

2 Aufbau und Teilsysteme eines autonomen mobilen Roboters

Teilsysteme

- Mechanik
- Kinematik
- Antrieb
- Sensoren
- Steuerung
- Programmierung

2.1 Mechanik

Mechanik – 3 Teilsysteme

- Fahrzeug
- Roboterarm
- Effektor, Hand

Freiheitsgrade

- Ein frei beweglicher starrer Körper besitzt **6 Freiheitsgrade**.
- **Translation** (3) entlang der x-, y- und z-Achse
- **Rotation** (3) um die x-, y- und z-Achse
- Diese Freiheitsgrade erlauben die beliebige **Positionierung** und **Orientierung** eines Objektes im 3D-Raum.

Beispiele

- Fahrzeug in der Ebene – 3 Freiheitsgrade
 - Translation (2): x- und y-Achse
 - Rotation (1): Drehung um die z-Achse
- Bodenschienen – 1 Freiheitsgrad
- Unterwasserroboter – bis zu 6 Freiheitsgraden

Fahrzeug

- Räder
 - einfache Mechanik
 - Umbau von Spielzeugautos für den Robotereinsatz möglich
 - Nachteil bei unebenem Gelände
- Ketten
 - können größere Hindernisse überwinden
 - weniger anfällig für Unebenheiten (lose Erde oder Steine)
 - komplexere und schwerere Hardware
 - geringer Wirkungsgrad
 - schlechte Kursberechnung
- Beine
 - sehr gute Überwindung unebenen Geländes
 - Schwierigkeiten bei der praktischen Realisierung (2 Motoren pro Bein)
 - schwierige Steueralgorithmen

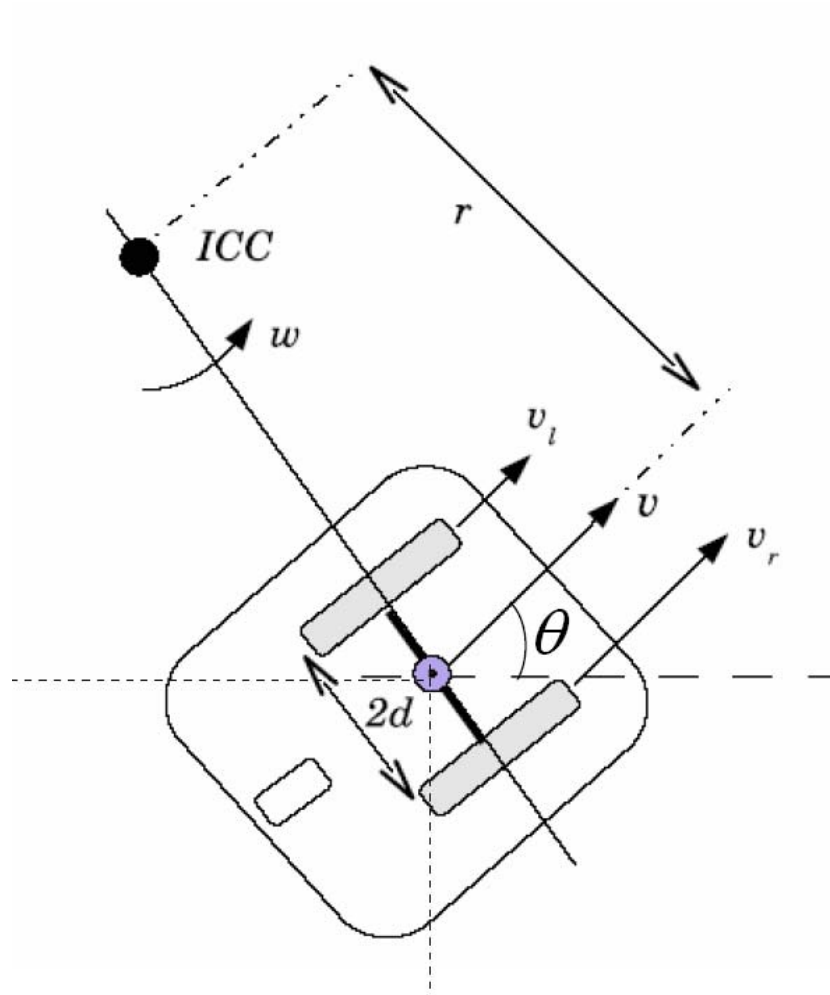
Anordnungen von angetriebenen und lenkbaren Rädern

- Differentialantrieb
 - 2 Räder
 - gemeinsame Achse
 - jedes Rad wird separat angetrieben
- Synchronantrieb
 - alle (oft 3) Räder werden gleichzeitig angetrieben und gelenkt
 - die Räder zeigen stets zur gleichen Zeit in die gleiche Richtung
- Dreiradantrieb
 - ein Motor lenkt das vordere Rad
 - ein zweiter Motor treibt die beiden hinteren Räder an
- Ackermannlenkung
 - wie Dreiradantrieb, aber vorn werden 2 Räder synchron gelenkt

Differentialantrieb

- Roboter kann
 - geradeausfahren
 - auf der Stelle drehen
 - sich auf einer Kreisbahn bewegen
- Nachteile:
 - Balance (1 oder 2 Freilaufäder)
 - Geradeausfahrt (Motorgeschwindigkeit muss dynamisch angepasst werden)

Differentialantrieb



Differentialantrieb



Roboterarm

- Führung des Effektors
- Besteht aus Armelementen (Gliedern), die durch Gelenke miteinander verbunden sind.

