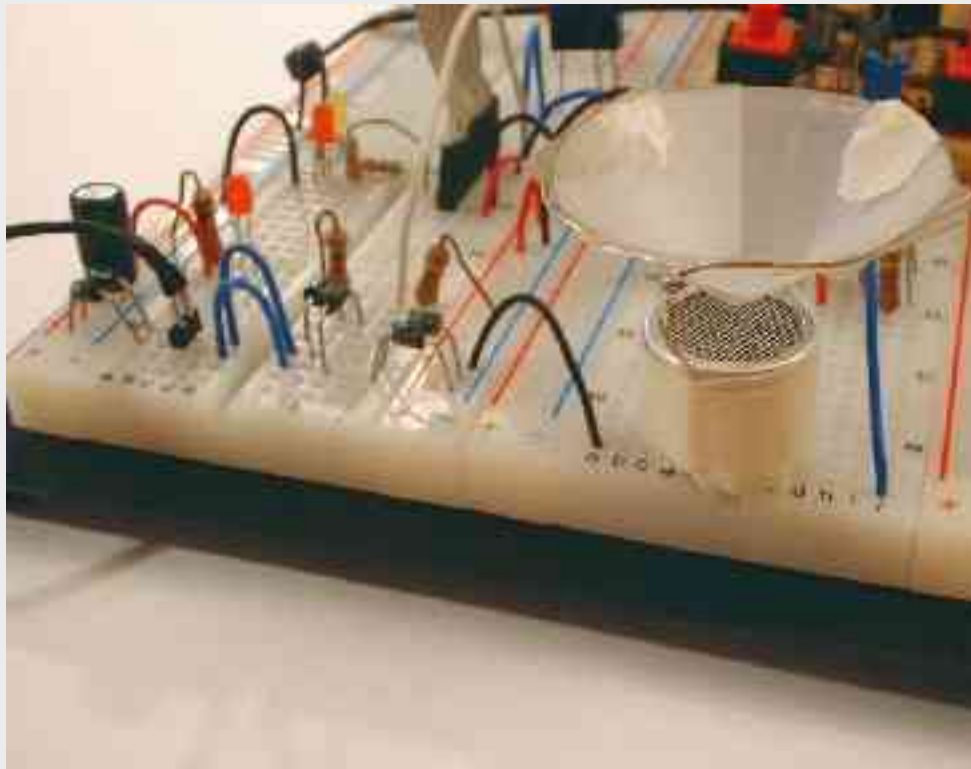


Positionsbestimmung per Ultraschall



Entwicklung eines
Ortungssystems
für Lego Mindstorms Roboter

Lehrstuhl Echtzeitsysteme / Eingebettete
Systeme

Stephan Höhrmann, 22. April 2004



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Über uns:

Arbeitsgruppe Echtzeitsysteme / Eingebettete Systeme

- ▶ **Eingebettete Systeme** sind Computer, die unsichtbar in anderen Geräten eingebaut sind, um diese zu steuern.
 - ▶ Beispiele: Radiowecker, TV-Fernbedienung, Handy, Auto, Fahrstuhl, Flugzeug, Raumsonden,...
- ▶ **Echtzeitsysteme** heißen sie, wenn das genaue Timing des Programms entscheidend für die Funktion ist.
 - ▶ Beispiel: zu früh oder zu spät auslösender Airbag im Auto
- ▶ Es gibt davon viel mehr als von den Geräten, die man normalerweise als Computer wahrnimmt.
- ▶ Auch für sie muß Software entwickelt werden, dabei sind die Anforderungen anders als bei PC-Programmen.



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Entwicklung von Eingebetteten Systemen



- ▶ Typische Anforderungen an Eingebettete Systeme:
 - ▶ Günstig in großen Stückzahlen herzustellen
 - ▶ Robust, insbesondere fehlertolerant
 - ▶ Sicherheit, die Programme dürfen keine Fehler enthalten (Flugzeugsteuerung, Bestrahlungsgeräte, Raumsonden,...)
- ▶ Einschränkungen bei der Entwicklung:
 - ▶ Durch den Kostendruck nur sehr wenig Ressourcen (langsamer Prozessor, sehr wenig Speicher)
 - ▶ Batteriebetriebene Geräte dürfen nur minimalen Stromverbrauch haben
 - ▶ Es gibt kaum geeignete Entwicklungsumgebungen und Programmiersprachen, die sich für Echtzeitaufgaben eignen

Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Beispiel: Ariane 5

(Der fehlgeschlagene Jungfernflug)

