

# Navigation und Kognitive Robotik

**Prof. Dr. Bernd Krieg-Brückner**

Bremer Institut für Sichere Systeme

FB3, TZI, Universität Bremen

## **Eine Taxonomie räumlichen Wissens für die Navigation**

- Psychologie, Biologie - kognitive Robotik, KI

## **Anwendung: teil-autonomer Rollstuhl**

- Autonomie für behinderte oder ältere Menschen
- Prototyp eines Serviceroboters
- komplexe Manöver selbständig ausführen
- Robustheit, Anpaßbarkeit, Lernfähigkeit
- Anlehnung an Kognition biologischer Systeme
- verhaltensorientierte Taktiken und Strategien



# Kognitive Robotik statt klassischer Industrierobotik

## Robustheit statt Exaktheit

- keine exakt vermessene Umgebung
- Einweisungsphase, “teaching”
- Multi-Modalität / Sensorfusion nach natürlichem Vorbild

## dynamische Umgebungen

- statische Fixpunkte, “Landmarken”
- Adaptivität an Änderungen, Lernen
- bewegliche “flüchtige” Objekte

## verschiedene Verhaltensweisen

- Navigation im Innenraum, Hindernisvermeidung
- "Andocken" am Schreibtisch
- Fahren in Gängen, Ausweichen, Abbiegen, Fahren durch die Tür
- Verfolgen von Routen, evtl. Flucht bei Gefahr

# Vorarbeiten, laufende Projekte AG Krieg-Brückner

## **Graduiertenkolleg, stud. Projekte FORANN, SAUS**

- erster Prototyp des Rollstuhls
- Navigation nach Insektenvorbild
- Navigation mit dem Parti-Game Algorithmus, ...
- viele kleine Einzelergebnisse und Moduln, know-how

## **Zusammenarbeit mit Uni Dortmund**

- DFG Projekt MicroNeuron, analoge Neuronale Chips

## **DFG Schwerpunktprogramm Raumkognition**

- Projekt "Bildfolgenbasierte semilokale 3D Landmarken zur Navigation in dynamischen Umgebungen"
- Wegmarken — Landmarken
- Routenwissen — Überblickswissen
- Zusammenarbeit mit KI, Psychologie

# Vorarbeiten, laufende Projekte AG Krieg-Brückner

## **Zusammenarbeit mit Meyra, Vlotho; stud. Projekt BRAUS**

- Benutzungsschnittstelle
- verschiedene Grade der Unterstützung, angepaßt an Behinderung
- zweiter Prototyp des Rollstuhls

## **Zusammenarbeit mit DASA RI, Bremen**

- sichere Servicerobotik (laufende Diplomarbeiten)

## **gepl. Zusammenarbeit mit Reha-Klinik Hamburg/Segeberg**

- Einbeziehung der Behinderten

## **gepl. Zusammenarbeit mit TU Berlin**

- Prüfung, Abnahme des Rollstuhls

## **gepl. Zusammenarbeit mit Uni Oldenburg**

- Navigationshilfe für Blinde

# Räumliches Wissen und Navigation



## Unterschiede

- Mensch und Tier — Roboter
- Sensorik, Verhaltensweisen, Kurz- und Langzeitgedächtnis, Erfahrung
- Psychologie, Biologie: Analyse der Mechanismen der Navigation
- kognitive Robotik, KI: Synthese robuster und effizienter Navigationstech.

