

Autonome Mobile Roboter (1)

Autonome mobile Roboter

- Ein Roboter der sich autonom in seiner Einsatzumgebung bewegt und dort zielgerichtet Aufgaben erledigen kann

Autonomie

- Das System kann selbständig Entscheidungen über sein Vorgehen fällen

Entscheidung

- Auswahl einer Möglichkeit unter unvollständiger Kenntnis der Umwelt
→ Entscheidung kann bzgl. globales Ziel falsch sein

Autark

- Energieversorgung wird auf Roboter mitgeführt

Autonome Mobile Roboter (2)

Abgrenzung gegenüber anderen Systemen

(stationäre Anlagen z.B. Handhabungssysteme, automatische Fabrikationssysteme)

- ferngesteuerte Systeme
 - ein menschlicher Pilot entscheidet und lenkt nach Sicht über Funk oder Draht bei teleoperierten Systemen ist der Pilot weit weg vom Ort des Geschehens
 - Problem: wie "sieht" der Pilot genug um zu steuern?
- geregelte Systeme
 - eine vorgegebene Bahn wird eingehalten z.B. Autopilot im Flugzeug/Schiff; Pilot entscheidet über Kursänderungen
 - Zielverfolgungssteuerung: Das System regelt sich auf den Kurs eines Ziels ein; der Pilot kann Selbstzerstörung befehlen?

Autonome Mobile Roboter (3)

Problembereiche bei AMR*s

- **Hinderniserkennung:** wo und wann drohen Kollisionen?
 - zuverlässige Sensorik, Sensorfusion
 - 2 1/2 - 3-dimensionale Erkennung von Hindernissen
 - Reichweite vs. Fahrzeuggeschwindigkeit
 - Problembereiche: abgehende Treppen, Glastüren, bewegte Hindernisse
- **Umgang mit Hindernissen:** was soll der Roboter tun?
 - Abbremsen – bis zum Anhalten?
 - Umfahren – wie weit?
 - Abweichen von einer Sollbahn – wann muss neu geplant werden?
 - Umgang mit Sackgassen – umdrehen und wie weiter?

Autonome Mobile Roboter (4)

Problembereiche bei AMR*s

- **Lokalisierung:** wo bin ich und wo ist Norden?
 - Position und Orientierung
 - Odometrie → Drift in der Orientierung
 - künstliche Landmarken vs. natürliche Landmarken
 - Wiedererkennen von Landmarken
- **Modellierung der Einsatzumgebung:** wie "sehe" ich meine Umgebung?
 - Abhängig von Sensoren und Sensordatenverarbeitung
 - nur Hindernisse und/oder Freiraum?
 - Räume definiert durch Wände und Durchgänge?
 - wieder erkennbare, nicht interpretierte Sensoreindrücke? (z.B. Gerüche)
 - interpretierte Sensoreindrücke
 - → Merkmale → Klassifizierung → Objekte: nötiges Vorwissen?
 - Relationen von Objekten zueinander

Autonome Mobile Roboter (5)

Problembereiche bei AMR*s

- **Navigation:** wie bewege ich mich sinnvoll in meiner Umwelt?
 - Wegeplanung in Karten
 - Bahnplanung unter vorgegebenen Gütekriterien
 - zeitoptimal, überlappend, mit Sicherheitsabständen, ...
 - Andockmanöver
 - Überwachung der gefahrenen Bahn: wie werden Abweichungen ausgeregelt?
 - kollisionsfreies Fahren
- **Objekterkennung:** wo ist ein gesuchtes Objekt?
 - Position und Orientierung
 - Verdeckung durch andere Objekte
 - Ähnlichkeit des gefundenen mit dem gesuchten Objekt /Objekttyp
 - Beschreibung durch Lagerrelationen

Autonome Mobile Roboter (6)

Problembereiche bei AMR*s

- **Objektmanipulation:** wie greife und bewege ich Objekte?
 - Position und Orientierung Greifer-Objekt
 - Sensorik zum Erkennen der Griffposition
 - Handlungs- und Bewegungsplanung
 - Sensorik zum Erkennen der Kräfte

Autonome Mobile Roboter (7)

Fortbewegung auf dem Land

- Laufen, Kriechen
- Klettern
- Schlängeln
- Hüpfen
- Radgetriebene Fortbewegung
- Kettengetriebene Fortbewegung

natürliche vs. technische Fortbewegung

- Anzahl der Aktuatoren und Sensoren
- Komplexität des Gesamtsystems
- Steuerungsaufwand
- Energieeffizienz abhängig von Untergrundbedingungen
- Bewegung der Massen des Gesamtsystems

Autonome Mobile Roboter (8)

Lokomotion:

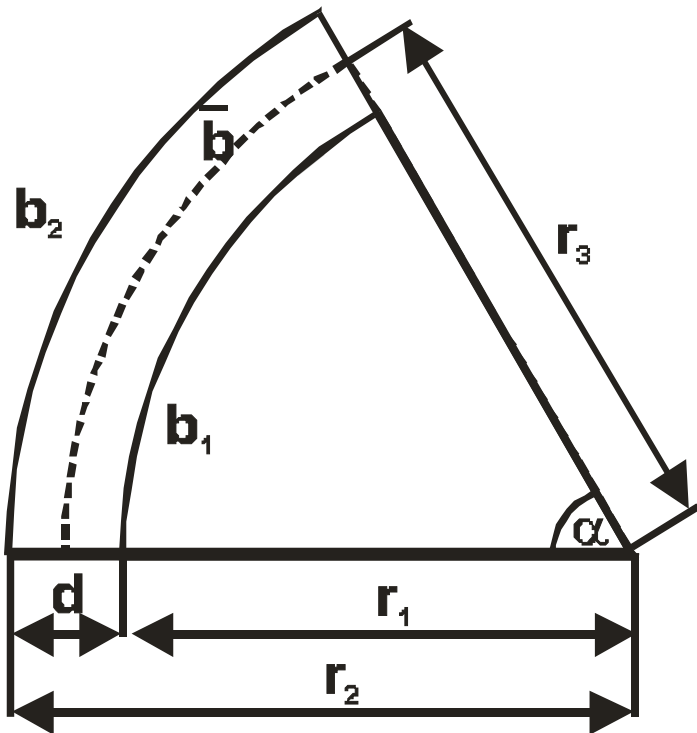
- Physikalische Interaktion zwischen Fahrzeug und Umgebung
- Antriebssysteme zur Generierung geeigneter Interaktionskräfte

