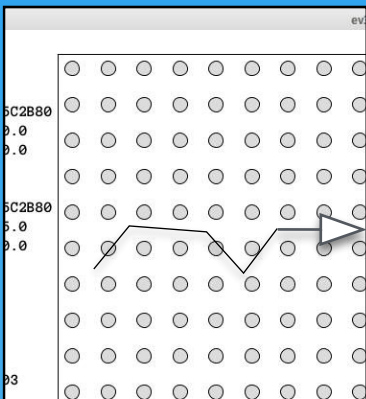
Eine weitere Optimierung könnte erzielt werden, indem das RFID-Transpondernetz dichter verlegt wird. In diesem Aufbau beträgt die Kantenlänge 25cm - eine Verringerung auf 12,5cm würde ebenfalls einer erkenntnisfreien Fahrt vorbeugen.



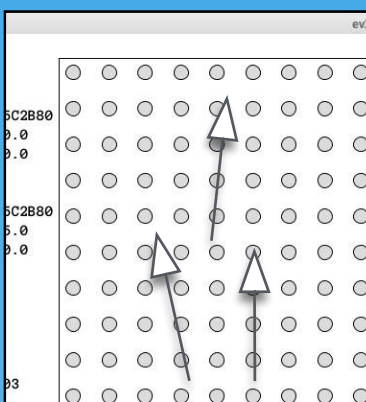
1. Fahrzeug zwischen Transpondern



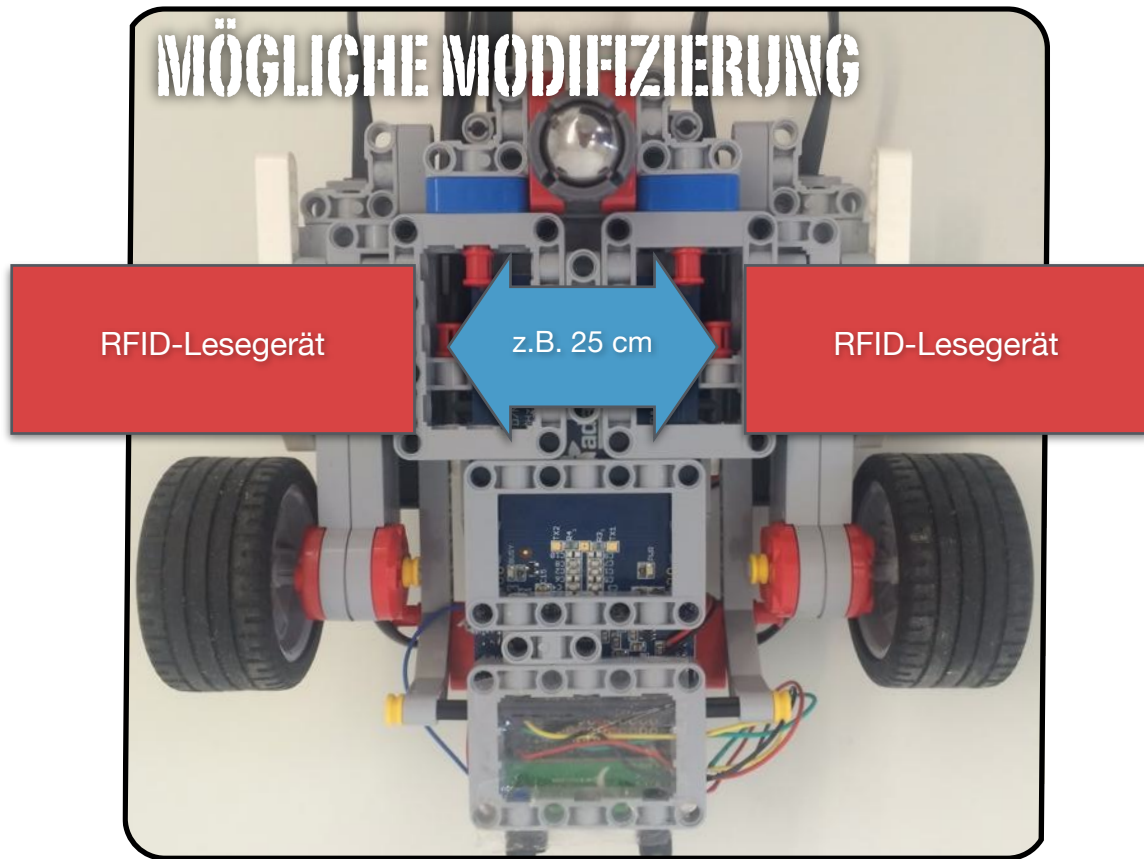
2. Fahrzeug zwischen Transpondern



3. Fahrzeug liest einen RFID-Tag



4. Fahrzeug liest zwei Tags (versch. Varianten)



LITERATURVERZEICHNIS

- [1] http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-27180-9_36