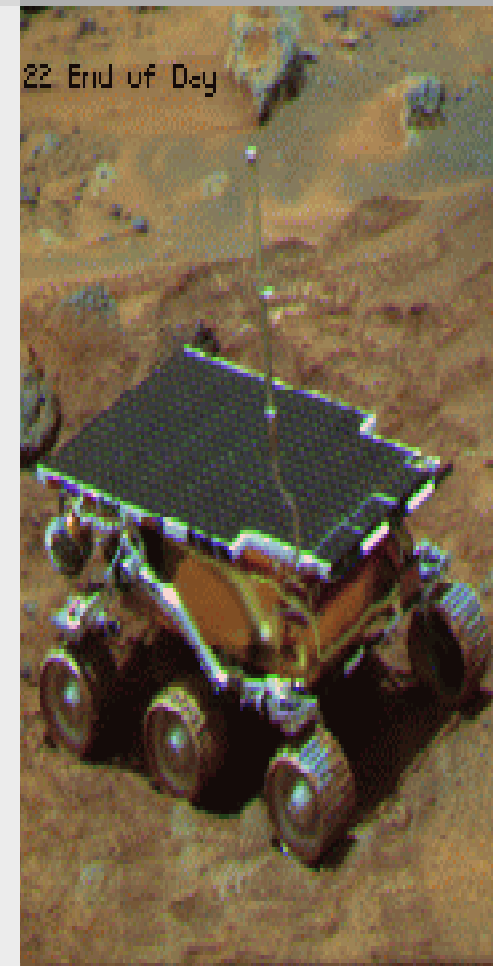
- ▶ Die Explosion der ersten Ariane 5 ist ein Beispiel dafür, wie ein kleiner Programmfehler in einem eingebetteten System eine Katastrophe auslösen kann.
 - ▶ Die Rakete hat zwei Bordcomputer, die beide gleichzeitig das selbe Programm ausführen.
 - ▶ Tritt bei einem der Computer ein Fehler auf, wird er abgeschaltet und der andere übernimmt die Steuerung.
- ▶ Was ist, wenn ein Programmfehler auftritt?
 - ▶ Beide Computer machen den selben Fehler.
 - ▶ Beide werden ausgeschaltet.
 - ▶ Die Rakete ist ohne Steuerung und kann sich nur noch selbst zerstören, um größeren Schaden zu verhindern.
- ▶ Ein kleiner Rechenfehler hat zur Katastrophe geführt!



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Wie können solche Fehler verhindert werden?

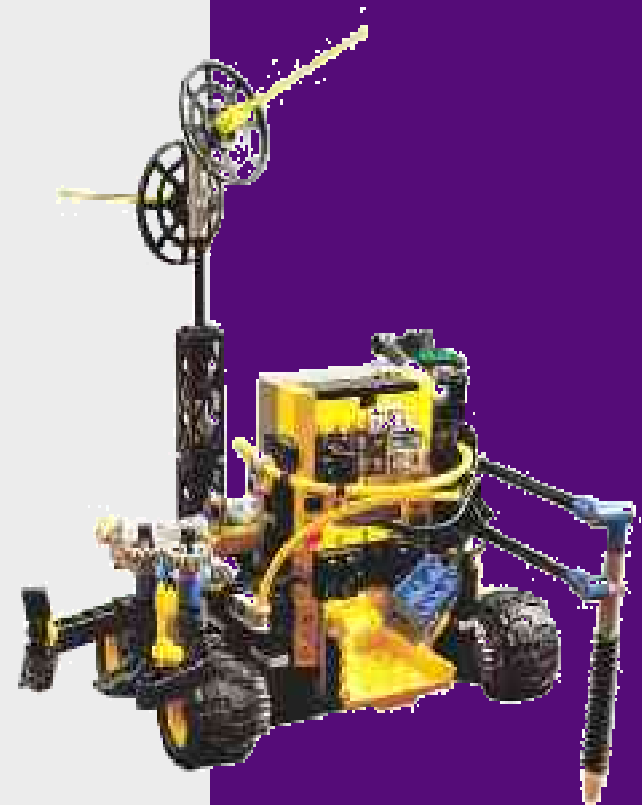
- ▶ Es gab in der Vergangenheit viele ähnliche Fehler:
 - ▶ Absturz des Bordcomputers bei der ersten Mondlandung
 - ▶ Vorzeichenfehler im Navigationssystem eines Passagierjets auf einem Probeflug zur Südhalbkugel
 - ▶ Ständige Reboots beim Marsrover Sojourner
 - ▶ Mehr: <http://www.cs.tau.ac.il/~nachumd/verify/horror.html>
- ▶ Die Entwicklungswerkzeuge müssen verbessert werden:
 - ▶ Automatisches Testen von Software
 - ▶ Besser: Automatischer Beweis, daß Software korrekt ist
 - ▶ Neue Programmier Techniken und -sprachen, bei denen einfache Fehler nicht so schnell passieren können
- ▶ Hier besteht noch einiger Forschungsbedarf!