Wichtige Parameter für die Lokomotion

- **Stabilität**
 - Anzahl der Kontaktpunkte
 - Schwerpunkt
 - statische / dynamische Stabilität
 - Steigung des Terrain
- **Art des Kontaktes**
 - Kontaktpunkt oder Kontaktfläche
 - Kontaktwinkel
 - Reibung, Reibungskegel
- **Art der Einsatzumgebung**
 - strukturiert/unstrukturiert
 - Bodeneigenschaften

Mobile Roboter (9)

Differential Drive



Drehwinkel:

$$\begin{aligned} b_1 &= \alpha \cdot r_1 \\ b_2 &= \alpha \cdot r_2 \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \frac{b_1}{r_1} = \frac{b_2}{r_2} = \alpha$$

$$d = r_2 - r_1 = \frac{b_2}{\alpha} - \frac{b_1}{\alpha} = \frac{b_2 - b_1}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{b_2 - b_1}{d} \quad \longrightarrow \quad \Delta\alpha = \frac{\Delta b_2 - \Delta b_1}{d}$$

Mittlerer gefahrener Weg

$$b = \frac{1}{2} (b_1 + b_2)$$

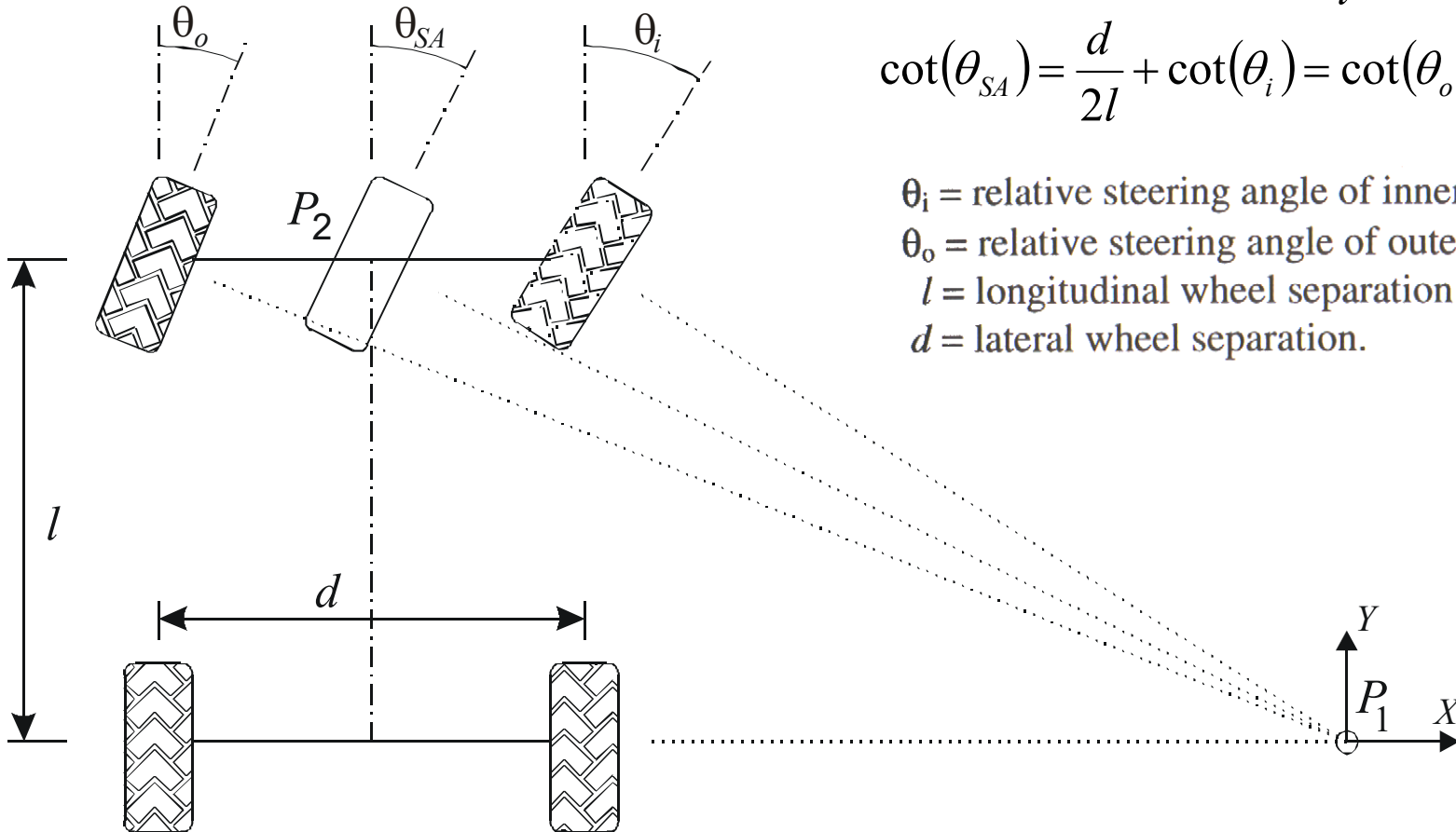
Mobile Roboter (10)

