

Sensoren (1)

Definition

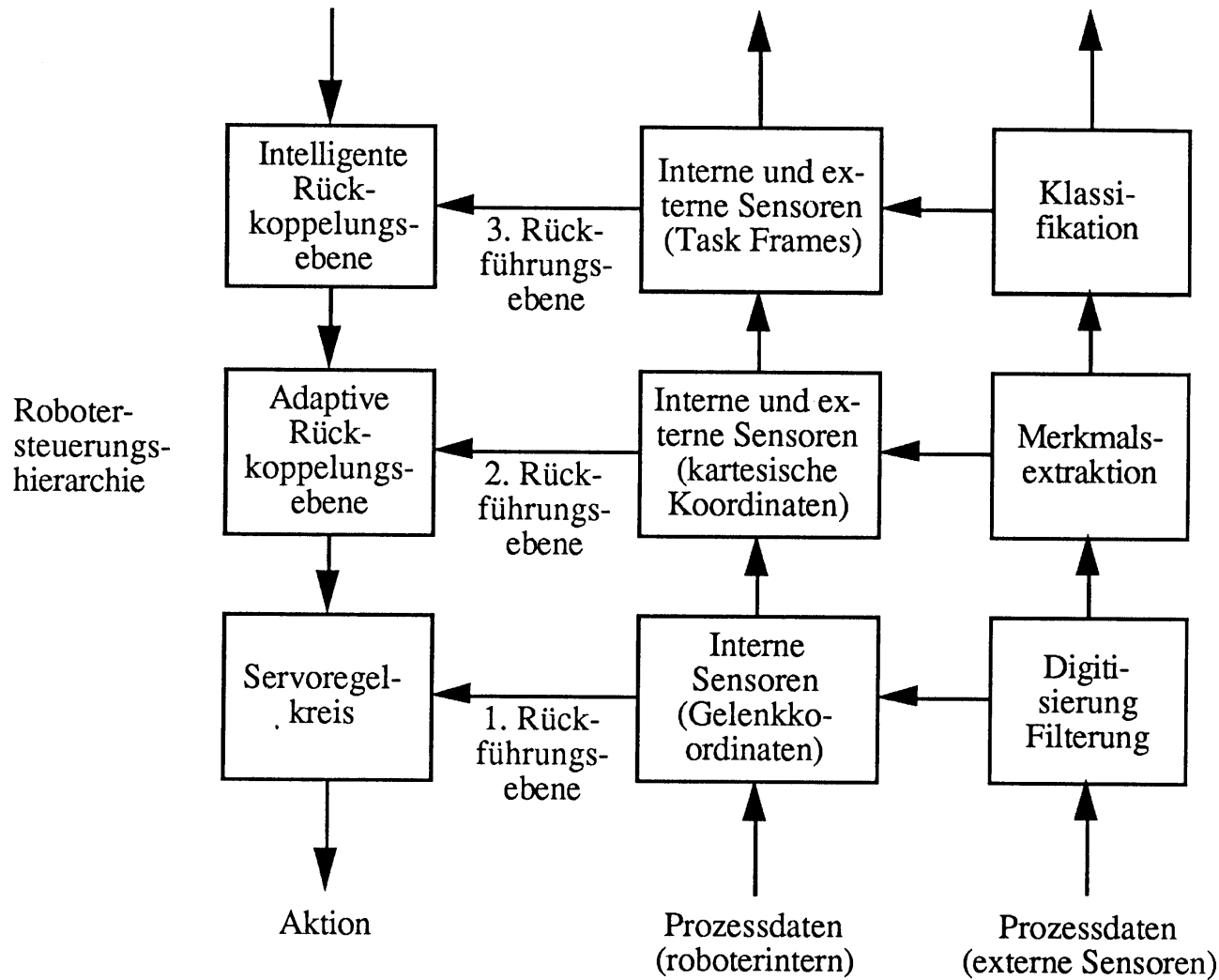
Unter Sensoren versteht man Komponenten, in denen eine physikalische oder chemische Veränderung in ein geeignetes Nutzsignal erfasst oder gemessen wird.

Sensoren (2)