Effektor

- bewirkt die Interaktion des Roboters mit der Umwelt
- Greifer
- Werkzeuge
- Messmittel
- Kamera

2.2 Kinematik

Kinematik

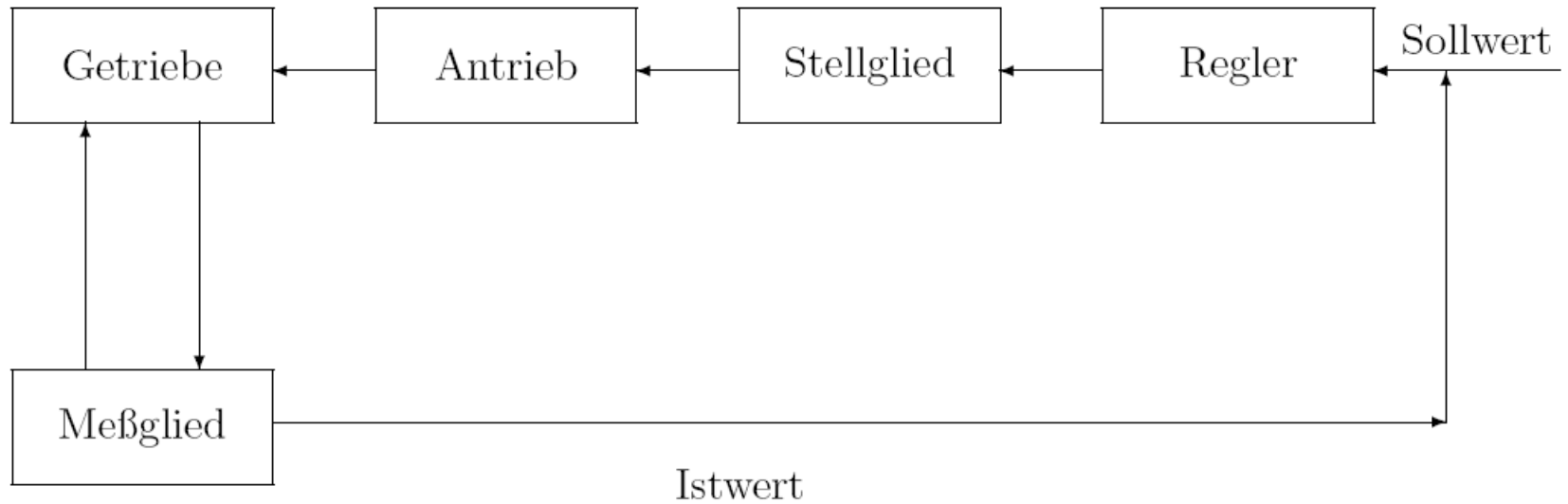
- Geometrie (Roboterarm)
 - Lage des Effektors bezüglich der Roboterbasis
 - Einstellung der Gelenkparameter (Drehwinkel, Translationsweg)
- zeitabhängige Aspekte der Bewegung (Fahren)
 - Zeit, Geschwindigkeit, Endposition
- Kräfte werden nicht betrachtet

2.3 Antrieb

Arten

- ***elektrisch***
 - Motoren
 - Akkus
- Pneumatisch
 - komprimierte Luft bewegt Kolben
 - kein Getriebe
- Hydraulisch
 - Öldruckpumpe und steuerbare Ventile

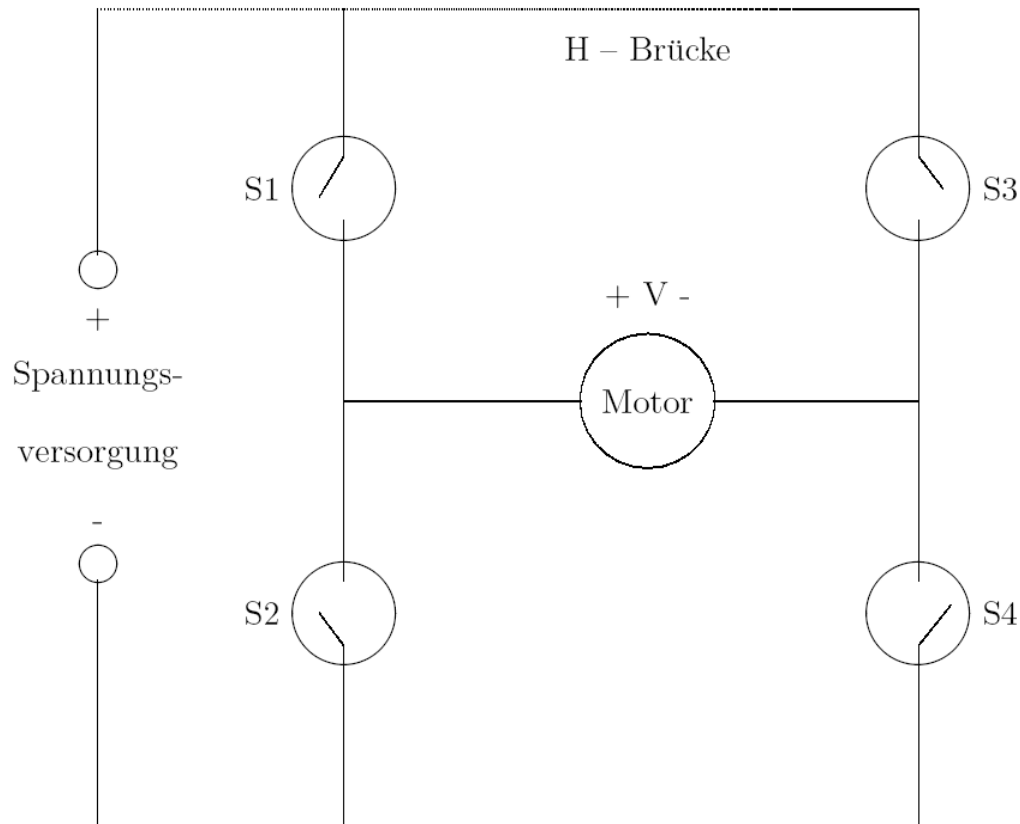
Prinzipieller Aufbau



Motorschnittstellen

- eigene Spannungsquelle
- Prozessor sendet nur die Steuersignale
- Verbindungsschaltung → H-Brücke

Schaltplan einer H-Brücke



Durch Schließen bestimmter Schalter dreht sich der Motor in die eine oder andere Richtung (S1 und S4 bzw. S2 und S3)

Geschwindigkeit

- Motorgeschwindigkeit
 - Schalter werden in verschiedenen Abständen geöffnet und geschlossen
 - unterschiedliche Spannungsmittelwerte am Motor
 - Pulsbreiten-Modulation

Regler

- Regeln der Geschwindigkeit eines Rades
 - Fehler = Sollwert – Istwert
- Geschwindigkeit der beiden Räder aufeinander abstimmen
 - z.B. gleich Geradeausfahren
 - Fehler = Istwert_links – Istwert_rechts +
anpassung

P – Regler

$$u(t) = K_P \cdot e(t)$$

Stellgröße (Ausgabe des Reglers)