## Ziel

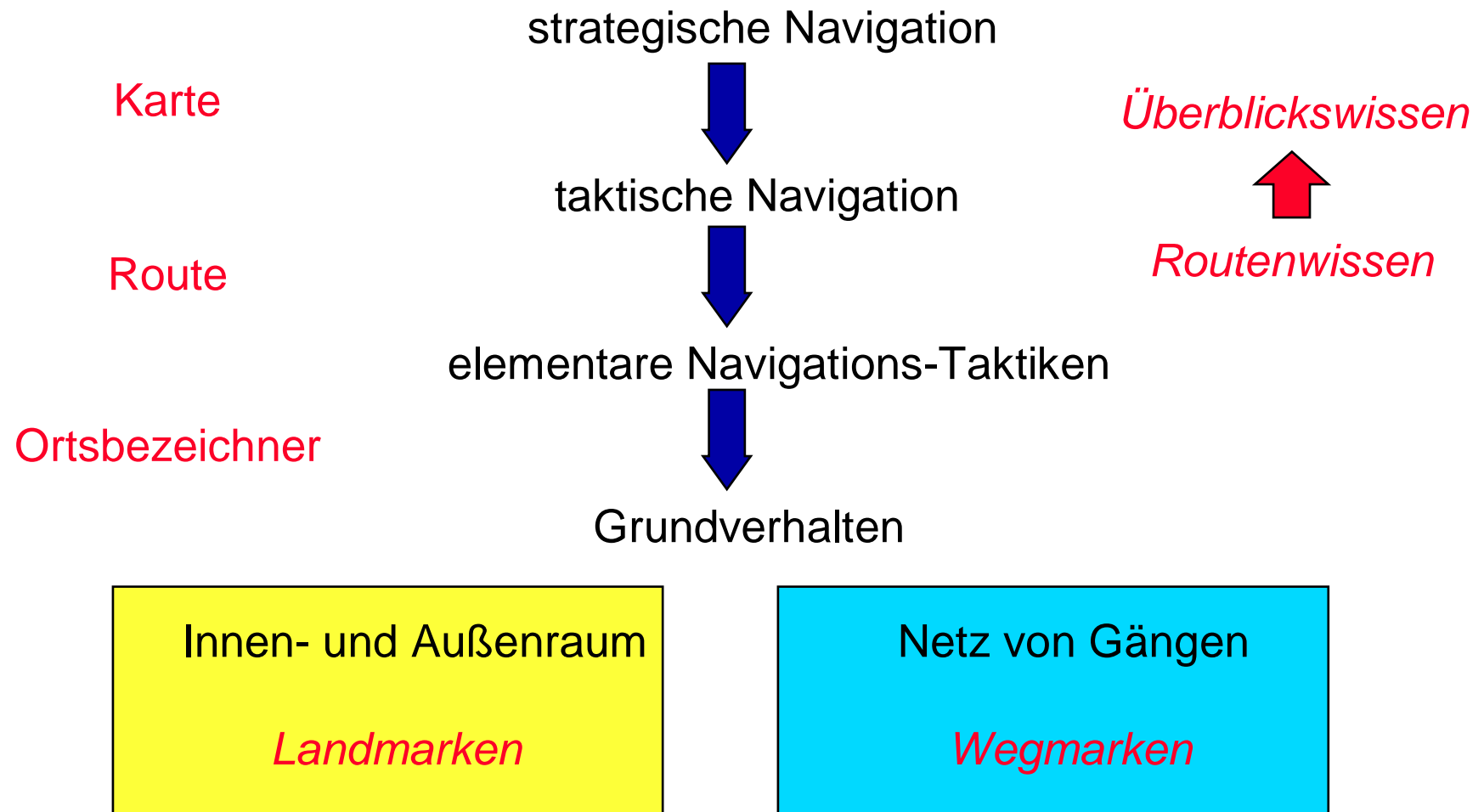
- Vereinheitlichung der Konzepte und Theorien, der Terminologie
- koordiniertes Herangehen an Fragestellungen von beiden Seiten