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Lego Mindstorms an der Uni Kiel

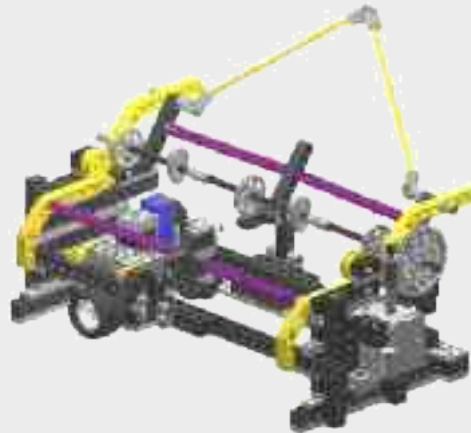
- ▶ Damit die Studenten die gelernte Theorie auch in der Praxis einsetzen können, bekommen sie in vielen Übungen und Praktika Roboterbaukästen von Lego Mindstorms.
- ▶ Die Sets bestehen aus:
 - ▶ Normalen Lego und Lego Technic Steinen
 - ▶ Einem Computer, dem sogenannten RCX
 - ▶ Eine Sendestation, mit der Programme auf den RCX geladen werden
 - ▶ Motoren
 - ▶ Sensoren: Taster, Licht, Rotation, Temperatur
 - ▶ Software



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Ein Scanner mit Lego Mindstorms

- ▶ Eine Übungsaufgabe war, einen Scanner zu bauen und zu programmieren. Das unten abgebildete Modell scannt eine A4-Seite mit 20 DPI in 20 Minuten.
- ▶ Es handelt sich um ein typisches eingebettetes Echtzeitsystem!



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Über meine Person

- ▶ Student (Diplom-Informatik, Nebenfach Physik)
- ▶ Arbeit als wissenschaftliche Hilfskraft und Programmierer
- ▶ Zuständig für Lego Mindstorms und die Internetseite
<http://www.informatik.uni-kiel.de/inf/von-Hanxleden/mindstorms/>
 - ▶ Dokumentation rund um Mindstorms
 - ▶ Programmieranleitungen und Software
 - ▶ Bauanleitungen und Programme für die Roboter
- ▶ Momentan Studienarbeit über Positionsbestimmung per Ultraschall
 - ▶ Entwicklung der nötigen Elektronik
 - ▶ Schreiben der Steuerprogramme



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Mindstorms und Elektronik

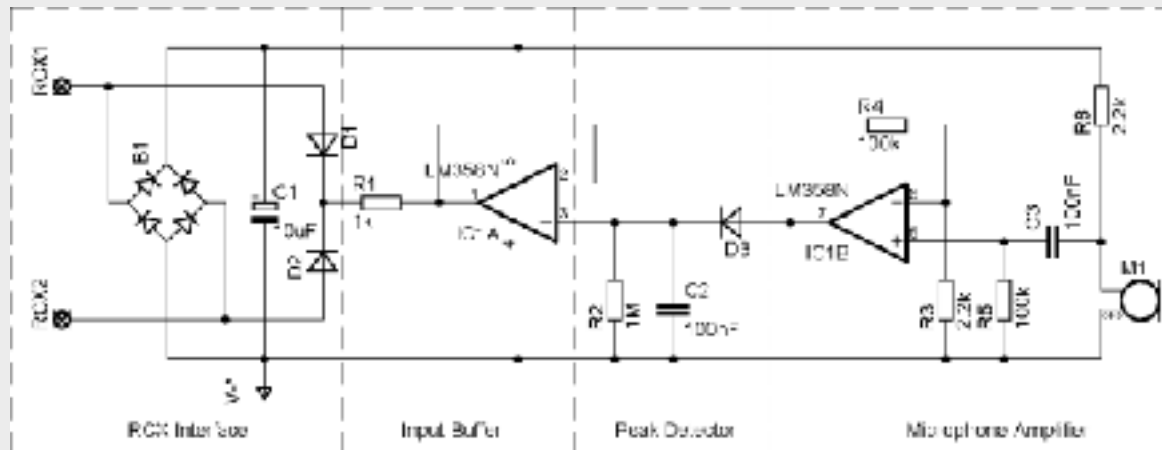
- ▶ Für komplexere Aufgaben müssen eigene Sensoren für Mindstorms entwickelt werden.
- ▶ Wie das funktioniert, soll am Beispiel eines Geräuschsensors gezeigt werden.
- ▶ Der Sensor soll...
 - ▶ an den RCX angeschlossen werden können
 - ▶ laute Geräusche erkennen
 - ▶ dem Programm auf dem RCX erlauben, auf Geräusche zu reagieren



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

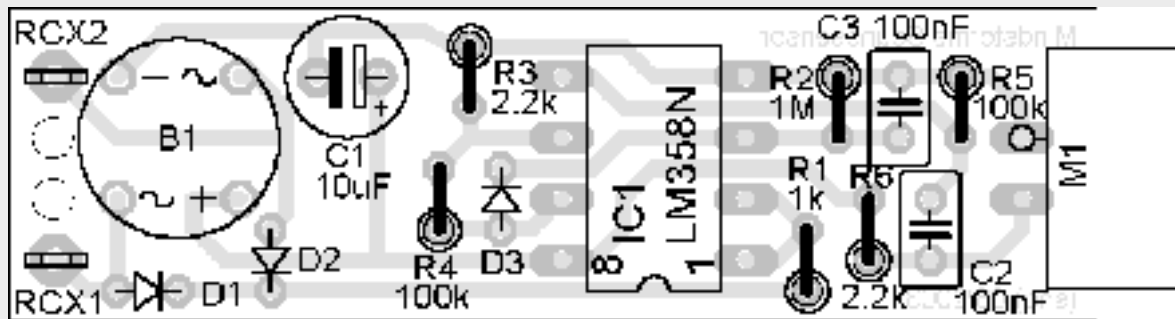
- ▶ Als erstes entsteht aus der Idee der Plan einer Schaltung mit den gewünschten Funktionen. Sie wird auch als Prototyp aufgebaut und getestet.