Sensorinformationen

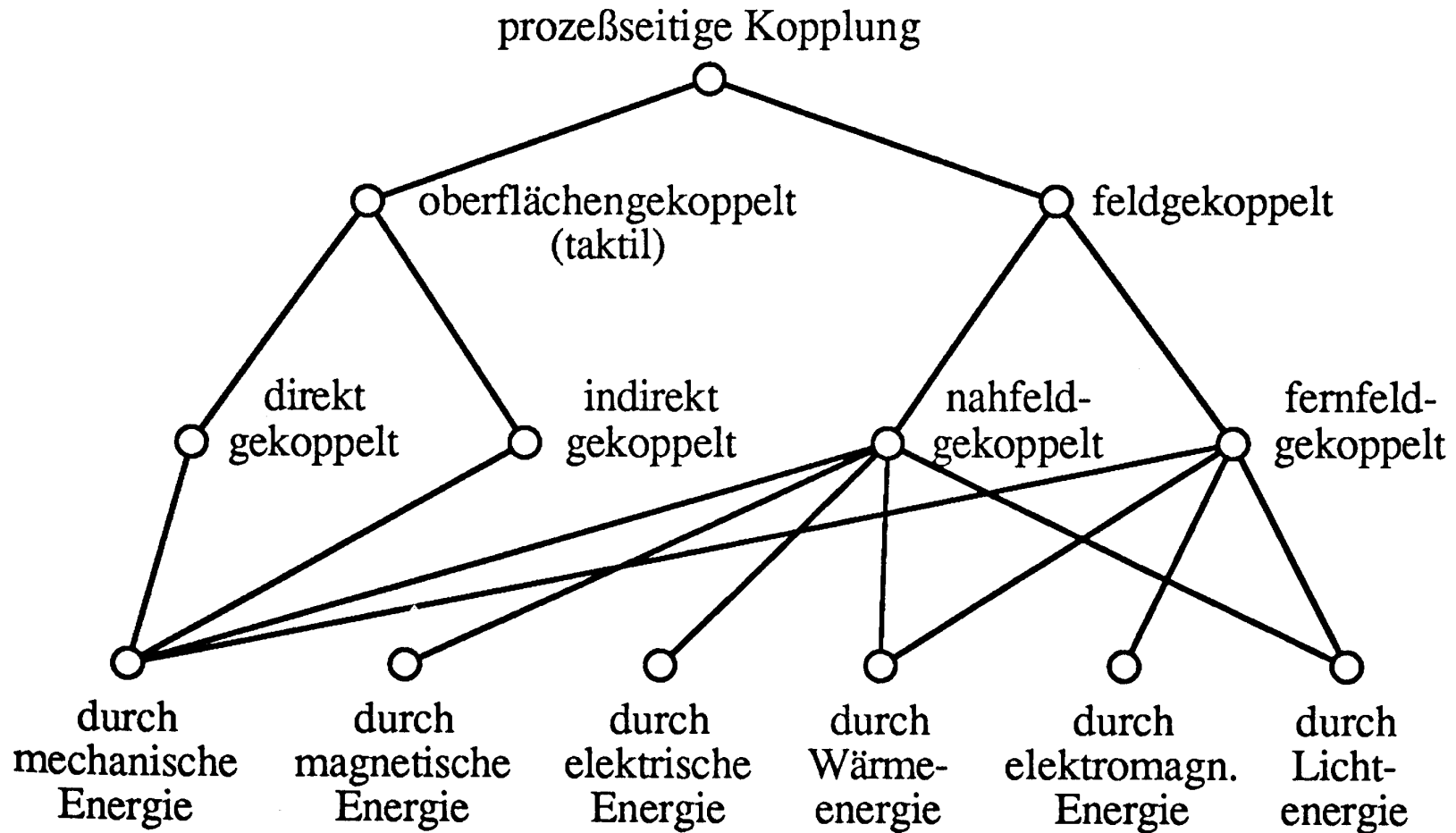
- Sensoren liefern die Informationen, die für die Steuerungsalgorithmen notwendig sind, z.B. über die Umgebung des Roboters
- Sensoren liefern Informationen (Signale) über physikalische Größen, diese beinhalten keine abstrakten Informationen, z.B. über die Umgebung
- Sensorsignale müssen in eine digitale Repräsentation überführt werden
- Sensorinformationen werden zur Verarbeitung abgetastet, dabei muss der Signalbandbreite beachtet werden
- durch Interpretation der Sensorinformationen lassen sich abstrakte Informationen gewinnen (z.B. Analyse des zeitlichen Verlaufs, Zusammenfassung verschiedener Sensorinformationen)
- abgeleitete Sensorinformationen können als Sensoren aufgefasst werden (virtuelle Sensoren)

Sensoren (3)



Hierarchie von Sensorrückführungsschleifen in einer Robotersteuerung

Sensoren (4)



Klassifikation von Sensoren nach physikalischen Wirkprinzipien

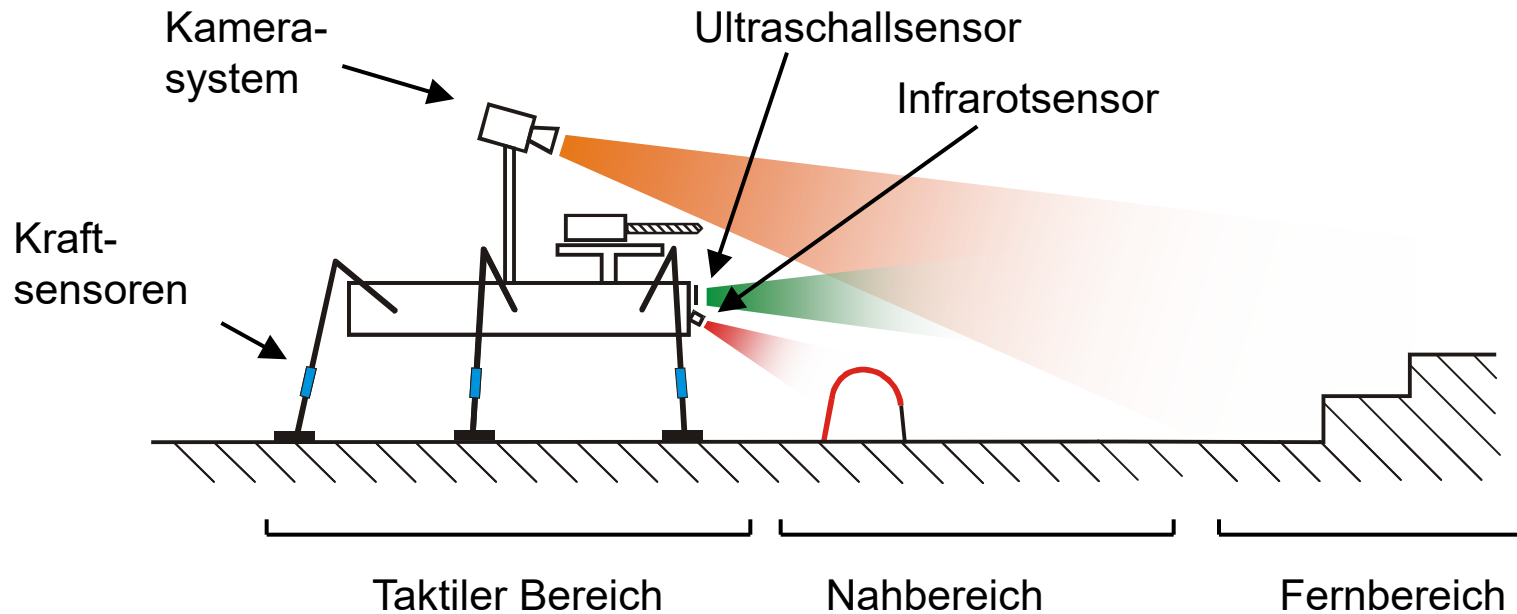
Sensoren (5)

Klassifikation für mobile Roboter nach dem Entfernungsmodell

	Klassifikation	Messgrößen	Sensoren
↑ Entfernung Erfassungszeitpunkt ↓	Externe Sensoren	fern	Merkmale, Farbe, Konturen Kamera, Laser Radar
		nah	Entfernung, Existenz von Objekten Stereo-Kamera, Infrarot, Ultraschall, Kapazität
	Interne Sensoren	taktil	Externe Kräfte, Kollision Dehnmessstreifen, Bumper
		Roboter	Interne Kräfte + Momente Dehnmessstreifen Gelenkwinkel, Gelenkgeschwindigkeit, Neigung Potentiometer, Inkrementalsensoren, Neigungssensoren