## Ergebnisse und weiteres Vorgehen

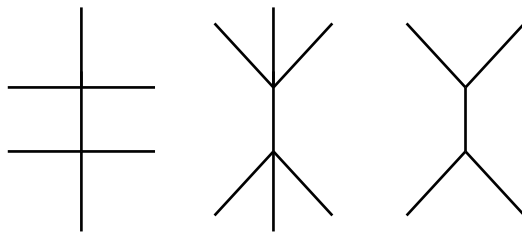
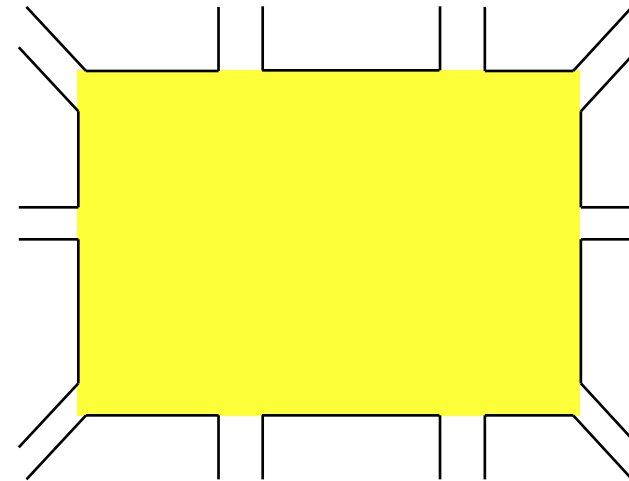
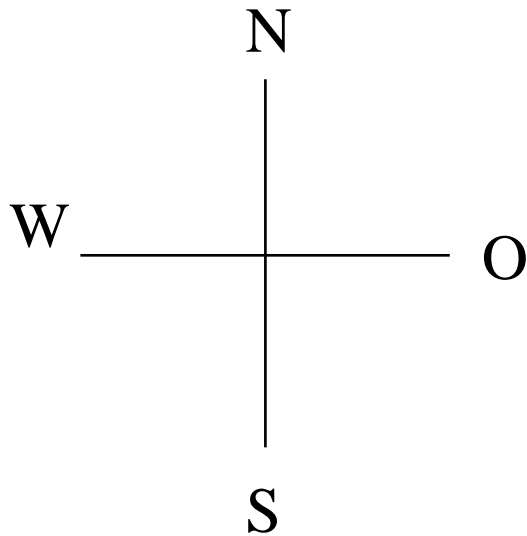
- gleiche Kernfragen in theoretischen und analytischen Ansätzen
- Vorgehensweisen sind komplementär
- Modellierung - Isolierung spezifischer Aspekte - Testen von Hypothesen
- Generierung von Fragestellungen für empirische Untersuchungen
- Beschränken der Theorien auf algorithmisch und biologisch plausible Modelle

# Eine Taxonomie

## Hierarchie elementarer und höherer Verhaltensweisen



# Navigation im Raum und in Gangsystemen



# Navigationstaktiken



## **Aufgabenorientierte Verhaltensweisen (*Beispiel: Biene*)**

- Auffinden der Futterregion (übermittelter Ziel-Vektor)
- Futtersuche (erlernte Route, Landmarken)
- Rückkehr zur Nestregion ("homing vector" aus Pfadintegration)
- systematischer Suchflug
- Anflug an das Nest (Wiedererkennen einer (Rundum-) "Sicht")

## **Ortsbezeichner zur Lokalisation und taktischer Entscheidung**

- "vor der Kirche links abbiegen" (Wegmarke, Abzweig)

## **Verkettung von spezialisierten Navigationstaktiken**

- am Ziel (z.B. Vektor-Position) Umschalten auf nächstes Verhalten
- Beispiel: Route durch Stadt mit verschiedenen Transportmedien

## **Überlagerung von Taktiken zur Erhöhung der Robustheit**

- Trennung zur Analyse und Modellierung
- Kombination in der Realität (Sonnenkompaß, Lichtpolar., Magnetfeld)



# Navigation im Raum

## Außenraum (*openspace*) und Innenraum (*enclosed space*)

- Beispiel: Ozean, Marktplatz, Arbeitszimmer
- Navigationstaktiken sind analog

## Vektornavigation

- bzgl. Kompaß-Richtung, Magnetfeld, etc.
- Pfadintegration (*dead reckoning*):  
akkumulierte Eigenbewegung  $\rightarrow$  *homing vector*

## Positionsnavigation (Triangulation)

- Landmarkenkonstellation (fix)
- Gestirnkonstellation (beweglich): z.B. Sonnenstand