Ackermann Steering

$$\cot(\theta_i) - \cot(\theta_o) = \frac{d}{l}$$

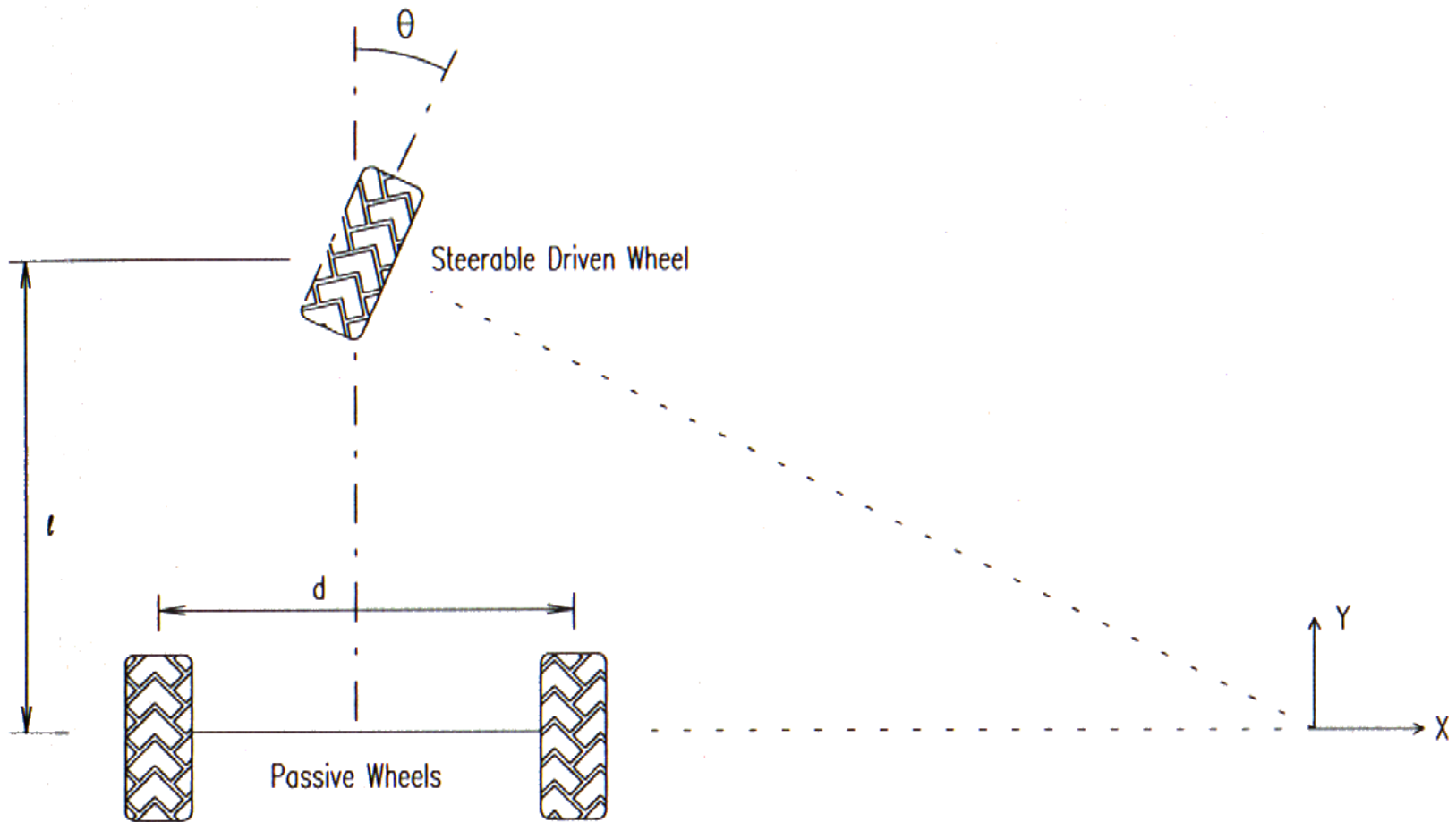
$$\cot(\theta_{SA}) = \frac{d}{2l} + \cot(\theta_i) = \cot(\theta_o) - \frac{d}{2l}$$

θ_i = relative steering angle of inner wheel
 θ_o = relative steering angle of outer wheel
 l = longitudinal wheel separation
 d = lateral wheel separation.