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

- ▶ Aus dem Schaltplan entsteht das Layout einer Platine mit dem Sensor, die klein genug ist, um in einen Legostein zu passen.

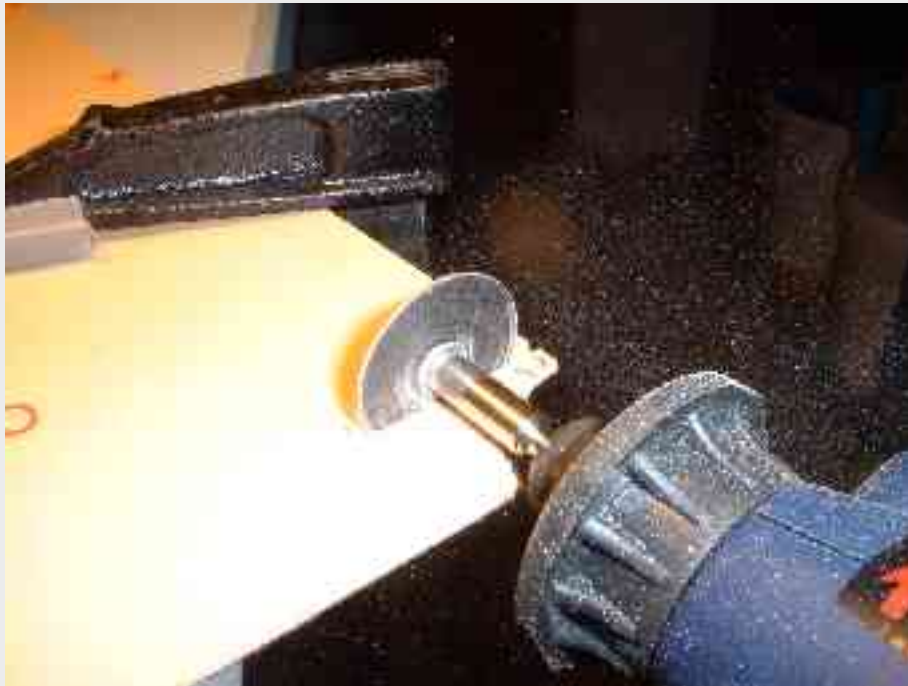


- ▶ In mehreren Schritten wird daraus der Sensor hergestellt...

Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

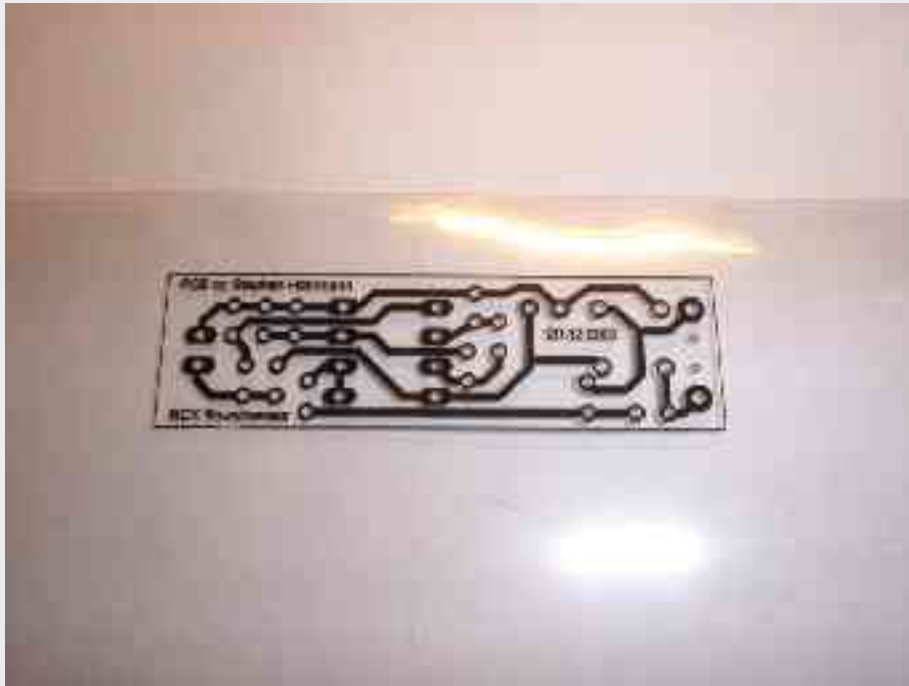
- ▶ ...Zuschneiden der Platine...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

- ▶ ...Drucken des Layouts auf Folie...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

- ▶ ...Übertragen des Layouts auf eine Fotoplatine...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