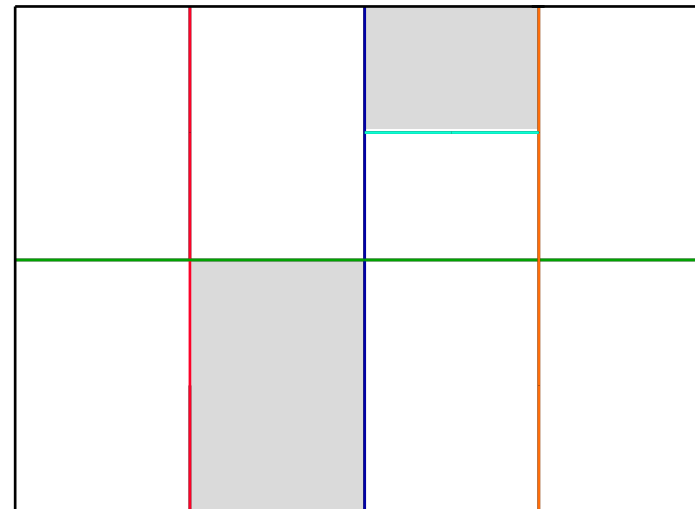
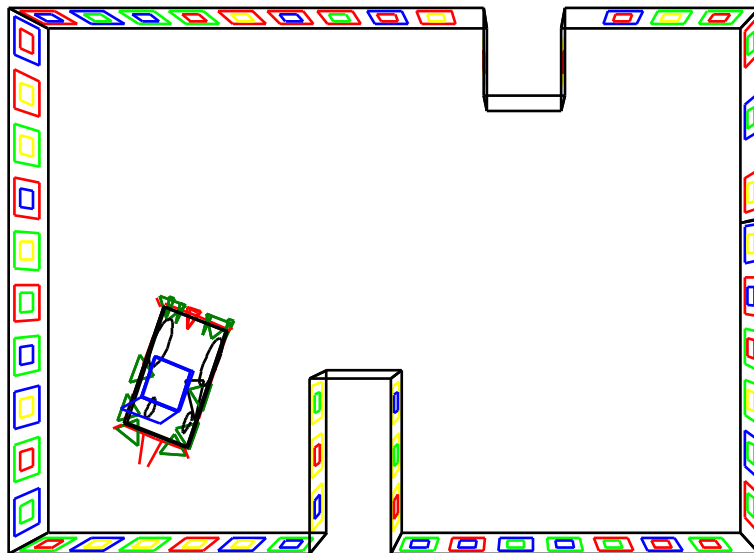
## Suche

- spiralförmige Suche, Mäandern, Umgebungssuche (*quarter search*)