Sensoren (6)

Beispiele für Sensoren am Roboter



Sensoren (7)

Sensoren zur Positionsbestimmung

Relative Positionsbestimmung

- Odometrie
- Inertialnavigation

Absolute Positionsbestimmung

- Leuchtfeuer (Active beacons)
- Künstliche Landmarken (Artificial landmark recognition)
- natürliche Landmarken (Natural landmark recognition)
- Modellvergleich (Model matching, SLAM)

Sensoren (8)

Positionsbestimmung mittels Laserscanner

- **Lokalisation durch Vergleich mit Referenzkarten**

Referenzkarten: Modell der Umwelt (Merkmale oder Gitternetz)

Erstellung: Exploration (Scan), Referenzdaten (CAD)

- **Modell und Realität**

Realität: Begrenzungsobjekte, feste Objekte, bewegliche Objekte

CAD-Modelle: nur Begrenzungsobjekte

Explorations-Scan: zusätzlich feste Objekte (realitätsnah)

- **Modellrepräsentation**

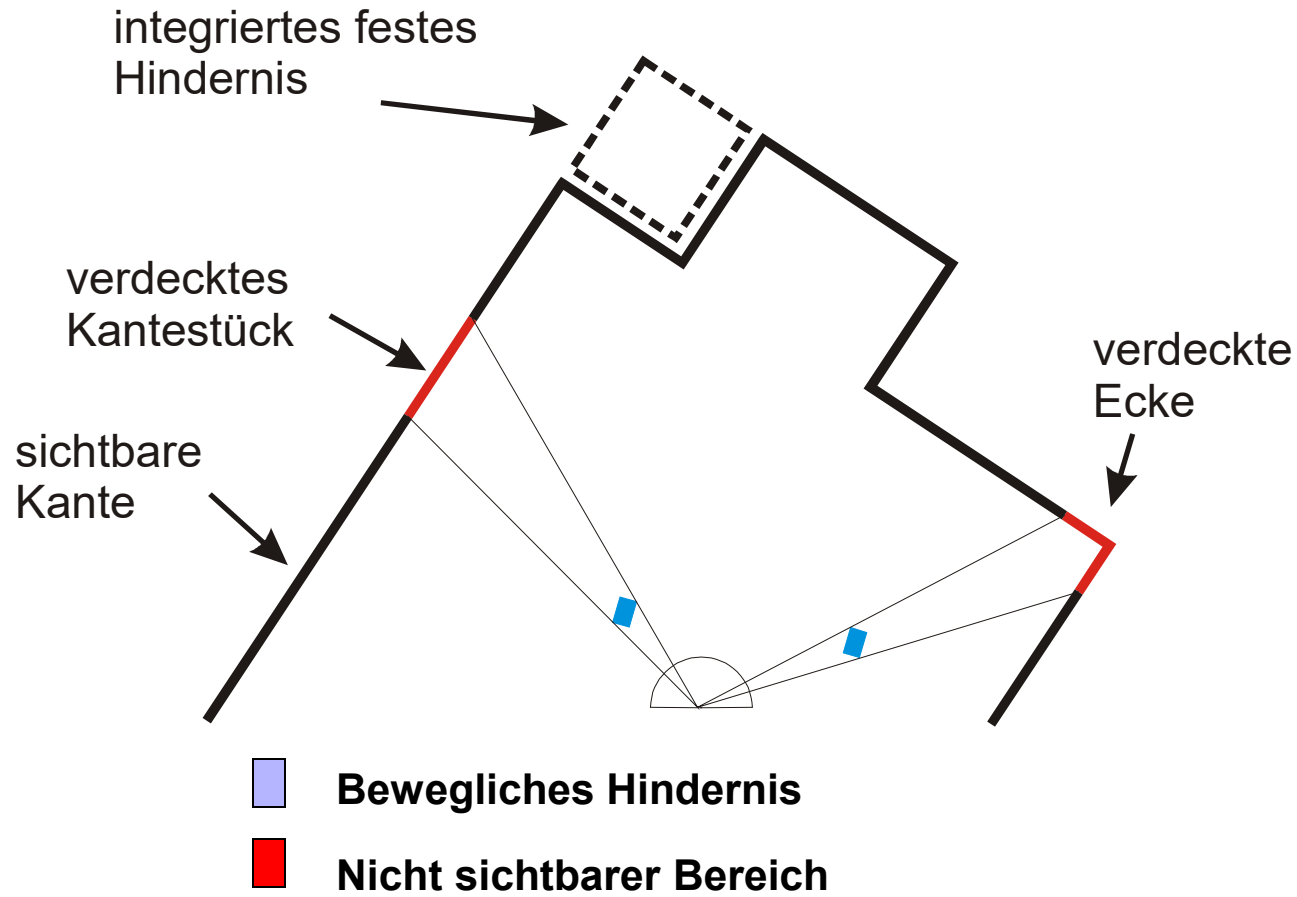
Interpretation von Entfernungsinformation:

Linien → Kanten

Sich anschließende Linien → Ecken

Sensoren (9)