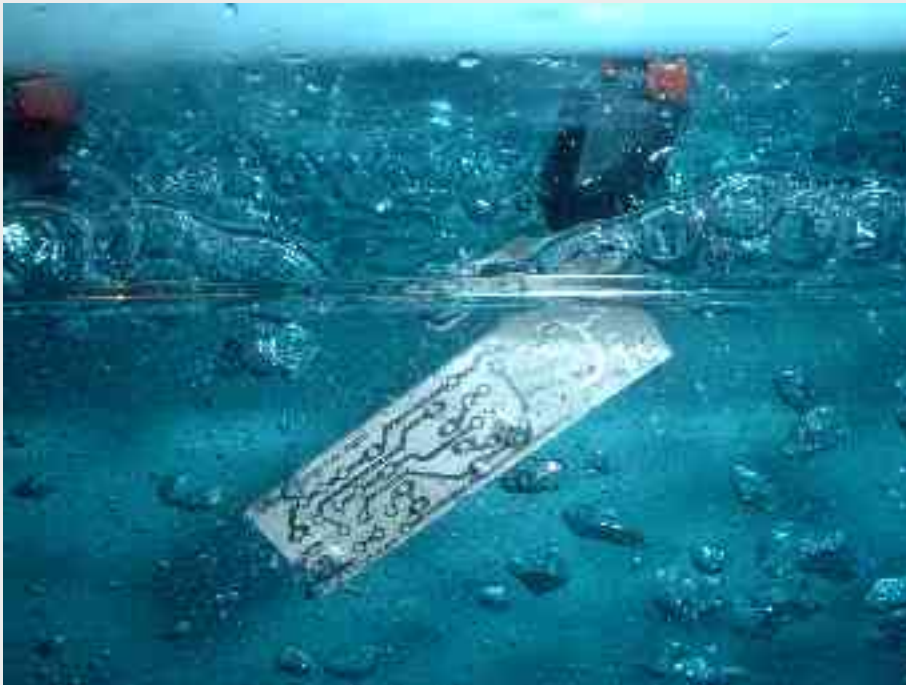
- ▶ ...Entwickeln...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

► ...Ätzen...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

- ▶ ...bis das überflüssige Kupfer weg ist...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

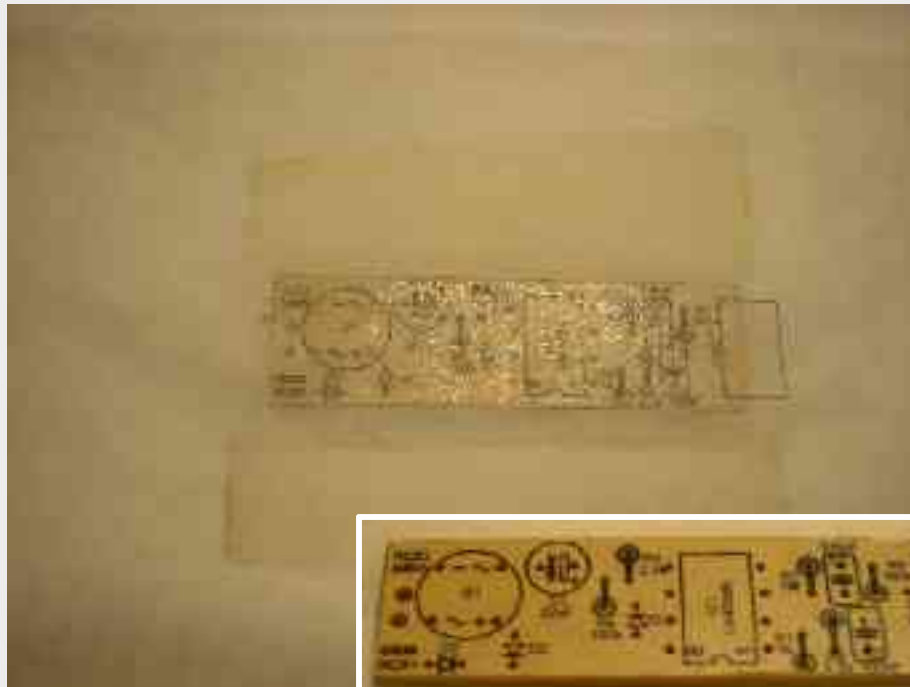
- ▶ ...Bohren der Anschlußlöcher...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

- ▶ ...Aufbügeln der Beschriftung, Lackieren...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Herstellung eines Mindstorms-Sensors

- ▶ ...Ausfräsen eines Legosteins...