# Navigation mit dem Parti-Game Algorithmus

## Aufteilung des Raums

- erreichbare Felder
- nicht-erreichbare Felder
- Verfeinerung wo nötig



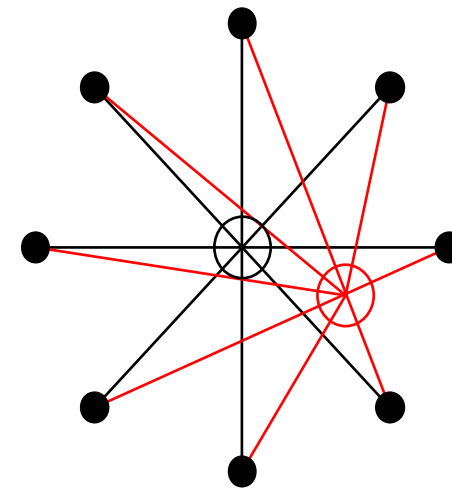
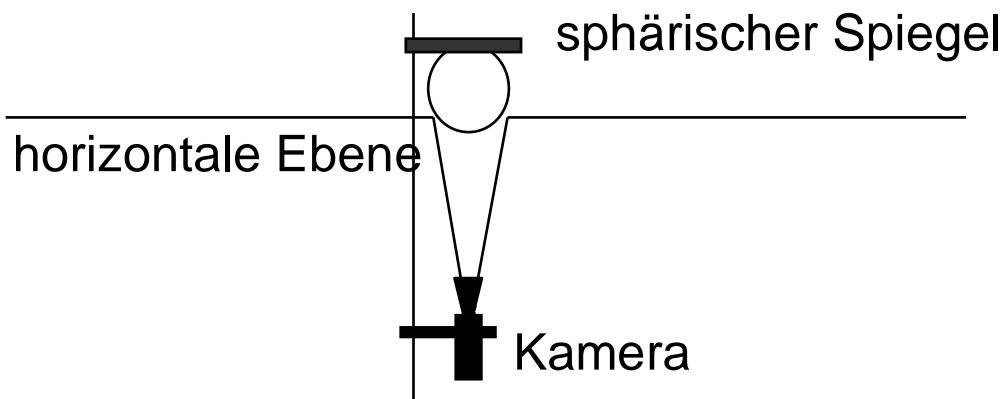
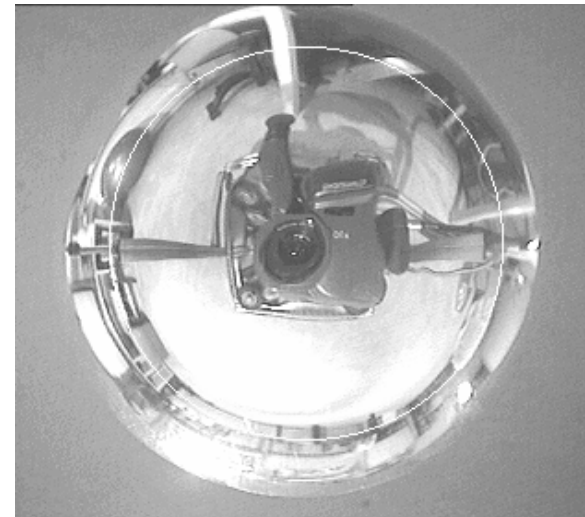
# Navigation nach Insektenvorbild

## Eingabe

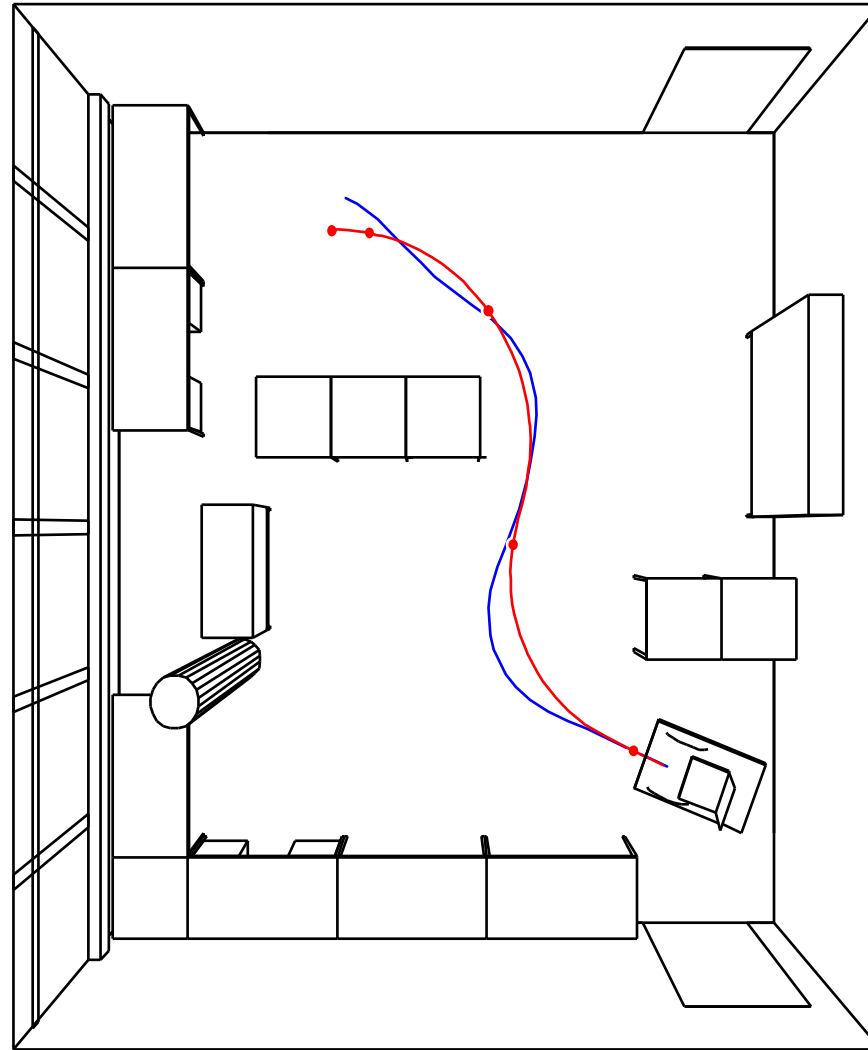
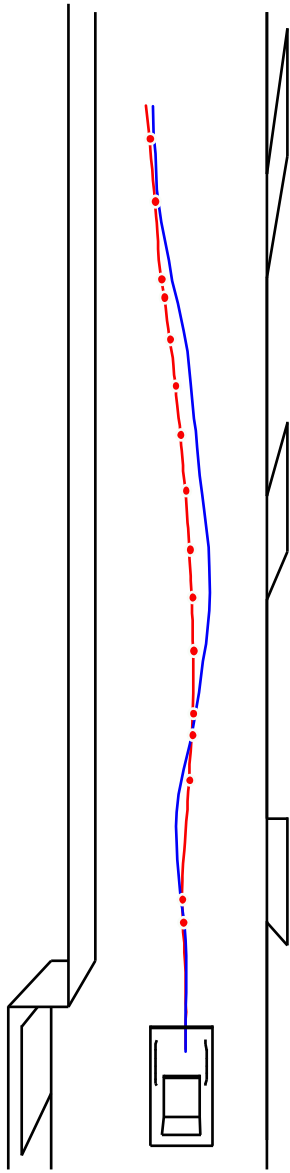
- Zwei eindimensionale 360°-Farbbilder