Fehler

Konstante

I – Regler

$$u(t) = K_I \cdot \int_0^t e(t') \cdot dt'$$

Stellgröße (Ausgabe des Reglers)

Konstante

aufsummierter Fehler

D – Regler

$$u(t) = K_D \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

Stellgröße (Ausgabe des Reglers)

Konstante

Fehler

PID – Regler

$$u(t) = K_P \cdot e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(t') \cdot dt' + K_D \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

Problem

PID-Regler digital:

$$P = K_P \cdot e$$

$$I = K_I \cdot T_A \cdot e_\Sigma$$

$$D = \frac{K_D(e - e_{k-1})}{T_A}$$

Problem: Zykluszeit

2.4 Sensoren

2.4.1 Prinzipielle Vorgehensweise

Sensoren

- Erfassung von Meßdaten
- messen bestimmter physikalischer Eigenschaften
- Verarbeitung mittels Software
- Messwertumformer (physikalische Ereignisse in elektrische Signale)
- A/D – Wandler
- Konditionierung und Verstärkung des Signals zwischen Sensor und Prozessor (Verbindungselektronik)
- keine (menschliche) Wahrnehmung

Beispiele

- Ist der Widerstand im Photosensor gefallen? → Ist es im Raum dunkel?
- Hat die Spannung vom Wärmesensor einen bestimmten Grenzwert überschritten? → Ist eine Person hereingekommen?
- Änderte sich das vom Infrarot-Abstandssensor ausgegebene Signal? → Befindet sich links eine Wand?

Sensoren

- Sensordaten sind oft verrauscht
- Oft benötigt man mehrere Arten von Sensoren für eine bestimmte Aufgabe (Hindernisse) – Sensorfusion
- Auswertung kann aufwendig sein (Bilder)

2.4.2 Sensoreigenschaften

Eigenschaften

- Messbereich
- Reaktionszeit
- Genauigkeit
- Auflösung

2.4.3 Einteilung

Sensoren

- interne Sensoren (Propriozeptive Sensoren)
 - messen Zustandsgrößen des Roboters selbst
- externe Sensoren
 - erfassen Eigenschaften der Umwelt des Roboters
- Oberflächensensoren
 - z.B. Tastsensoren

Interne Sensoren

- Position und Orientierung des Roboters
 - Radencoder
 - Kompass
- Messung des Batteriestands
- Stellung der Gelenke
- Geschwindigkeit, mit der sich die Gelenke bewegen
- Temperatur im Innern des Roboters

Externe Sensoren

- Kollision mit Hindernissen
 - Bumper
- Abstand zu Hindernissen
 - Infrarot
 - Ultraschall
 - Laser
- Positioniermarken (Linien)
 - Infrarot

Externe Sensoren

- Licht (sichtbar, Infrarot)
 - Fotowiderstände, Infrarotempfänger
- Bilder der Umwelt
 - Kamera
- Wärme
- Schall
 - Mikrophon

2.4.4 Berührungssensoren

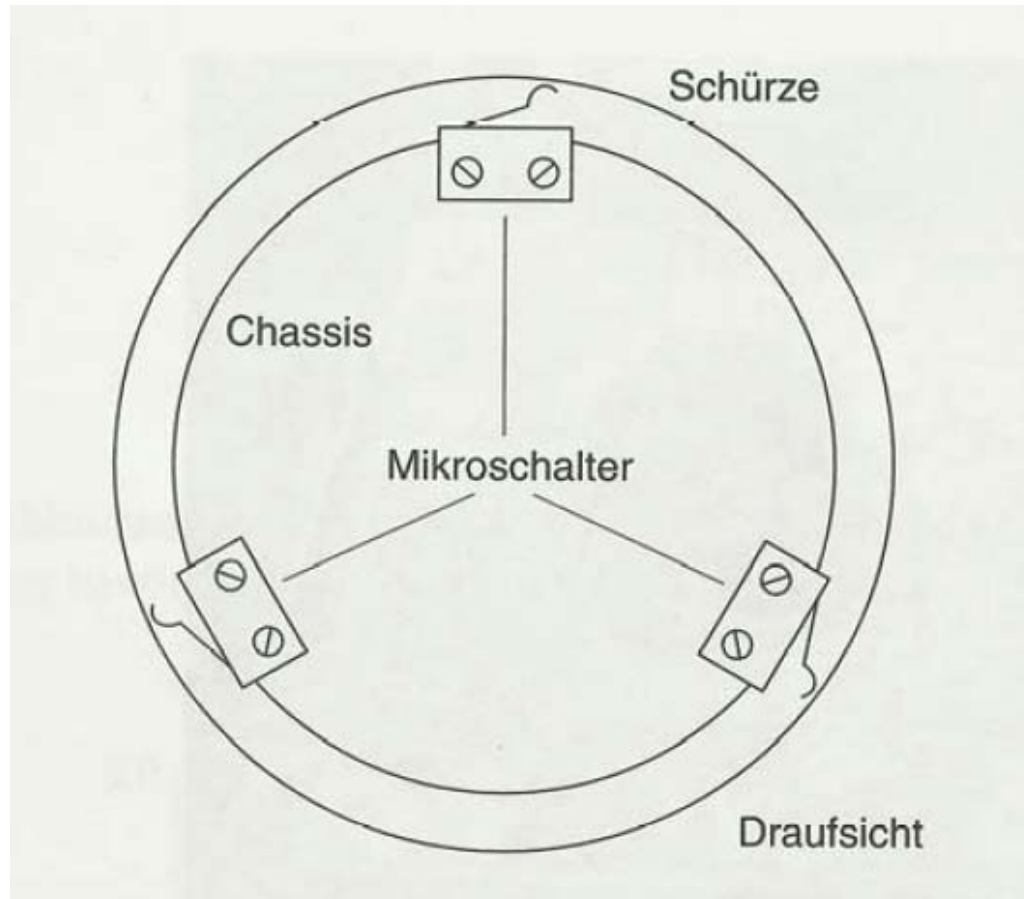
Berührungssensoren

- einfach zu interpretierende Signale
- zuverlässig
- Wann wird ein anderes Objekt berührt?
- Fahren gegen ein Hindernis
- Wo befindet sich das Objekt in Bezug auf den Roboter?
- eine einfache Anordnung sind 3 symmetrisch auf einer zylindrischen Schürze angeordnete Mikroschalter