Typisches Szenarium



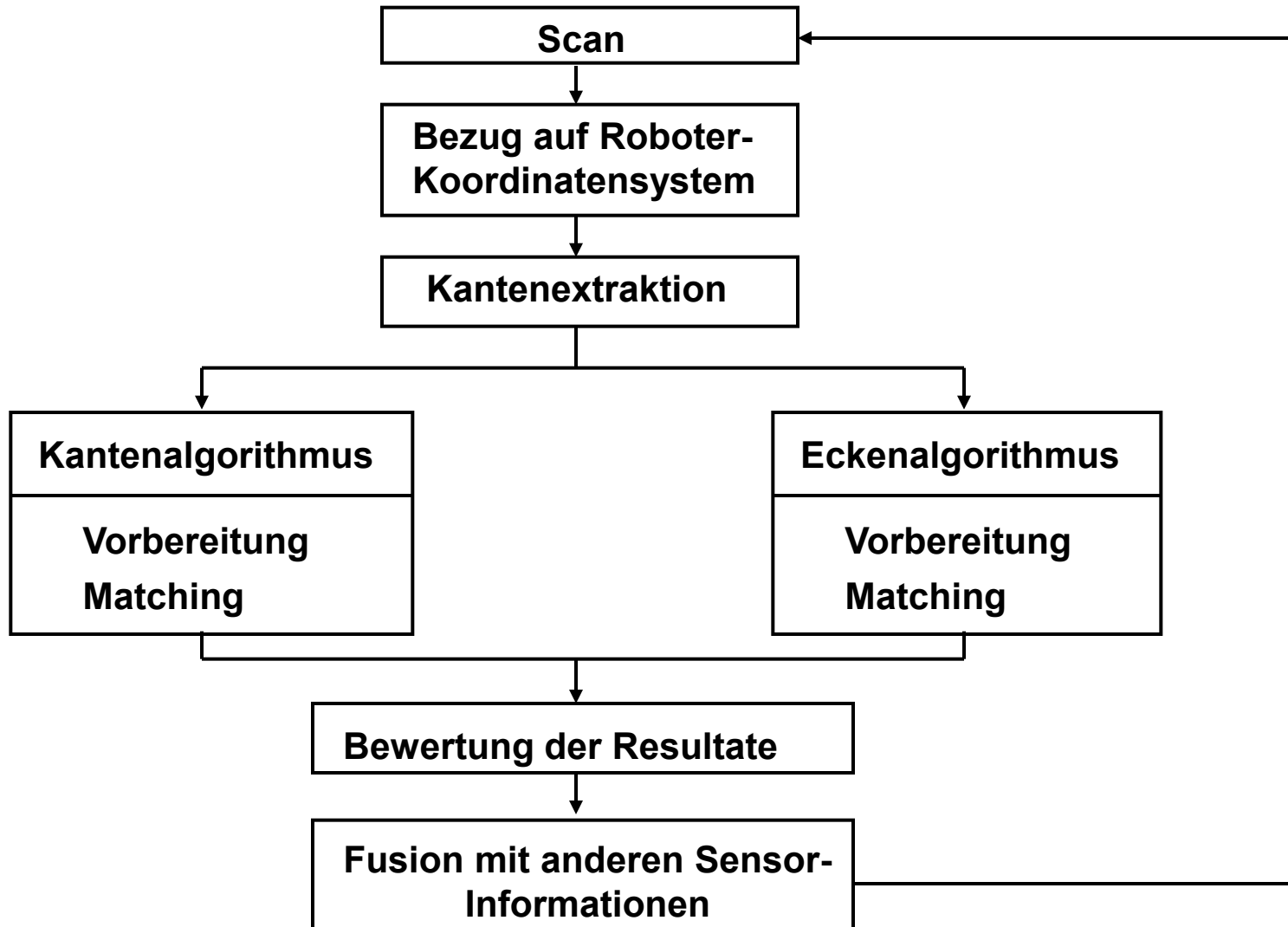
Sensoren (10)

Forderungen an einen Algorithmus

- **Positionsbestimmung in nicht idealer Umgebung (bewegliche Objekte)**
- **Referenzkarten**
 - Automatisierte Generierung für realitätsnahe Karten (Integration fester Objekte)**
 - Gleiche Algorithmen und Datenformate für Referenz- und Vergleichsscan**
 - Zur Laufzeit erweiterbare Karten**
- **Nutzung bekannter Kantenextraktionsverfahren**

Sensoren (11)

Funktionsprinzip



Sensoren (12)

Algorithmus zur Kantenextraktion



zusammenhängende Punktfolge



Startlinie



1. Rekursions-schritt



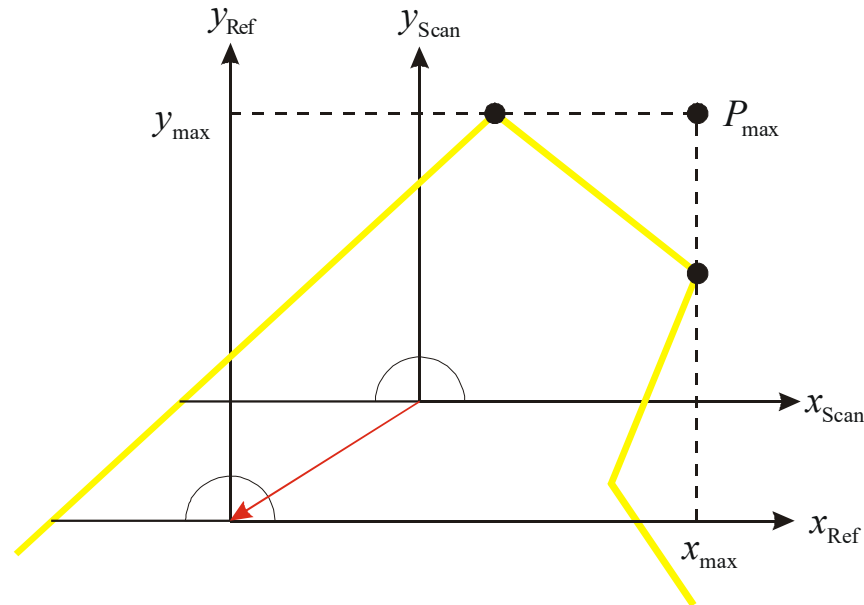
2. Rekursions-schritt



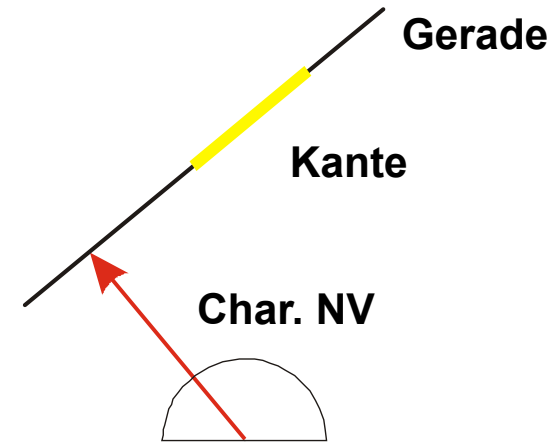
3. Rekursions-schritt

Sensoren (13)

Kantenbasierter Algorithmus, Vorbereitung



Umgebungsrechteck zur Positionsschätzung



Charakteristischer Normalenvektor



**Längensumme =
Summe der Kantenlängen
einer Klasse**

Sensoren (14)