## Ausgabe

- Verdrehung gegenüber dem Ziel
- Richtung zum Ziel



# Ergebnisse



# Navigation in Netz von Gängen

## *network of passages*

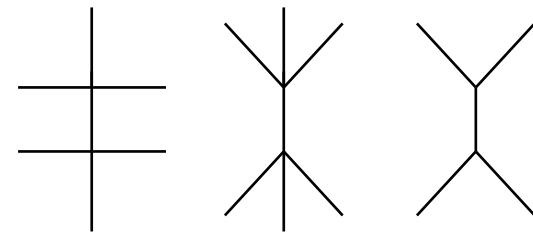
- (Durch-) Gänge, Tunnel, Korridore, Pfade, gebahnte Wege, Straßen

## **Basisverhalten**

- Gangzentriertes Laufen / Fahren (z.B. auf Straße)
- Wandverfolgung links / rechts
- Einbiegen links / rechts, in bezeichnete Abzweigung

## **Abzweigen (taktische Entscheidung)**

- links, rechts, geradeaus
- Abzweigung gekennzeichnet durch Ansicht bzw. Wegmarkenkonstellation



# Modellierung

## Ortsbezeichner

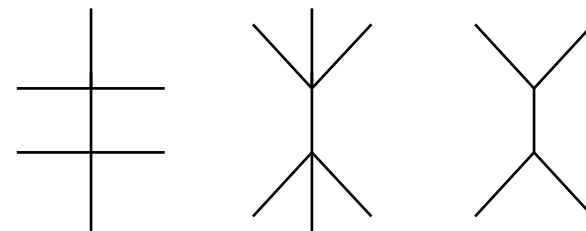
- Vektor (lokales, globales Referenzsystem; topologisch, metrisch)
- (Rundum-) "Sicht" als Landmarkenkonstellation
- linke Abzweigung, evtl. mit An-Sicht und anderen Wegmarken
- spezielle Abzweigung, evtl. bzgl. An-Sicht bzw. Wegmarkenkonstell.