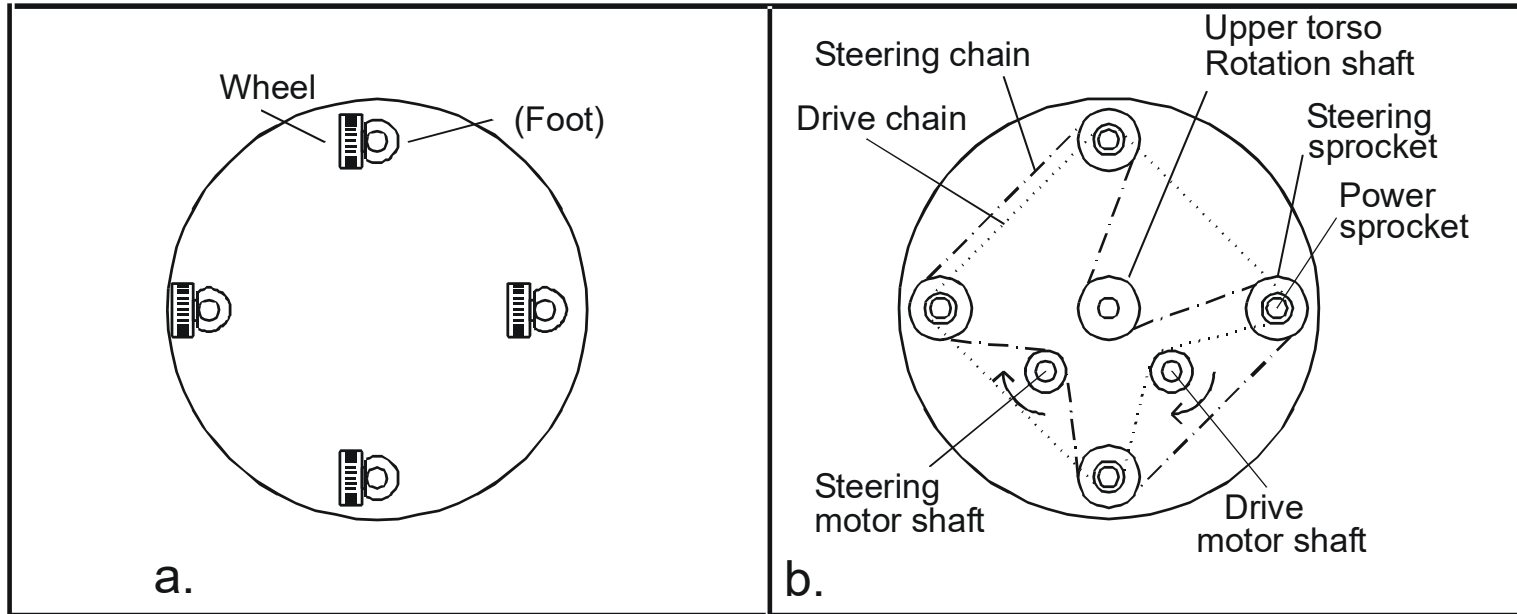
Mobile Roboter (11)

Tricycle Drive



Mobile Roboter (12)

Synchro Drive



a) Ansicht von unten

b) Ansicht von oben

4-rädrige Synchro Drive Konfiguration

Mobile Roboter (13)

Spurverfolgung

- Verfolgung einer Spur mittels Kamera
- Erkennung von Spurmarken zur Positionsbestimmung
 - Kreuzung, Kreuzungsmitte
- Aushandeln der Vorfahrt ohne zentralen Server
 - Deterministischer Algorithmus
 - Nur bremsen erlaubt
- Fahrgeschwindigkeit bis 1 m/s



Spurverfolgungsexperiment

Mobile Roboter (13)