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

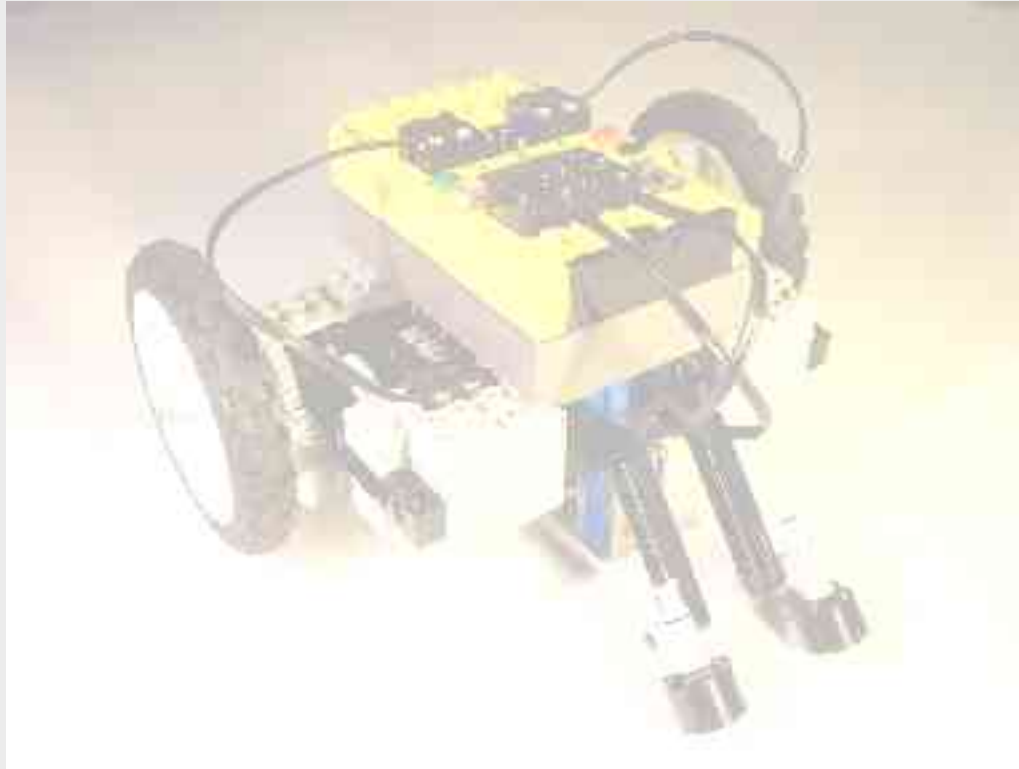
Herstellung eines Mindstorms-Sensors

- ▶ ...und schließlich Zusammenbau des Sensors!



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Demonstration Geräuschsensor



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

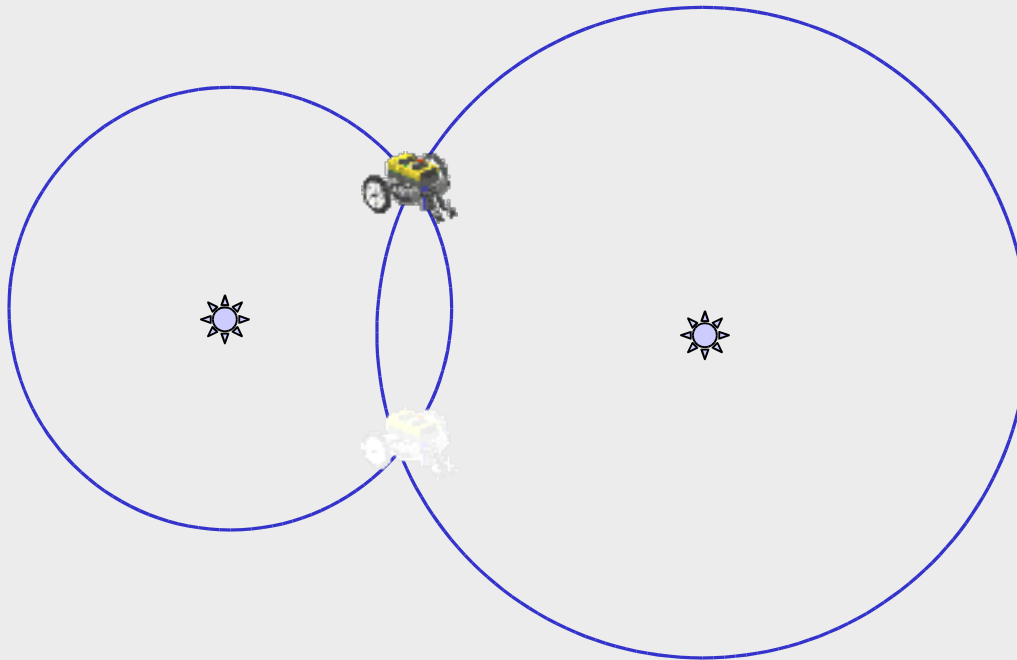
Positionsbestimmung mit Ultraschall

- ▶ Der Roboter kann sich auf einem Feld frei bewegen.
- ▶ Am Rande des Feldes stehen zwei Stationen, die Ultraschallimpulse und Infrarot-Lichtblitze senden können (sogenannte Leuchtfeuer).
- ▶ Der Roboter mißt die Entfernung zu beiden Leuchtfeuern über die Laufzeit des Ultraschalls vom Leuchtfeuer zu sich selbst.
- ▶ Aus den Entfernungen zu beiden Leuchtfeuern kann der Roboter seine Position berechnen.