Kantenbasierter Algorithmus, Vorbereitung

Referenz-Karte	Scan-Karte
<ul style="list-style-type: none">● 360°-Scan, Kantenextraktion● 180°-Halbkarten erzeugen (5° Vers.)● Umgebungsrechtecke bestimmen	<ul style="list-style-type: none">● 180°-Scan, Kantenextraktion
<ul style="list-style-type: none">● Kanten der Länge nach sortieren● Gerade zu Kanten ermitteln● Charakteristischen Normalenvektor● Kanten mit ähnlichen charakteristischen Normalen zusammenfassen● Längensummen bilden	<ul style="list-style-type: none">● Umgebungsrechteck bestimmen● Positionsschätzung anhand des Umgebungsrechtecks● Verschiebung des Scans (Transformation)● Kanten der Länge nach sortieren● Gerade zu Kanten ermitteln● Charakteristischen Normalenvektor● Kanten mit ähnlichen charakteristischen Normalen zusammenfassen● Längensummen bilden

Sensoren (15)

Kantenbasierter Algorithmus, Matching

- **Vergleich der Kantenklassen: Listen der Referenzkarte und des Scans**
- **Qualitätsmaß für die Übereinstimmung**
 - Des charakteristischen Normalenvektors in Länge und Winkel**
 - Längensummen der Kanten**
- **Mittelwert aller Qualitätsmaße, Ergebnis in $[0,1]$**

Sensoren (16)

Eckenbasierter Algorithmus, Vorbereitung

- **Erstellung der Liste aller Ecken**

Charakteristisch: Schenkellänge, Winkel, Ausrichtung
Repräsentiert durch 3 Punkte + Winkel in $[0 .. 180^\circ]$

- **Extraktion virtueller Ecken**

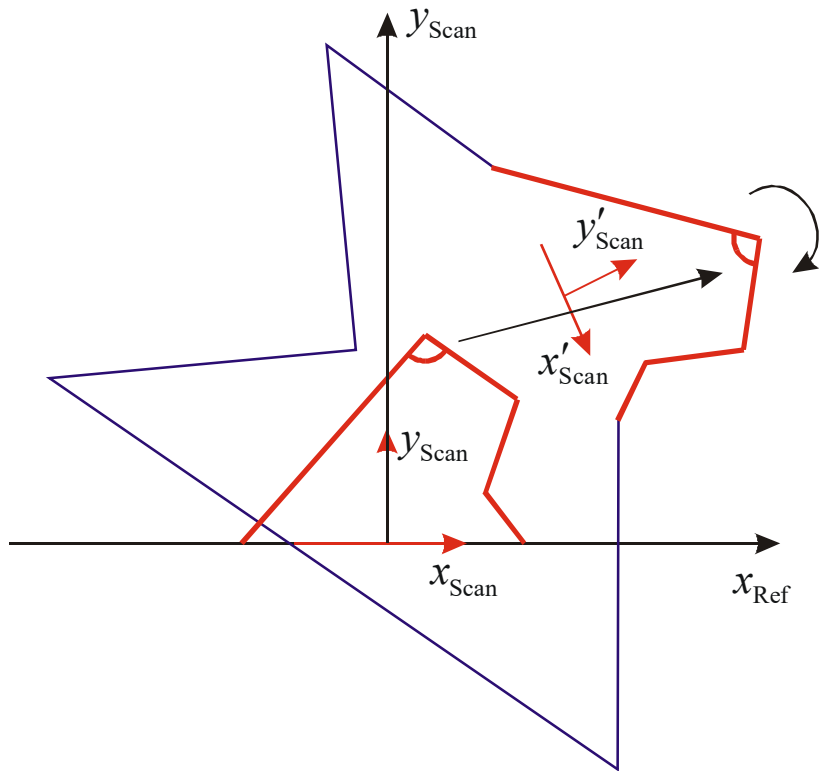
Verwendung längster, orthogonaler Kanten
Schnittpunkt der Geraden: virtuelle Ecke

- **Entfernung mehrfacher Eintragungen (Ecken)**

- **Sortierung beginnend mit kleinstem Öffnungswinkel**
(am markantesten)

Sensoren (17)

Eckenbasierter Algorithmus, Matching



Markanteste Ecke im Scan suchen

**Transformation des Scans, so dass
Übereinstimmung Referenzecke des
Scans mit einer Ecke des Referenzscans,
Wiederholung für alle Ecken**

**Prüfung weiterer Ecken des Scans auf
Übereinstimmung mit dem
Referenzscan**

**Bestimmen des Qualitätsmaßes,
Zuordnung zu den
Transformationsparametern**

Sensoren (18)

Verarbeitung der Scan-Ergebnisse

- **Beide Algorithmen liefern mehrere Positionshypothesen nach dem Qualitätsmaß geordnet**
- **Strategien:**

Verwendung des besten Qualitätsmaßes

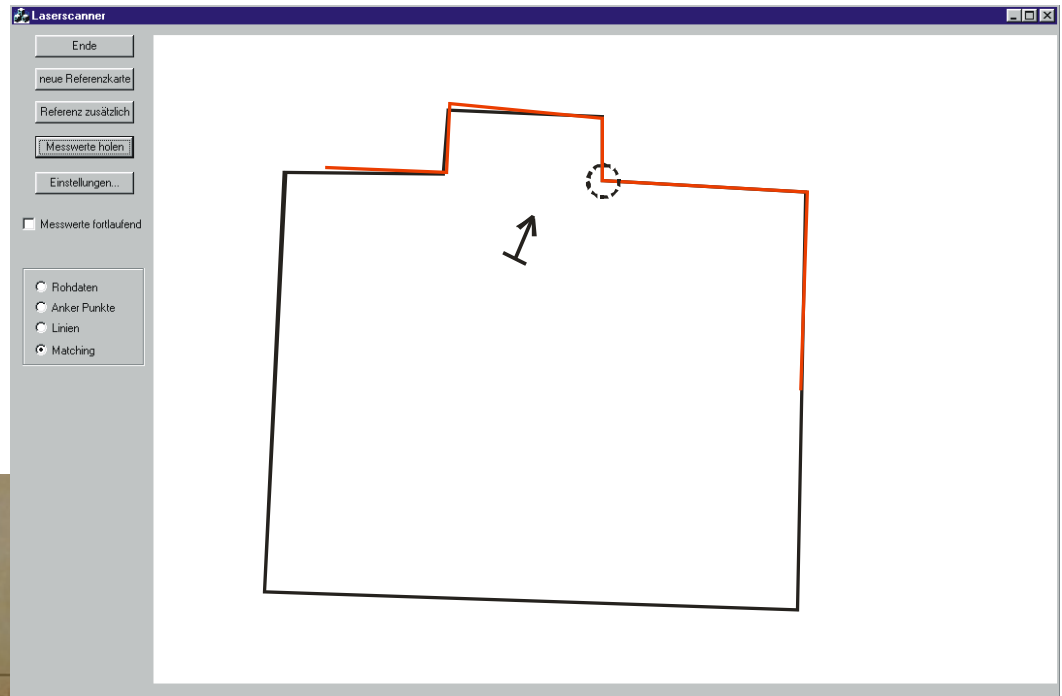
Verwendung von Vorwissen, z.B. zuletzt ermittelte Position