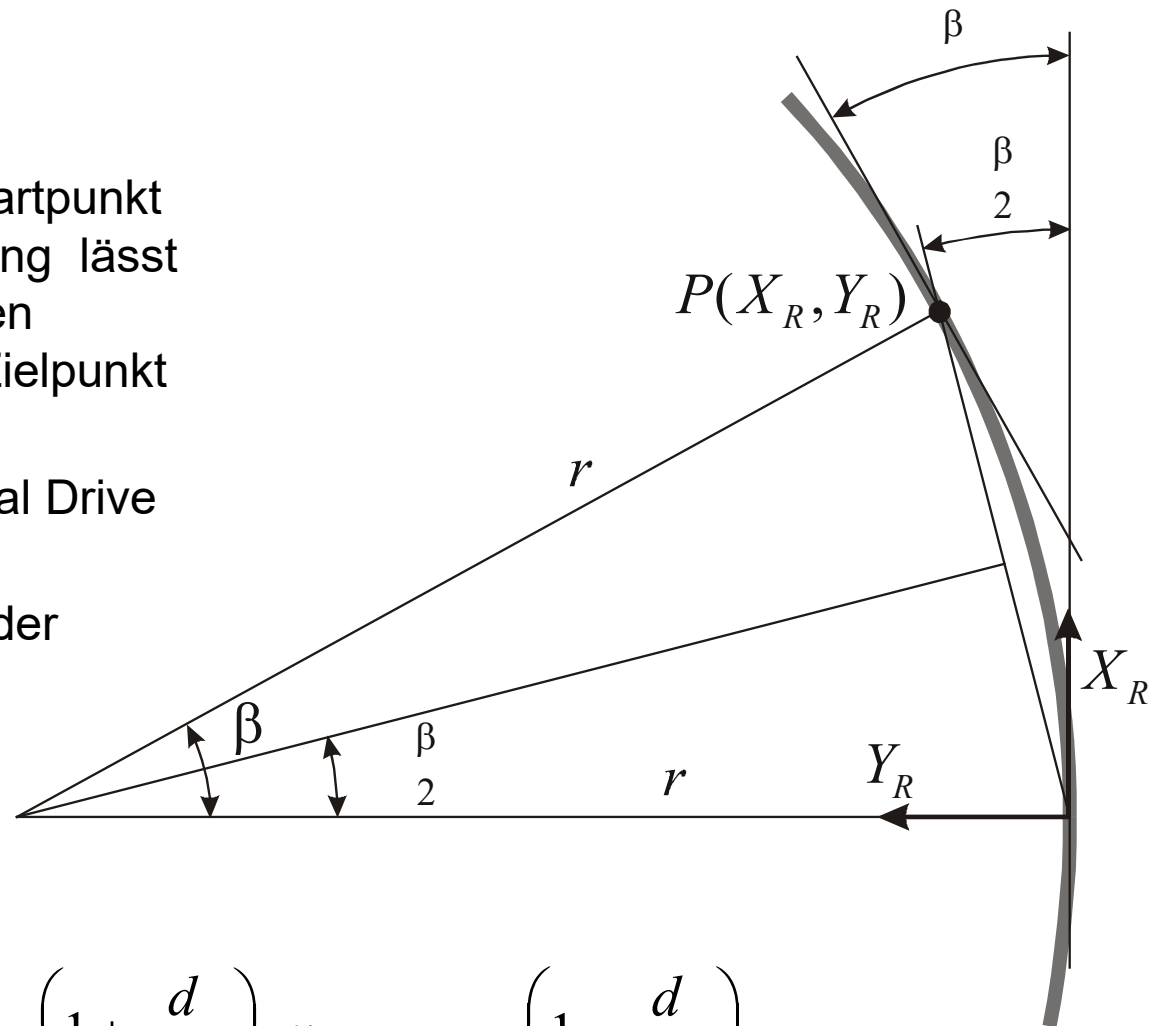
Spurverfolgung

- Prinzip:
Von einem beliebigen Startpunkt mit gegebener Orientierung lässt sich immer ein Kreisbogen konstruieren, der einen Zielpunkt überstreicht
- Kreisbögen mit Differential Drive fahrbar
- Kontinuierliches Update der Fahrparameter

$$\tan(\beta) = \frac{P_Y}{P_X}$$

$$r = \frac{\|\vec{P}\|}{2 \cdot \sin(\beta)}$$

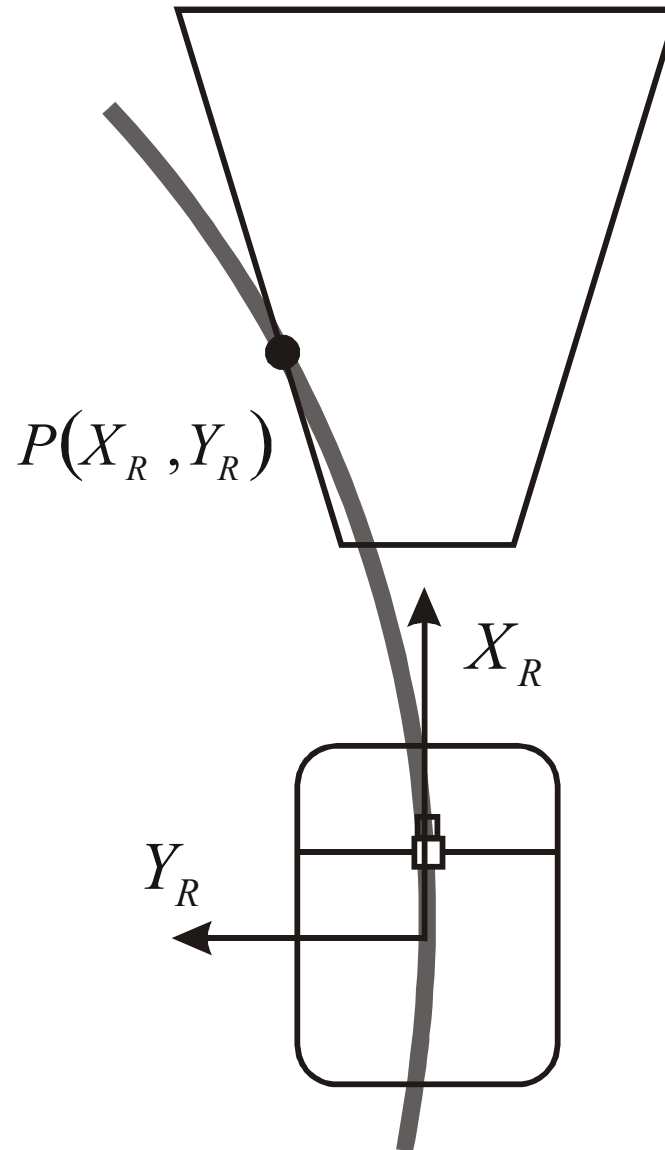
$$v_L = \left(1 + \frac{d}{2 \cdot r}\right) \cdot v \quad v_R = \left(1 - \frac{d}{2 \cdot r}\right) \cdot v$$



Mobile Roboter (14)

Spurverfolgung

- Trapezförmiger Bereich wird von Kamera erfasst
- Es muss nur ein Punkt auf der Spur erkannt werden
- Wenn eine Spur im Bild, kreuzt sie immer den Bildrand
- Nur Bildrand zu analysieren
- Verschiedene Fälle im Kreuzungsbereich → Selektion linke/rechte Fahrspur



Mobile Roboter (15)

Spurverfolgung

- Auswertung der Kamerabilder
 1. Auswertung des Bildinhaltes nach gesuchten Mustern
 - Markieren der Kreise bei ausgewählter Zeile/Spalte
 - Bestimmen der Mitte der Markierungsstreifen
 2. Transformation des Kreispunktes von den Pixelkoordinaten zu Roboterkoordinaten

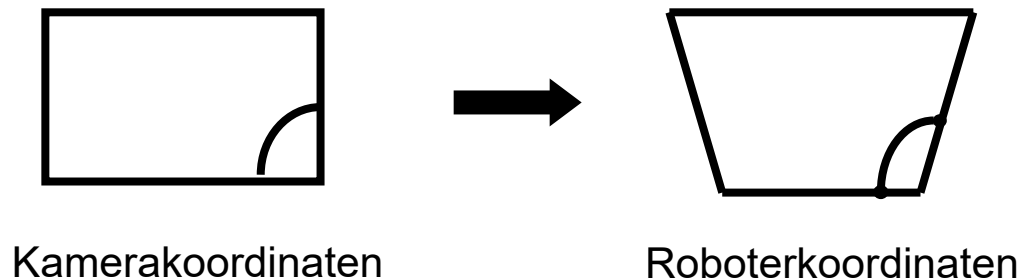
$$P({}^R X) = {}_B^R T \{ {}^B X, {}^K X \}$$