## Route

- heterogen:  $\langle \text{Taktik, Ortsbezeichner} \rangle$
- homogen:  $\langle \text{Ortsbezeichner} \rangle$  mit fester Taktik

## Ortsabstraktion

- aus derselben Richtung (*source aliasing*)
- in dieselbe Richtung (*target aliasing*)

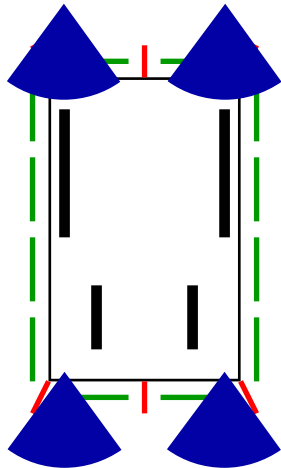


**Karte** (  $\{ \text{Taktikabstraktion} \}, \{ \text{Ortsabstraktion} \} )$  (gerichteter) Graph

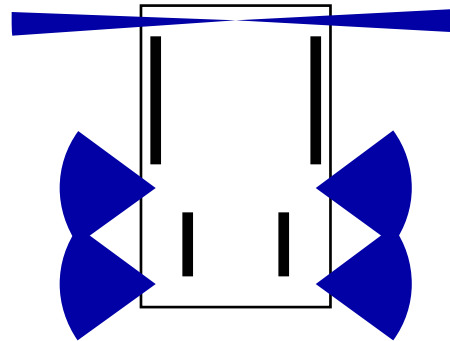
- Perspektive: *field perspective* — *observer perspective*
- Referenzsystem: lokale Karte (*local chart*) — globale Karte (*map*)

# Aufgaben der Sensorik

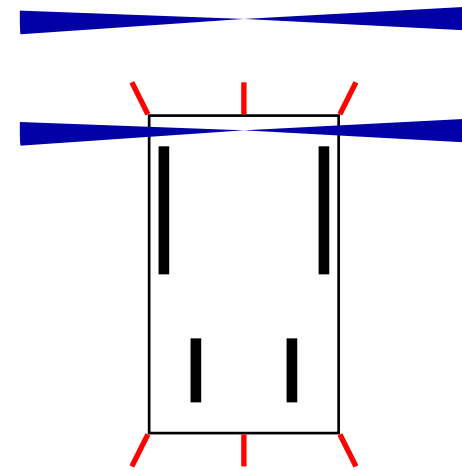
## Kollisions- detektion



## Lenkungs- dämpfung



## Navigation



| taktile Sensoren



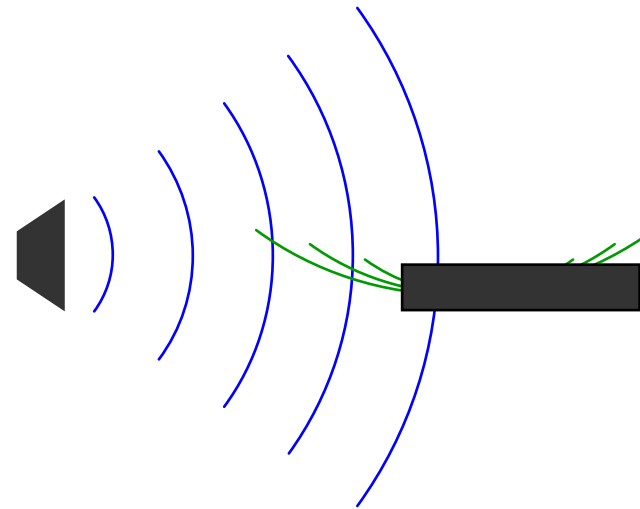
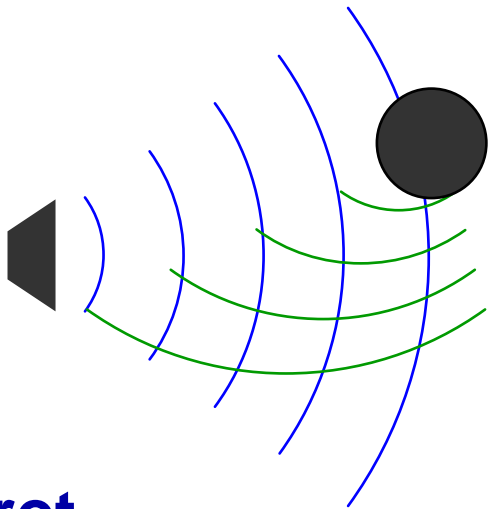
Ultraschall-  
sensoren