Positionsbestimmung mit Ultraschall

- ▶ Eine der Positionen liegt außerhalb des Feldes!



Positionsbestimmung mit Ultraschall

- ▶ Das zentrale Problem ist also, eine Entfernung per Ultraschall messen zu können.
- ▶ Die Funktionen von Sender und Empfänger sind relativ kompliziert, daher werden Mikrocontroller zur Steuerung eingesetzt.



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Einsatz von Mikrocontrollern

- ▶ Mikrocontroller sind Chips, die einen kompletten Computer mit Peripherie enthalten.
- ▶ Sie sind sehr günstig (oft wenige Euro) und können problemlos mit anderer Elektronik verbunden werden.
- ▶ Sie können komplexe Funktionen übernehmen und machen so die Schaltung einfacher.
- ▶ Die Funktionalität hängt weitgehend von der Software ab und lässt sich so einfach verändern, ohne die Hardware umzubauen.



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Microchip PIC12F675



- ▶ Technische Eckdaten:
 - ▶ Geschwindigkeit bis 20 MHz
 - ▶ Programmspeicher für 1024 Befehle
 - ▶ 128 Bytes Datenspeicher
 - ▶ Prozessor kennt nur sehr wenige Befehle
 - ▶ Viele Funktionen zum Anschluß an weitere Bauteile
 - ▶ Kostet ca. 3 Euro
- ▶ Programmierung in Assembler:
- ▶ Fazit: Der PIC kann mit keinem PC mithalten, ist aber:
 - ▶ klein und sehr günstig
 - ▶ verbraucht kaum Strom
 - ▶ ausreichend, um die Entfernungsmessung zu realisieren



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Wie wird ein Mikrocontroller programmiert?

- ▶ Das Programm wird auf einem PC geschrieben und mit einem Programmiergerät in den Controller gebrannt.

```
processor p12f675
include "p12f675.inc"
include "macros.inc"
__CONFIG _INTRC_OSC_NOCLKOUT&_BODEN_ON&_MCLRE_OFF&_WDT_OFF&_PWRTE_ON

org    0x0000
goto  start

start  org    0x0004
bank0  clrf   GPIO           ; alle Pins auf low
        movlw 07h           ; Komparator aus
        movwf CMCN
bank1  movlw B'00011111'    ; GP5 wird Ausgang
        movwf TRISIO
bank0

loop   bsf    GPIO,5        ; LED einschalten
        wait  D'250000'     ; 0.25 Sekunden warten
        bcf   GPIO,5        ; LED wieder aus
        wait  D'250000'     ; 0.25 Sekunden warten
        goto  loop         ; Endlosschleife
```



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Abstandsmessung mit Ultraschall

Der Sender

- ▶ Der Sender strahlt gleichzeitig einen kurzen Ultraschallimpuls und einen Infrarot-Lichtblitz aus.
- ▶ Nach dem Senden wartet der Sender, bis alle Echos vom Ultraschall abgeklungen sind.
- ▶ Anschließend wiederholt sich der Vorgang.
- ▶ Der Mikrocontroller steuert all diese Funktionen und erzeugt die nötigen Signale.



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Abstandsmessung mit Ultraschall