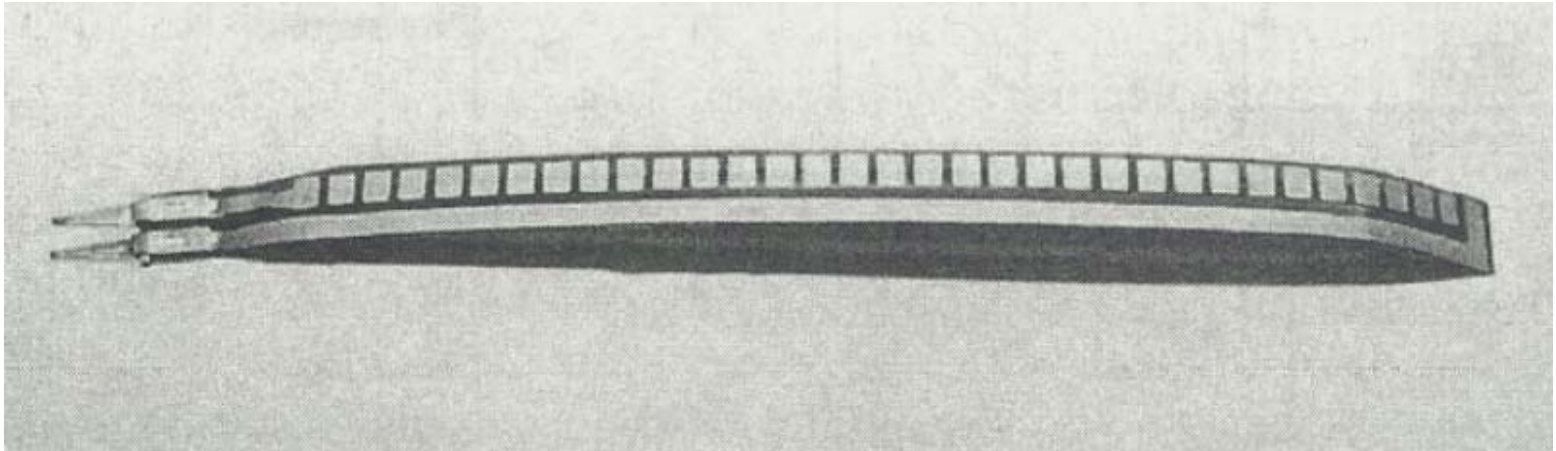
Arten

- Mikroschalter, Bumper
 - werden geschlossen, wenn auf ein Hindernis gefahren wird
 - verschiedene Anordnungen möglich
- Dehnungsmessstreifen
 - man kann Deformationen und deren Ausmaß messen
 - also mehr Informationen als bei binären Schaltern
- Piezoelektrische Wandler
 - sind Kristalle, die elektrische Ladungen erzeugen, wenn sie deformiert werden

Mikroschalter



Dehnungsmessstreifen



2.4.5 Lichtsensoren

Lichtsensoren

- Erfassung des sichtbaren Licht oder des Infrarotlichts
- Photowiderstände
 - variable Widerstände
- Anwendungen
 - Verstecken im Dunklen
 - Zubewegen auf eine Lichtquelle

2.4.6 Wärmesensoren

Wärmesensor

- sinnvoll für die Interaktion mit einem Menschen
- Alarmsysteme
- Die Ausgabe des Wärmesensors ändert sich, wenn sich die Temperatur des Sensors in einem bestimmten Zeitraum leicht verändert hat.