→ Integration in das Robotermodell

3. Ableitung notwendiger Bahnparameter



Spurmitte



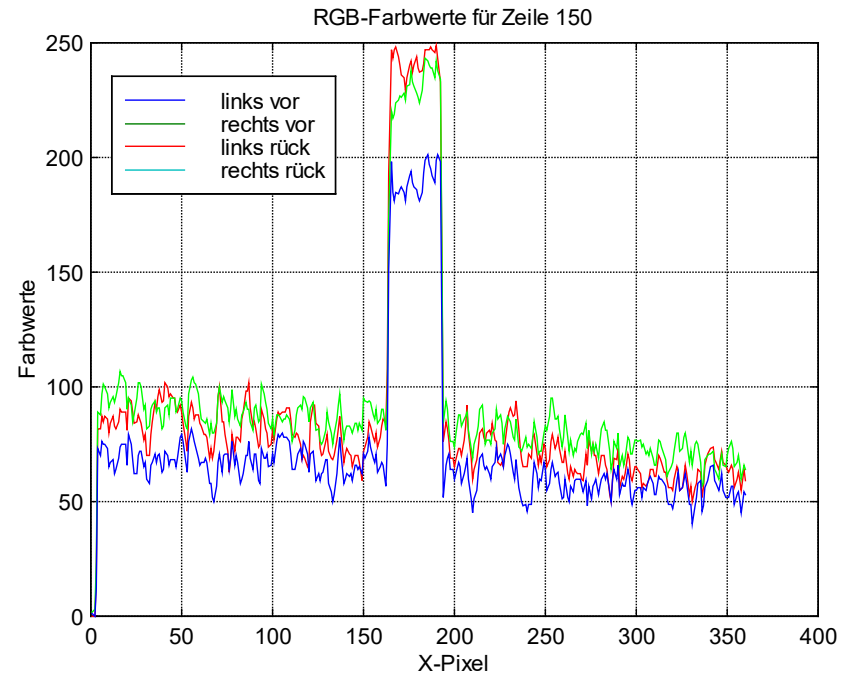
Kamerakoordinaten

Roboterkoordinaten

Mobile Roboter (16)

Spurverfolgung

- Auswertung der Kamerabilder

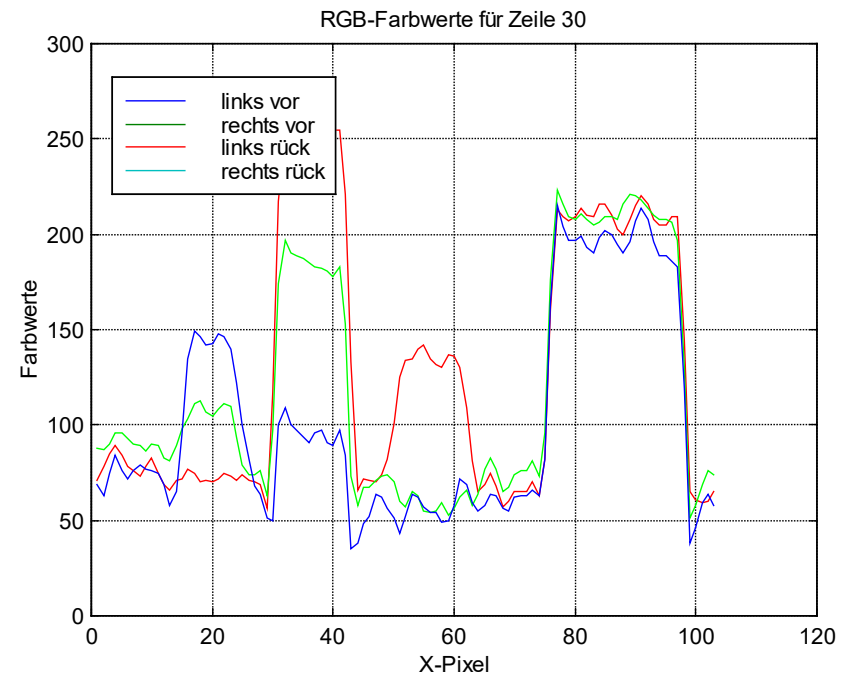


Suche der Spur mit Hilfe von Schwellwerten

Mobile Roboter (17)