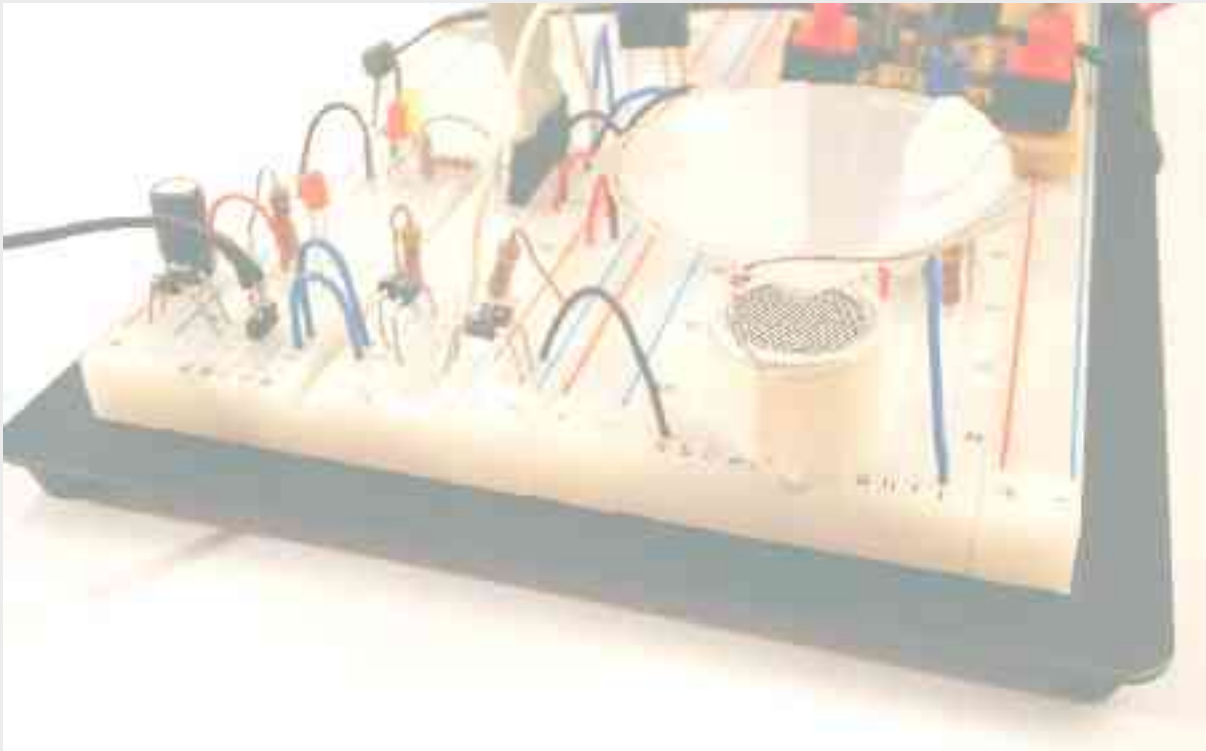
Der Empfänger

- ▶ Der Empfänger wartet auf den Infrarot-Lichtblitz. Trifft er ein, wird ein Timer gestartet.
- ▶ Wenn der Ultraschall ankommt, wird der Timer wieder angehalten.
- ▶ Die gemessene Zeit wird durch das Sensorkabel zum RCX übertragen.
- ▶ Der RCX multipliziert die Zeit mit der Schallgeschwindigkeit und gibt das Ergebnis auf seinem Display aus.
- ▶ Der Mikrocontroller steuert die Zeitmessung, das Senden der Werte und alle anderen Funktionen.



Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

Demonstration Entfernungsmessung



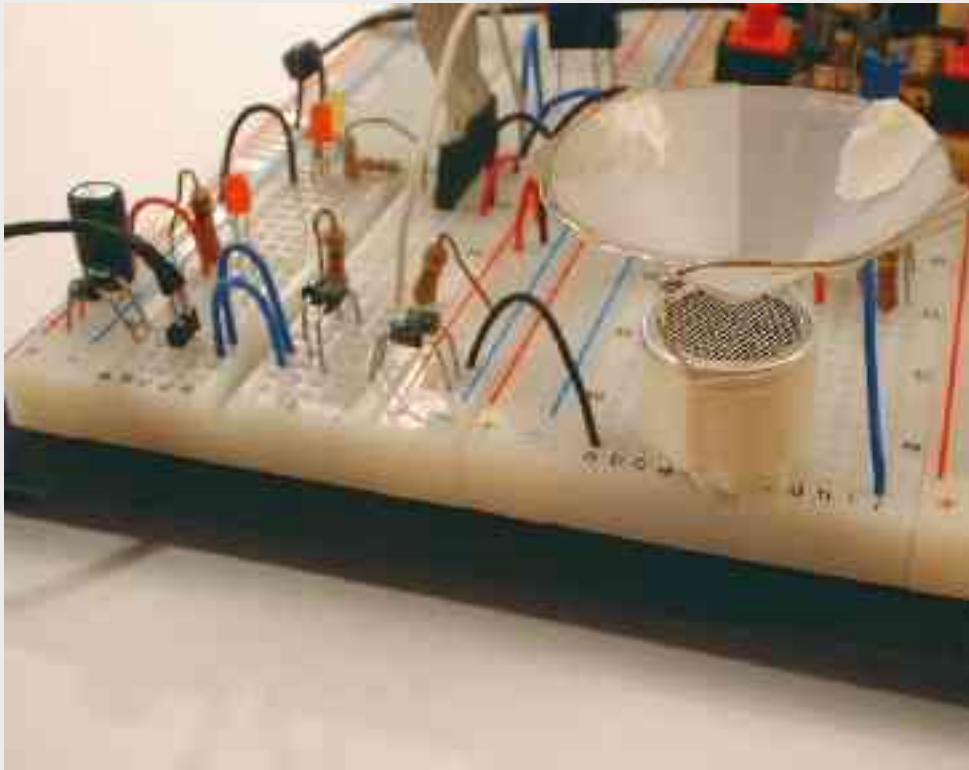
Positionsbestimmung für Lego Mindstorms

...und fertig?

- ▶ Die Aufgabe ist im Prinzip gelöst, aber...
 - ▶ der Stromverbrauch von Sender und Empfänger muß gesenkt werden (Versorgung aus den Batterien des RCX).
 - ▶ Die Reichweite kann vergrößert werden (stärkerer Sender, empfindlicherer Empfänger).
 - ▶ Die Schallgeschwindigkeit hängt von Temperatur und Luftdruck ab.
 - ▶ Die Berechnung der Position ist mathematisch nicht ganz einfach...
 - ▶ Woher weiß der Roboter, von welchem Leuchtfeuer ein Impuls kommt?
 - ▶ ...
- ▶ Es gibt noch einiges zu basteln!



Positionsbestimmung per Ultraschall



Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!