Signal eines Wärmesensors

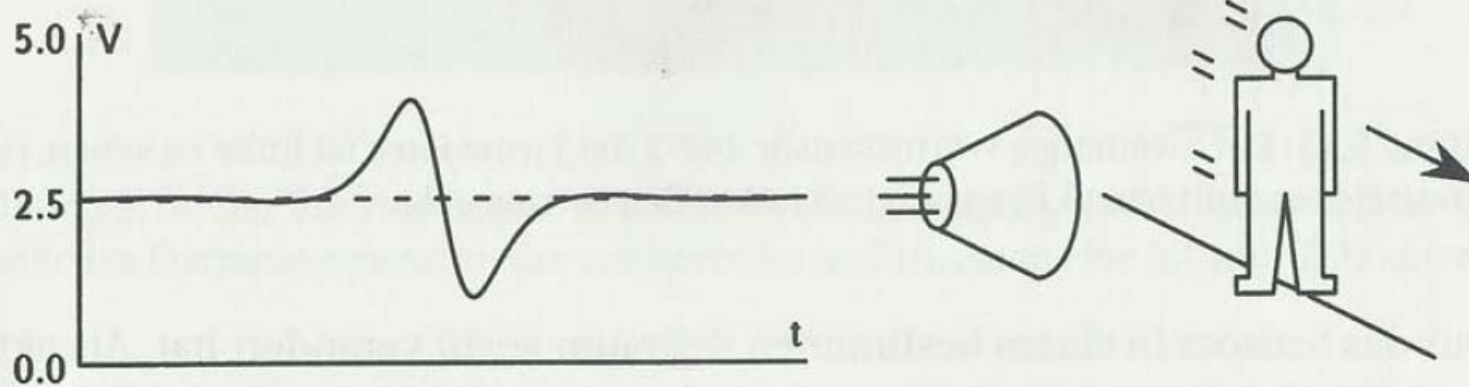


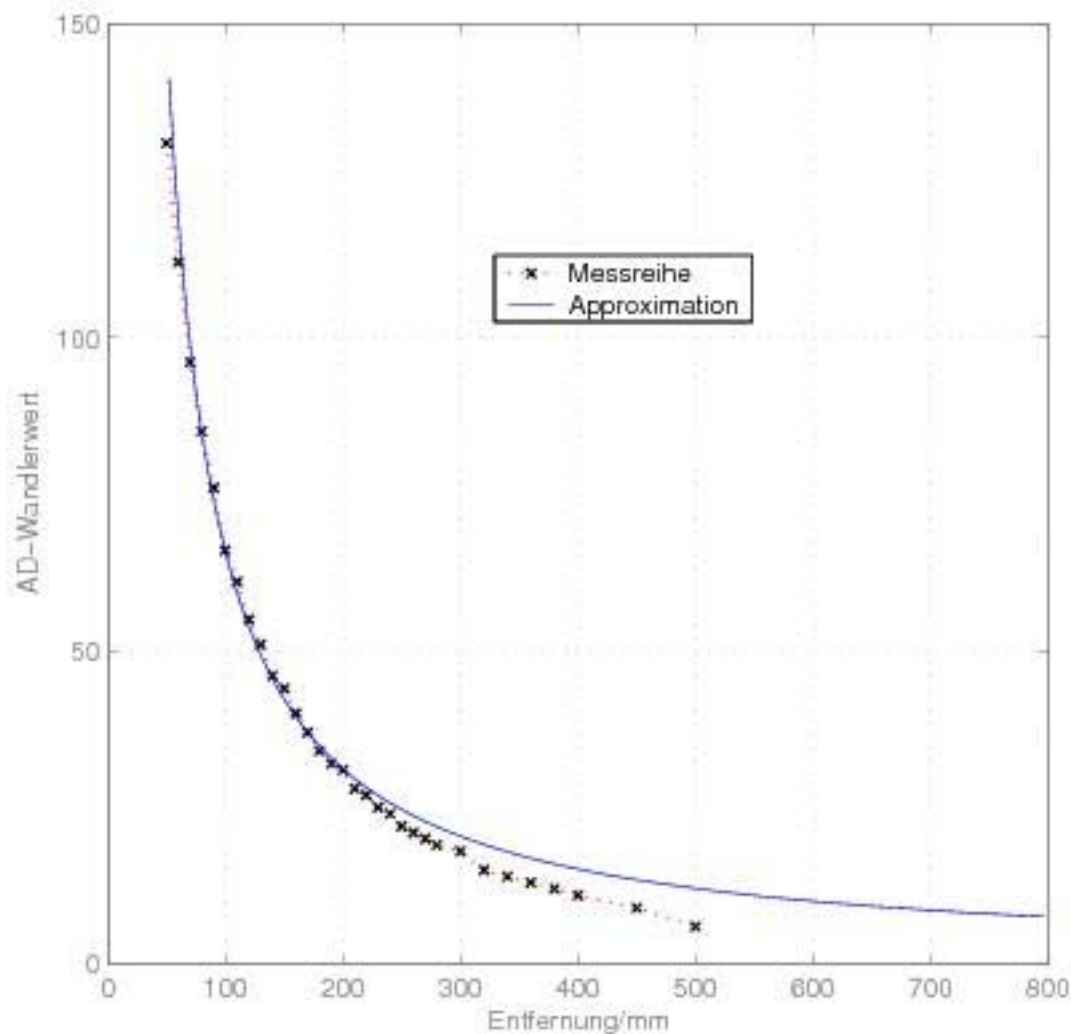
Abbildung 5.17: Ein typisches Signal eines Wärmesensors beim Passieren einer Wärmequelle.

2.4.7 Infrarotsensoren

Infrarot

- einfachste kontaktlose Sensoren
- Hinderniserkennung und Entfernungsmessung
- sendet ein infrarotes Lichtsignal aus
- dieses wird reflektiert und vom Sensor wieder aufgenommen
- Die Intensität des reflektierten Lichts ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung, aber auch von der Objektfarbe abhängig
- Bestimmte dunkelfarbige Objekte sind für IR-Sensoren praktisch unsichtbar
- nur kurze Reichweiten (10 – 100 cm)

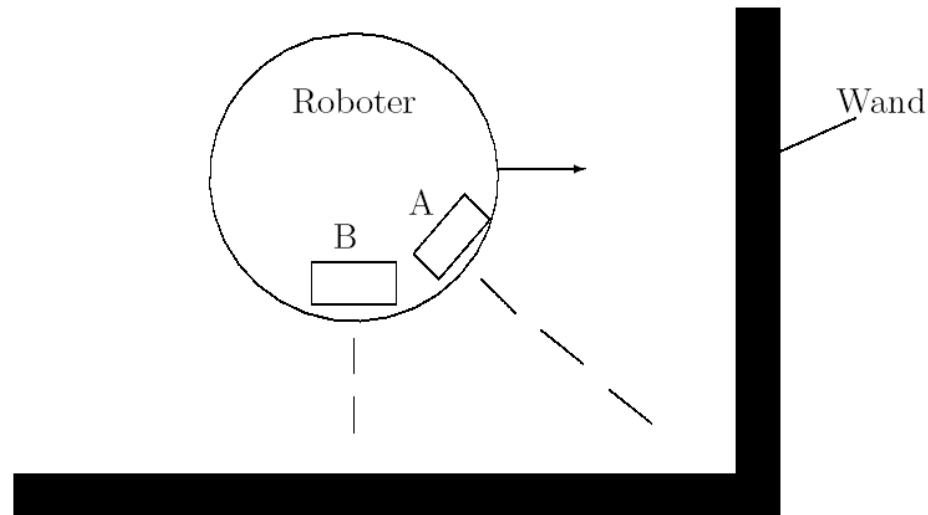
Umwandlung AD - Entfernung



Werte kleiner 30mm können durch diesen Sensor nicht erfasst werden.

Wandverfolgung

- entdeckt keiner der beiden Sensoren ein Hindernis, fährt der Roboter auf einer Kurvenbahn nach rechts und sucht dabei eine Wand
- entdeckt nur Sensor B etwas, fährt der Roboter geradeaus nach vorn
- Entdeckt Sensor A entweder alleine oder zusammen mit Sensor B etwas, dreht sich der Roboter nach links