Kopplung mit Odometrie, Kompaß oder anderen Sensoren

Sensoren (19)

Beispiel-Scans

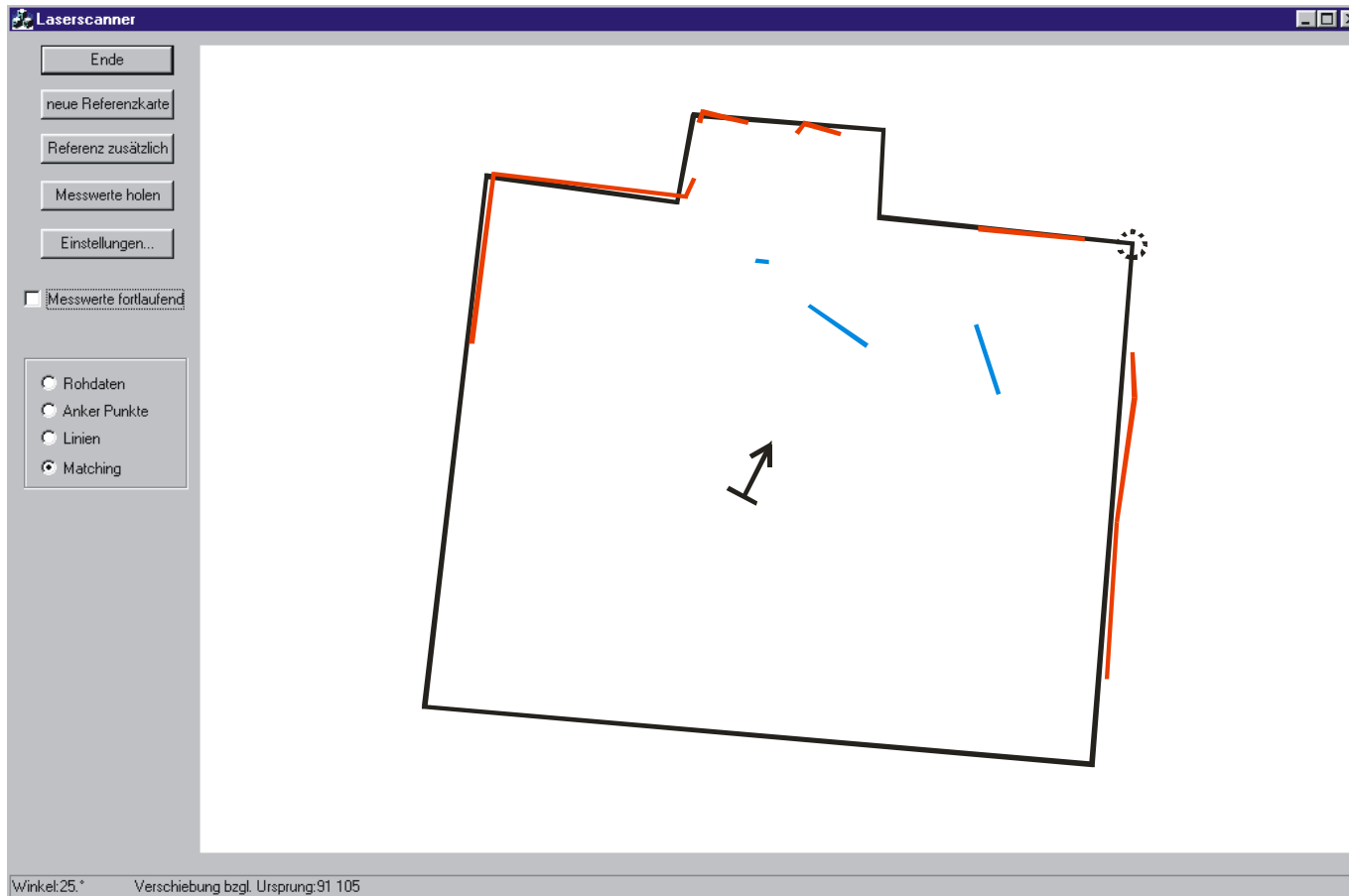
Testsetup mit Laserscanner



GUI mit Anzeige von Karte, bestem Match und ermittelten Position

Sensoren (20)