Spurverfolgung

- Auswertung der Kamerabilder

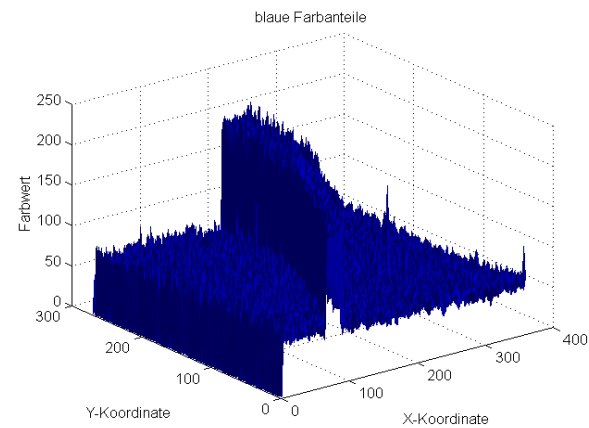
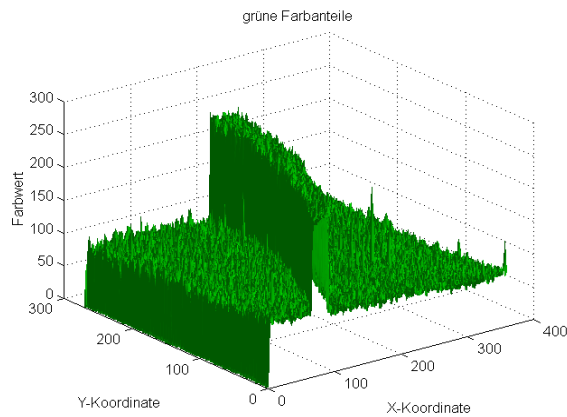
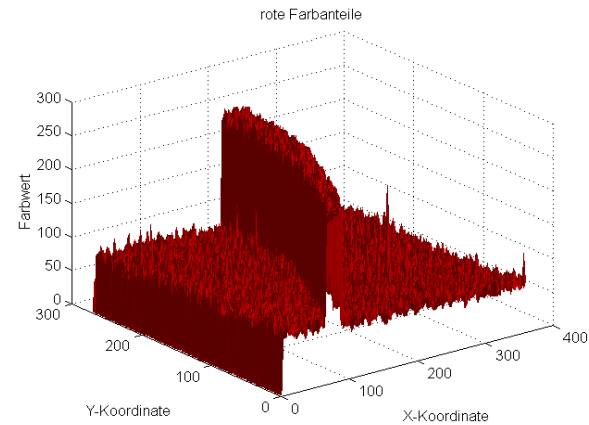


Auswertung der Farbinformation

Mobile Roboter (18)

Spurverfolgung

- Auswertung der Kamerabilder

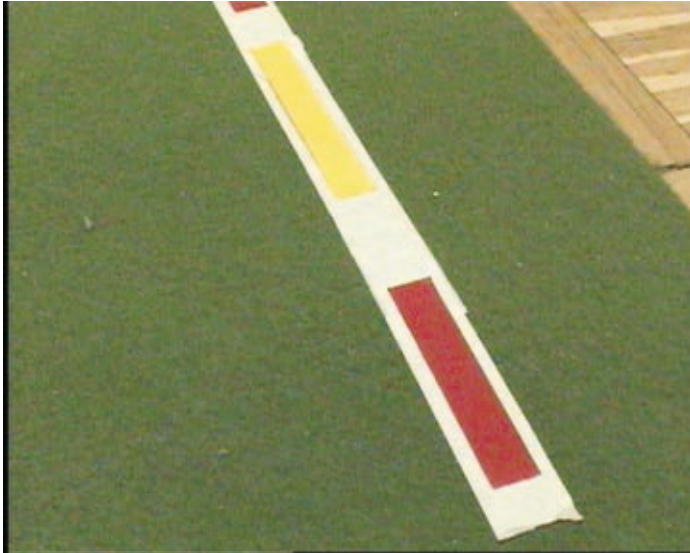


Ausfilterung von Störinformationen notwendig!

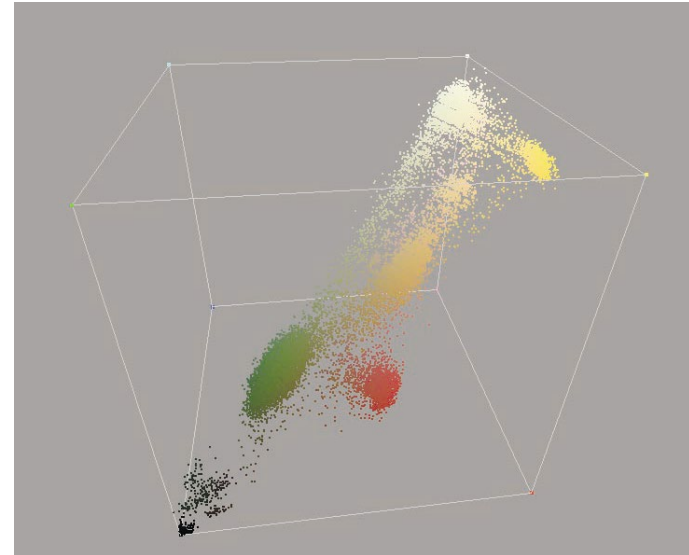
Mobile Roboter (19)