Wandverfolgung

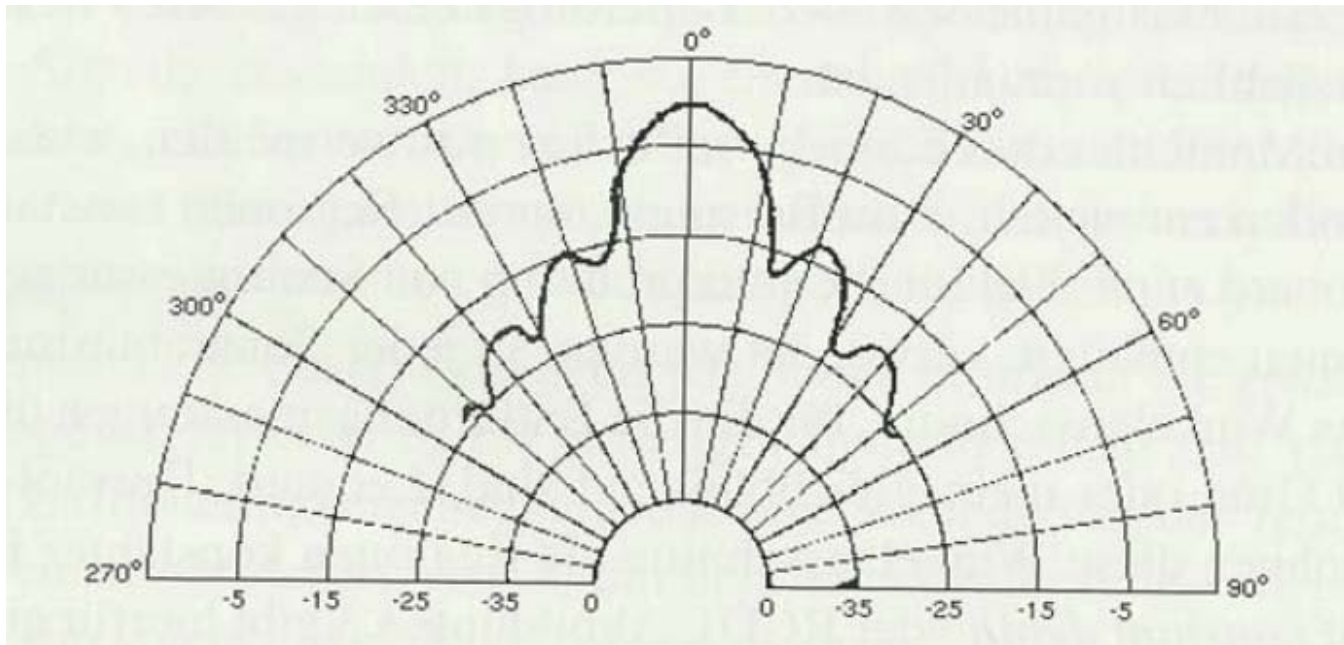
- Selbst mit einem einzigen Sensor kann der Roboter sich entlang einer Wand bewegen.
- In diesem Fall fährt der Roboter in einem Bogen von der Wand weg, wenn sein Sensor etwas erfasst, und wenn er nichts erfasst, in einem Bogen auf die Wand zu.

2.4.8 Ultraschallsensoren

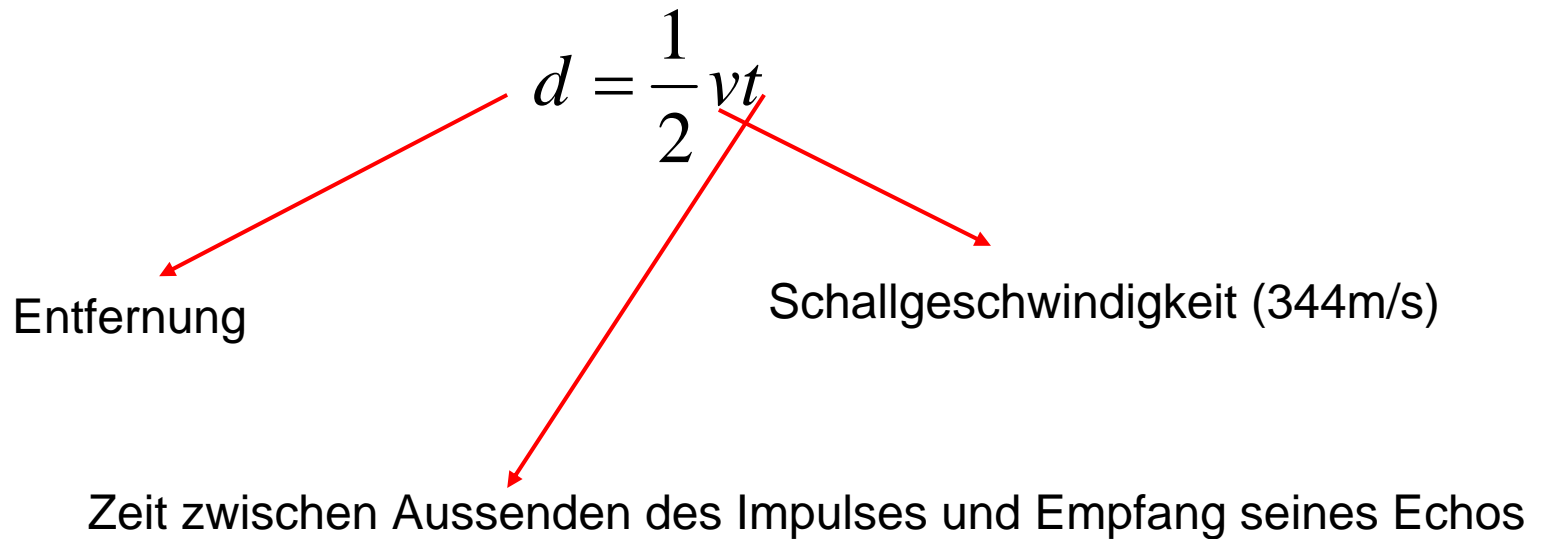
Sonarsensoren

- ein etwa 1,2 ms langer Impuls wird ausgestoßen und dessen Reflexion durch Objekte mittels eines Empfängers aufgenommen
- Signal breitet sich kegelförmig in die Abstrahlrichtung des Sensors aus
- Öffnungswinkel liegt im Bereich von 5° bis 30°
- die Empfindlichkeit ist nicht gleichmäßig verteilt, sondern besteht aus keulenförmigen Mittel- und Seitenfeldern

Empfindlichkeit



Sonarsensoren



$$d_{\min} = \frac{1}{2} vt_{\text{Impuls}}$$

$$d_{\max} = \frac{1}{2} vt_{\text{Intervall}}$$

Nachteile

- großer Öffnungswinkel – ein mit Entfernung d aufgenommenes Objekt kann sich überall auf einem Bogen mit Entfernung d vom Roboter befinden
- das Ultraschallsignal wird an glatten Oberflächen abgelenkt (Spiegelreflexion)
- Problem beim gleichzeitigen Einsatz mehrerer Sensoren

2.4.9 Laserscanner

Laser

- Signale bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit
- kürzere Signallaufzeit
- kleiner Öffnungswinkel (näherungsweise ein Strahl)
- sehr genaue Abstandsmessungen (kleiner als 1cm)
- maximale Reichweite kann mehrere 100 Meter betragen
- es können zwei- und dreidimensionale Abstandsprofile aufgenommen werden