Beispiel-Scans



Eckenalgorithmus mit virtueller Ecke

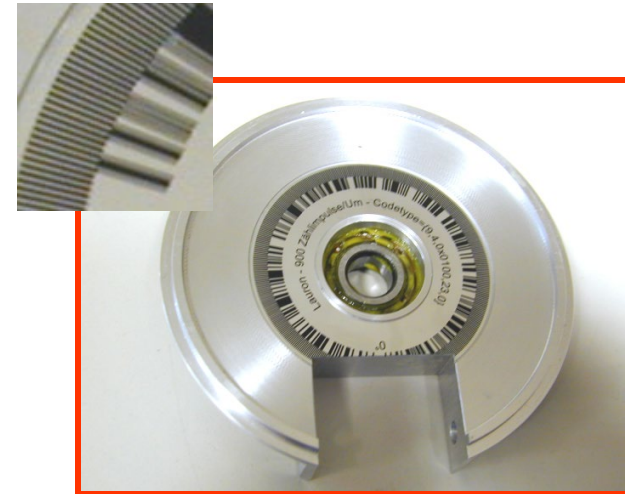
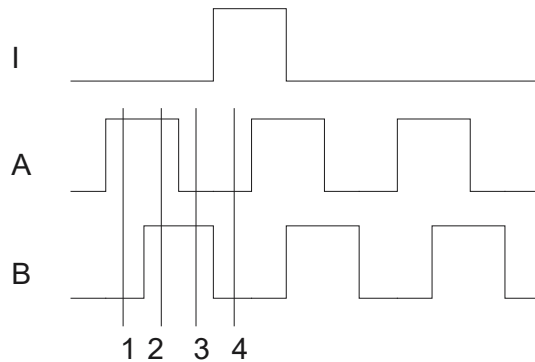
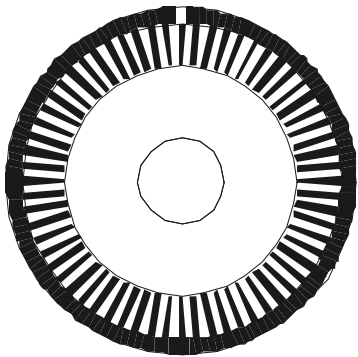
Sensoren (21)

Algorithmus	Vorteile	Nachteile
Kantenbasierter Algorithmus	Robust gegenüber großer Anzahl von Überdeckungen	Ungenau in Positionshypothese
Eckenbasierter Algorithmus	Genau, wenn viele Ecken sichtbar und Ecken markant (spitz und lange Schenkel)	Versagen bei wenigen Ecken, besonders bei nicht orthogonalen Seiten (es werden keine virtuellen Ecken ermittelt)
Beide Algorithmen	Funktion mit Verdeckungen	Probleme mit symmetrischen Karten

Sensoren (22)

Positions- und Geschwindigkeitssensoren für Achsen und Gelenke

Inkrementeller Sensor



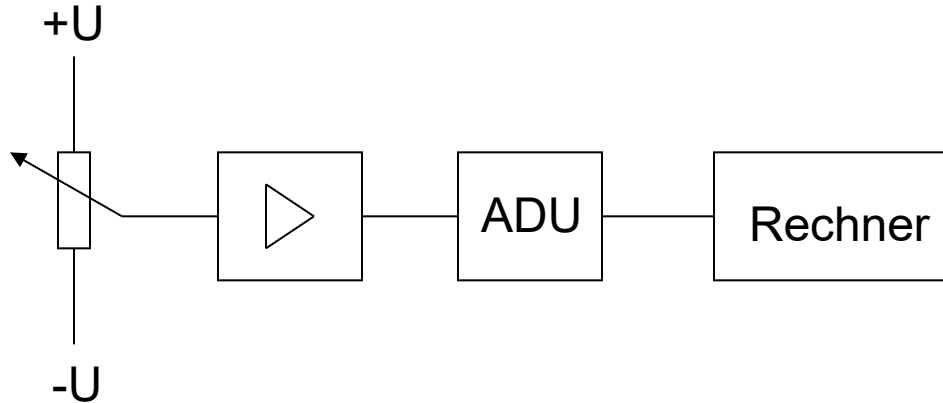
Prinzip

Beispiel

Sensoren (23)

Positions- und Geschwindigkeitssensoren für Achsen und Gelenke

Analoger, absolut erfassender Sensor



Prinzip



Gelenksensor
am Laufroboter

Sensoren (24)

Odometrie

Aus den geometrischen Beziehungen folgt;

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

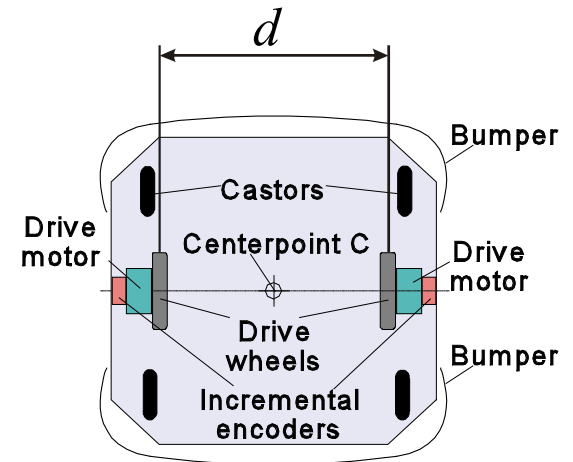
$$d = r_2 - r_1 = \frac{b_2}{\alpha} - \frac{b_1}{\alpha} = \frac{b_2 - b_1}{\alpha}$$

Drehwinkel

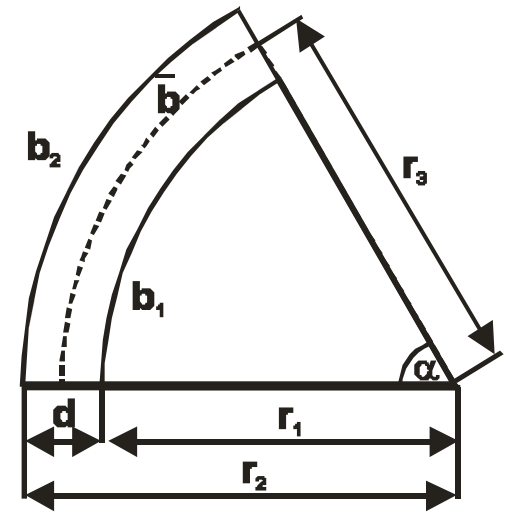
$$\alpha = \frac{b_2 - b_1}{d}$$

Mittlerer gefahrener Weg

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



Differential Drive



Geometrische Beziehungen

Sensoren (25)