Spurverfolgung

- Auswertung der Kamerabilder



Kamerabild



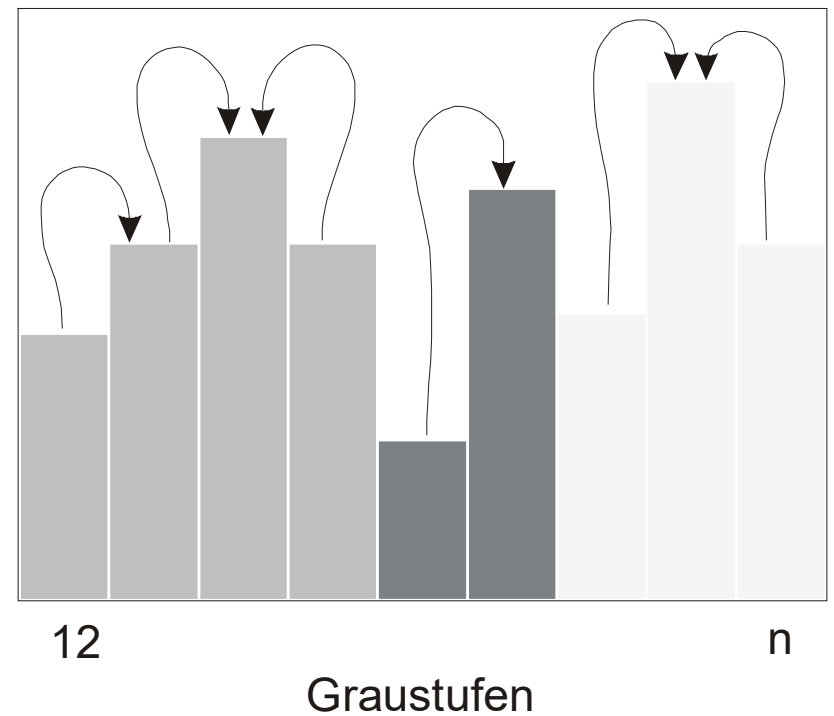
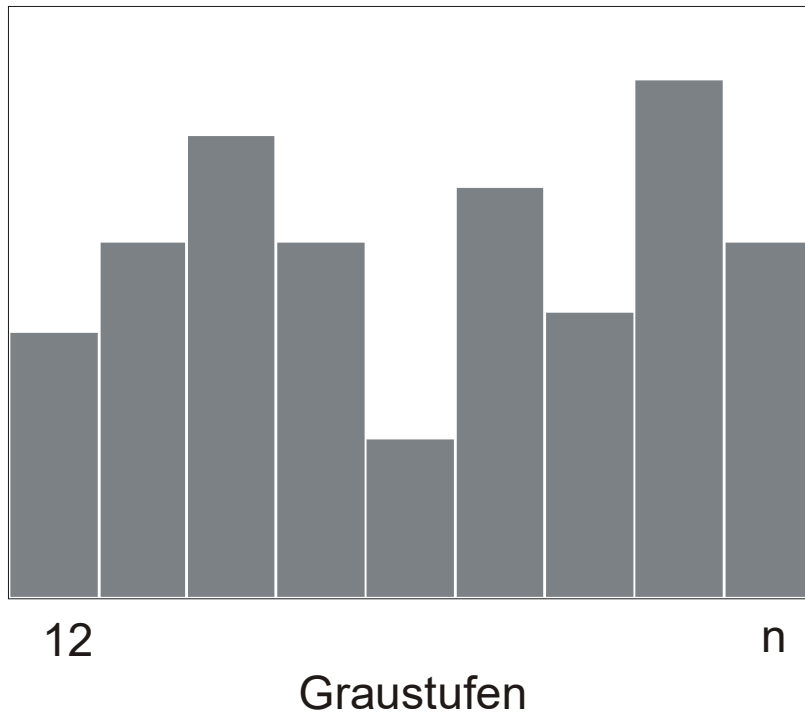
Zugehöriger RGB-Farraum

Mobile Roboter (20)

Spurverfolgung

- Auswertung der Kamerabilder

Automatische Segmentierung mittels Histogramm



Mobile Roboter (21)

Spurverfolgung

- Auswertung der Kamerabilder

Automatische Segmentierung mittels Histogramm

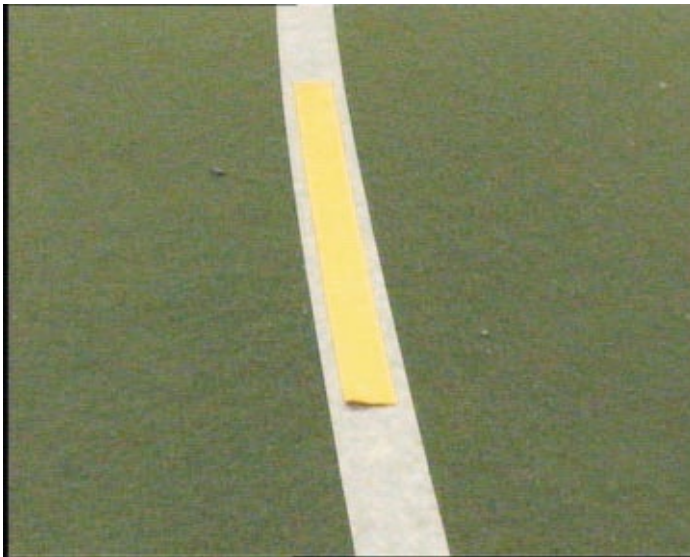


Bild vor Segmentierung

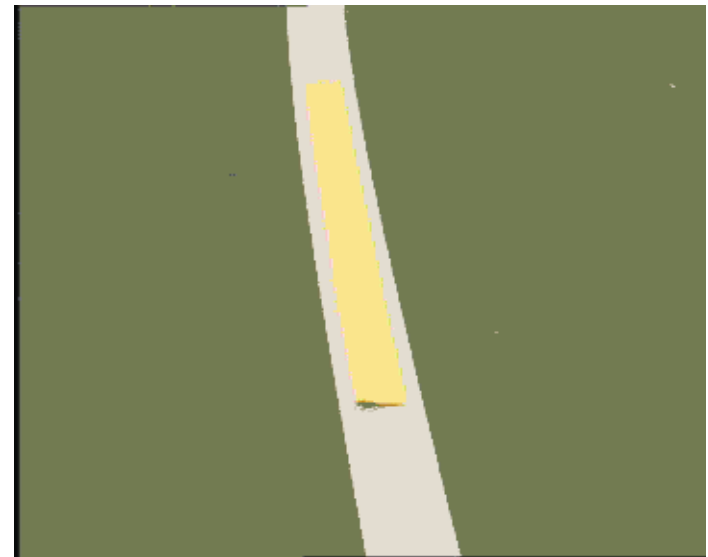


Bild nach Segmentierung