Probleme

- schwarze Oberflächen verschlucken das Signal
- Glas reflektiert den Laserstrahl in vielen Situationen nicht
- Spiegelreflexion (aber weniger ausgeprägt als bei Ultraschall)

2.4.10 Akustische Sensoren

Mikrophone

- Signal muss verstärkt werden
- Signal muss sehr häufig eingelesen werden
- das durch Händeklatschen erzeugte Geräusch verharrt nur etwa eine Millisekunde

Mikrophon

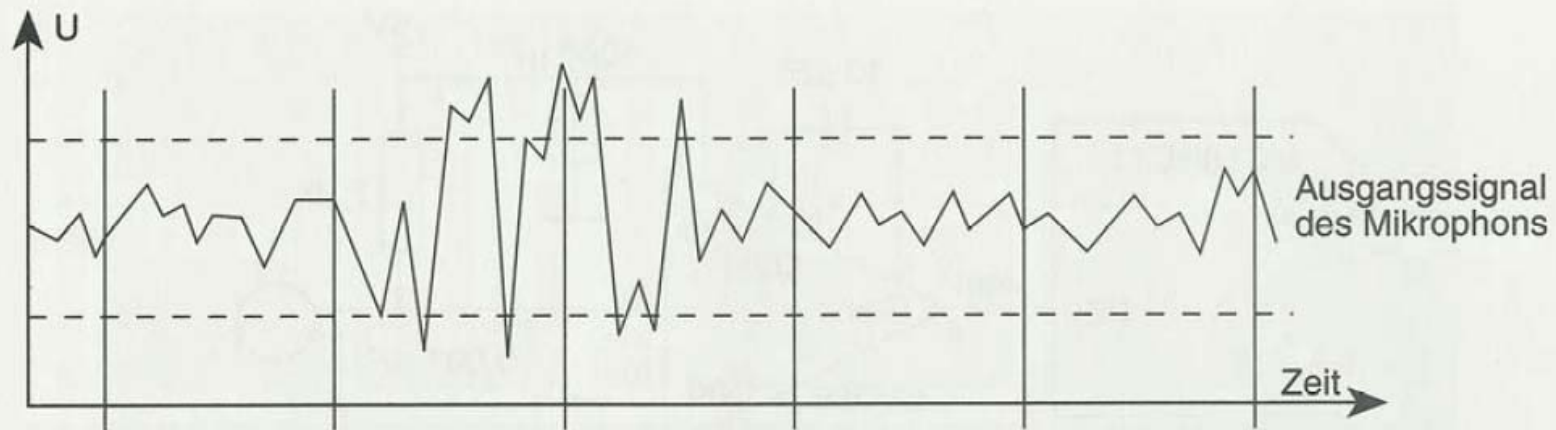


Abbildung 5.23: Der Roboter soll reagieren, wenn er ein lautes Geräusch erfasst, d. h. wenn das Mikrophonsignal über die obere gestrichelte Linie oder unter die unterste gestrichelte Linie geht. Die vertikalen Striche stellen die Abfragen dar, also den Moment, wenn der Mikroprozessor den A/D-Wandlerkanal, der mit dem Mikrophon verbunden ist, abfragt. Wenn die Abfragen nicht in sehr kurzen Intervallen erfolgen, kann das gewünschte Geräusch leicht verpaßt werden.

Anwendungen

- Verfolgen (Fliehen) vor Geräuschquellen
- Erkennen einer speziellen Tonfolge
- Bestimmen des Standortes einer Geräuschquelle in einem Raum

2.4.11 Odometrie

Odometrie

- Position und Orientierung
- Translationsbewegung
- Rotationsbewegung
- Koppelnavigation
- wie weit hat der Roboter sich von einem bekannten Punkt bereits fortbewegt oder gedreht
- Geschwindigkeit der Räder
- auf kurzen Strecken sehr genau
- mit zunehmender Strecke immer ungenauer

Rad – Encoder

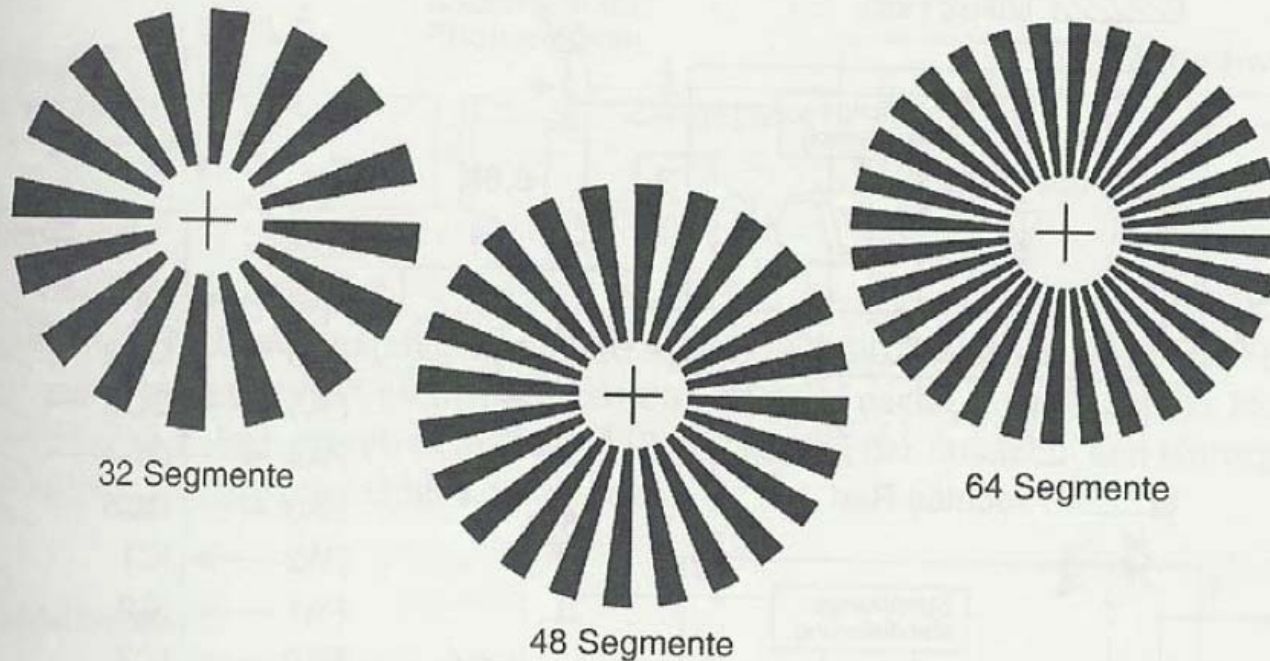


Abbildung 5.28: Die sich abwechselnden schwarzen und weißen Streifen absorbieren bzw. reflektieren das von der LED eines Photoreflektors ausgesendete Infrarotlicht. Je mehr Streifen, umso größer ist die Genauigkeit der Messung; die Streifen dürfen jedoch nicht schmaler sein als das Fenster des Photoreflektors.