Odometrie

Bestimmung der
aktuellen Koordinaten

- Vektor von alter zu neuer Position

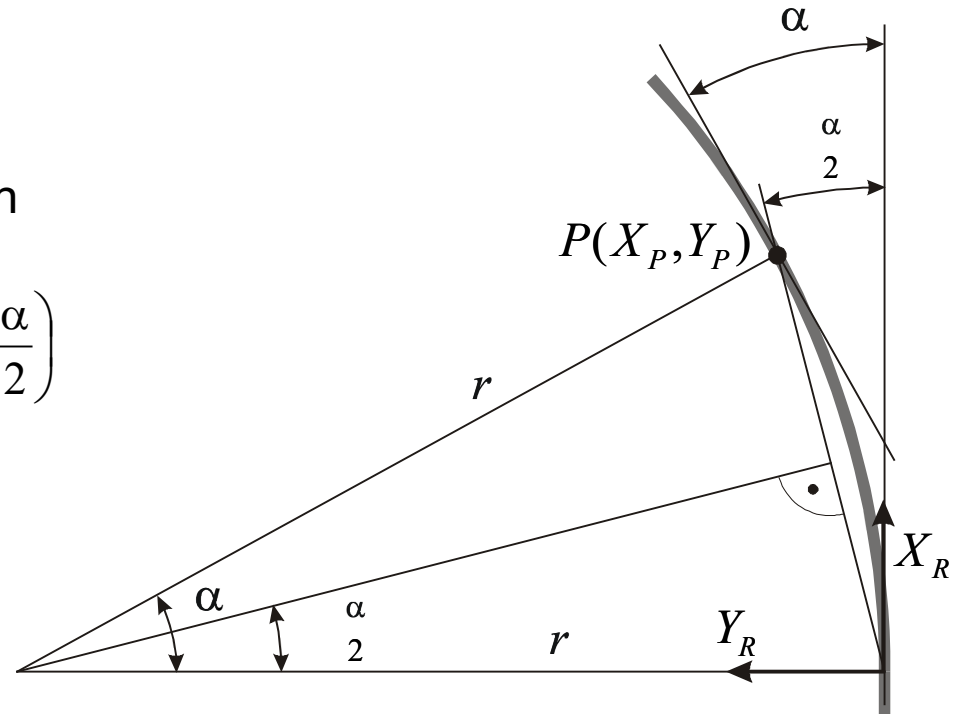
$$P(X_P, Y_P)$$

- Betrag des Vektors: $|\vec{p}| = 2r \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$
- Für kleine Kreisbögen wird $|\vec{p}|$

durch b angenähert

$$X_P = b \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$Y_P = b \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$



Geometrische Beziehungen

Sensoren (26)

Odometrie

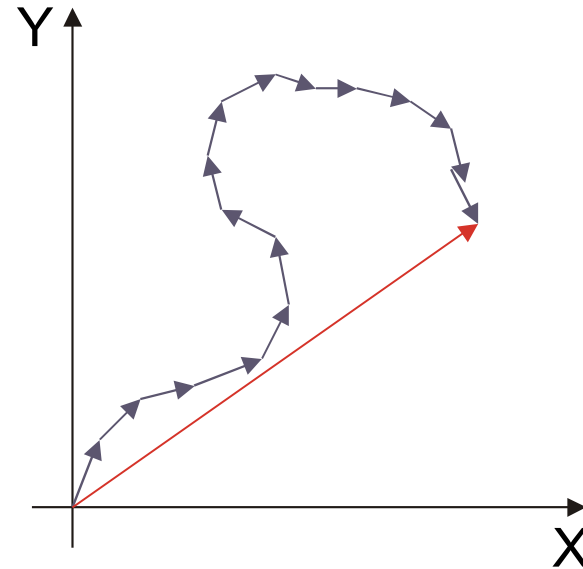
Position im
Weltkoordinatensystem

$$X_i = X_{i-1} + \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot \cos\left(\alpha_{i-1} + \frac{b_1 - b_2}{2d}\right)$$

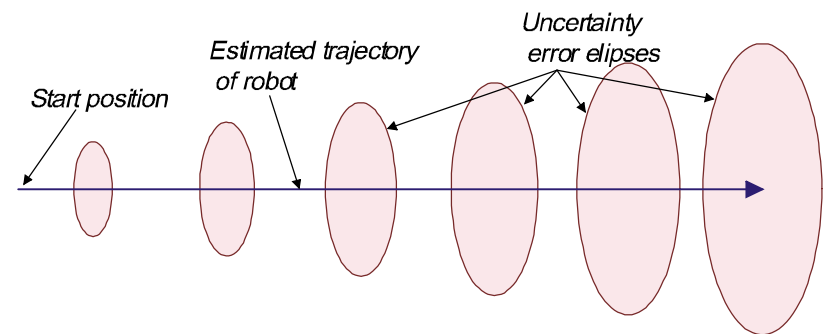
$$Y_i = Y_{i-1} + \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot \sin\left(\alpha_{i-1} + \frac{b_1 - b_2}{2d}\right)$$

Orientierung

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \left(\frac{b_1 - b_2}{d}\right)$$



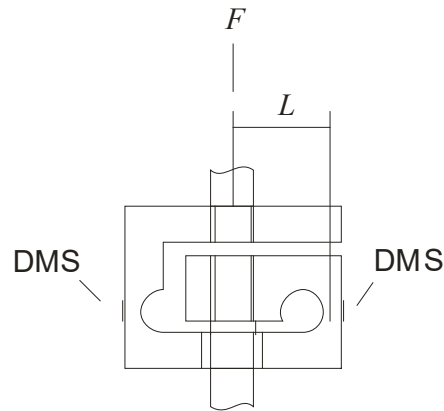
Stückweise Rekonstruktion des Weges



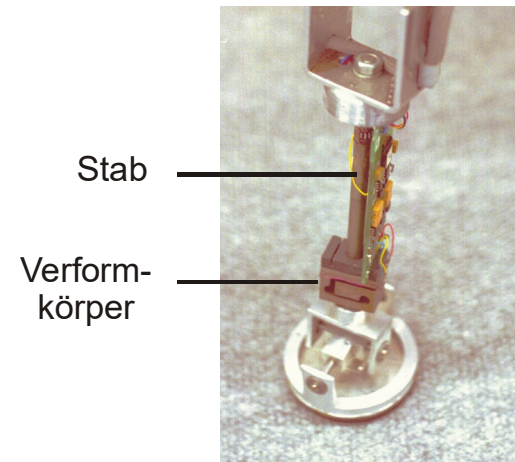
Unsicherheit der Positionsbestimmung
Durch kumulierenden Fehler

Sensoren (27)

Interne Sensoren - Kraftsensoren



Erfassung der Verformung aufgrund wirkender Kräfte mittels Verformkörper



Kraftsensor in einem Laufroboter-Bein