Weitere Sensoren

- Kreisel
 - wie schnell dreht sich der Roboter oder wie weit hat er sich in bezug auf ein festes KS gedreht
- Neigungsschalter
 - Winkel des Roboters zur Richtung der Schwerkraft
- Kompass

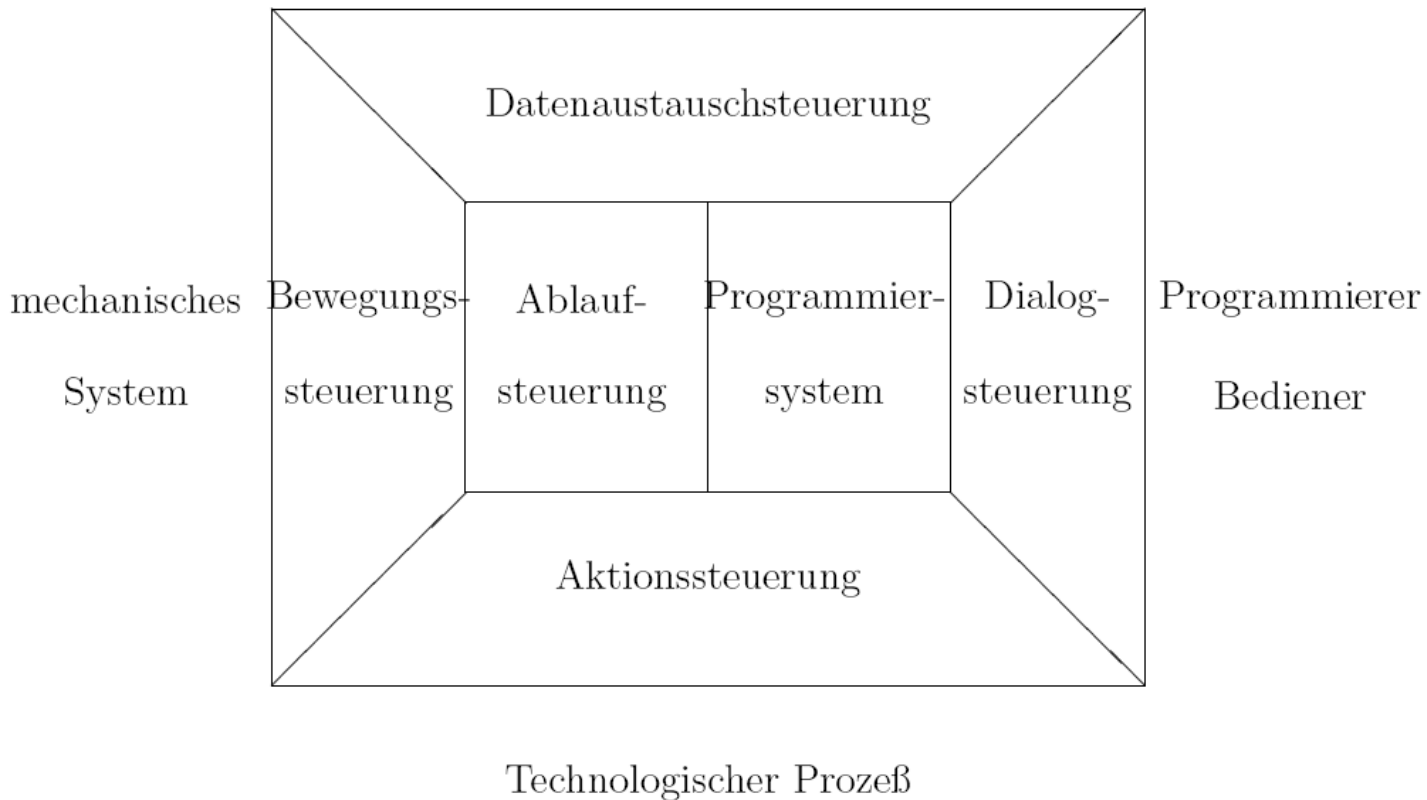
2.4.12 Bildsensoren – Kameras

siehe Vorlesung Bildverstehen

2.5 Steuerung

Struktur und Schnittstellen einer Robotersteuerung

Zentralsteuerung / Leitrechner (and. Roboter)



2.6 Programmierung

Programmierung

- online oder offline
- implizite Programmierung
 - Sensordatenauswertung, Weltmodellierung, Aktionsplanung
 - Subsumtionsansatz
- explizite Programmierung
 - oft spezielle Sprachen

Programmierung - online

- Teachbox
- manuelle Programmierung
- Master – Slave – Programmierung
 - Mensch führt einen Masterroboter (klein)
 - Bewegung wird übertragen auf Slaveroboter (groß)
 - Teleoperation

Interactive C (IC)

- MIT
- enthält wesentliche Elemente der Programmiersprache C
- Starten und Beenden von Prozessen
- Multitasking (parallele Ausführung von Prozessen)
- Direktes Ausführen von C – Anweisungen
- C – Funktionen zur Steuerung der Motoren, Aktuatoren und Sensoren

Prozesse

```
int start_process( Funktionsaufruf(...), [Ticks], [Stapelgroesse] )

void teste_sensor(int n)
{
    while(1)
        printf("Sensor %d liefert %d\n", n, digital(n));
}

void main()
{

    start_process(teste_sensor(2));
}
```

Prozesse

```
void main()
{
    int pid;
    pid = start_process(teste_sensor(2));
    sleep(1.0);
    kill_process(pid);
}
```