| Infrarot-  
sensoren

# Sensorikschwächen

## Ultraschall

- schräge, glatte Flächen
- weiche Oberflächen



## Infrarot

- dunkle, schlecht reflektierende Flächen
- spiegelnde Flächen werden zu früh erkannt



# Lokale Rasterkarte

## Eigenschaften:

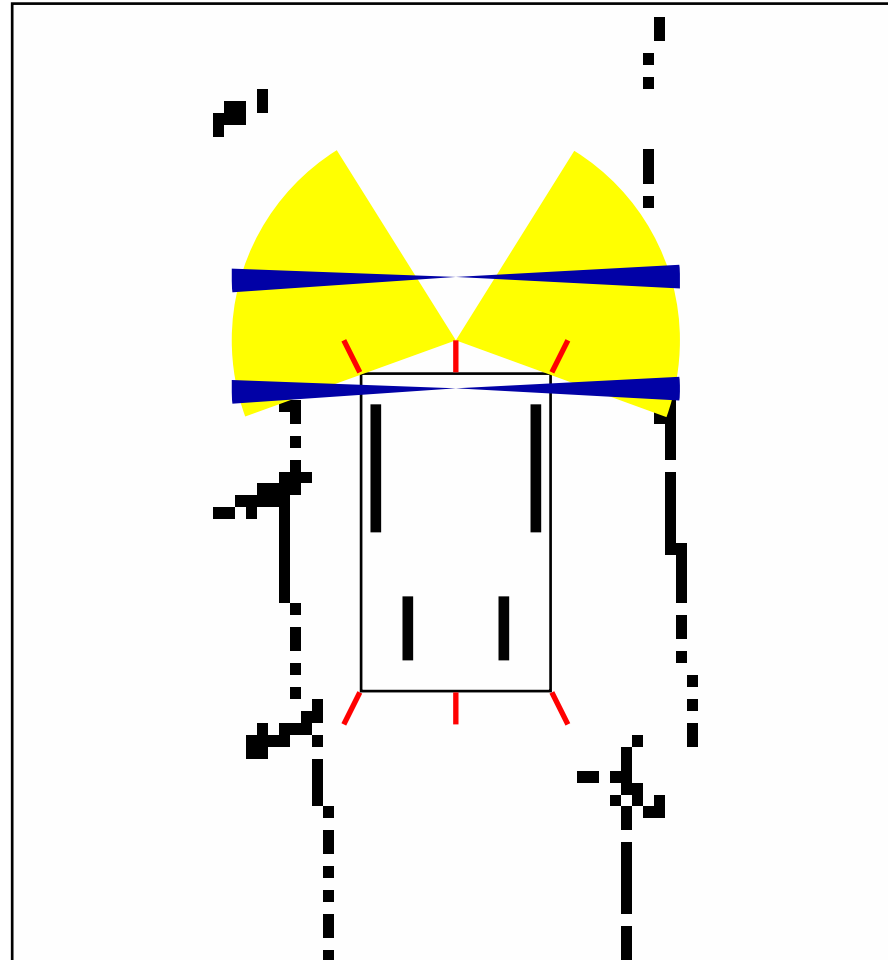
- “Kurzzeitgedächtnis”
- Speichert die lokale Umgebung des Rollstuhls
- Vergessen nach 30 Sekunden

## Eingabe:

- ▶ • 4 schmale Ultraschallsensoren
- • 6 Infrarotsensoren

## Ausgabe:

- ▶ • Zwei “virtuelle Sensoren”



# Grundverhalten

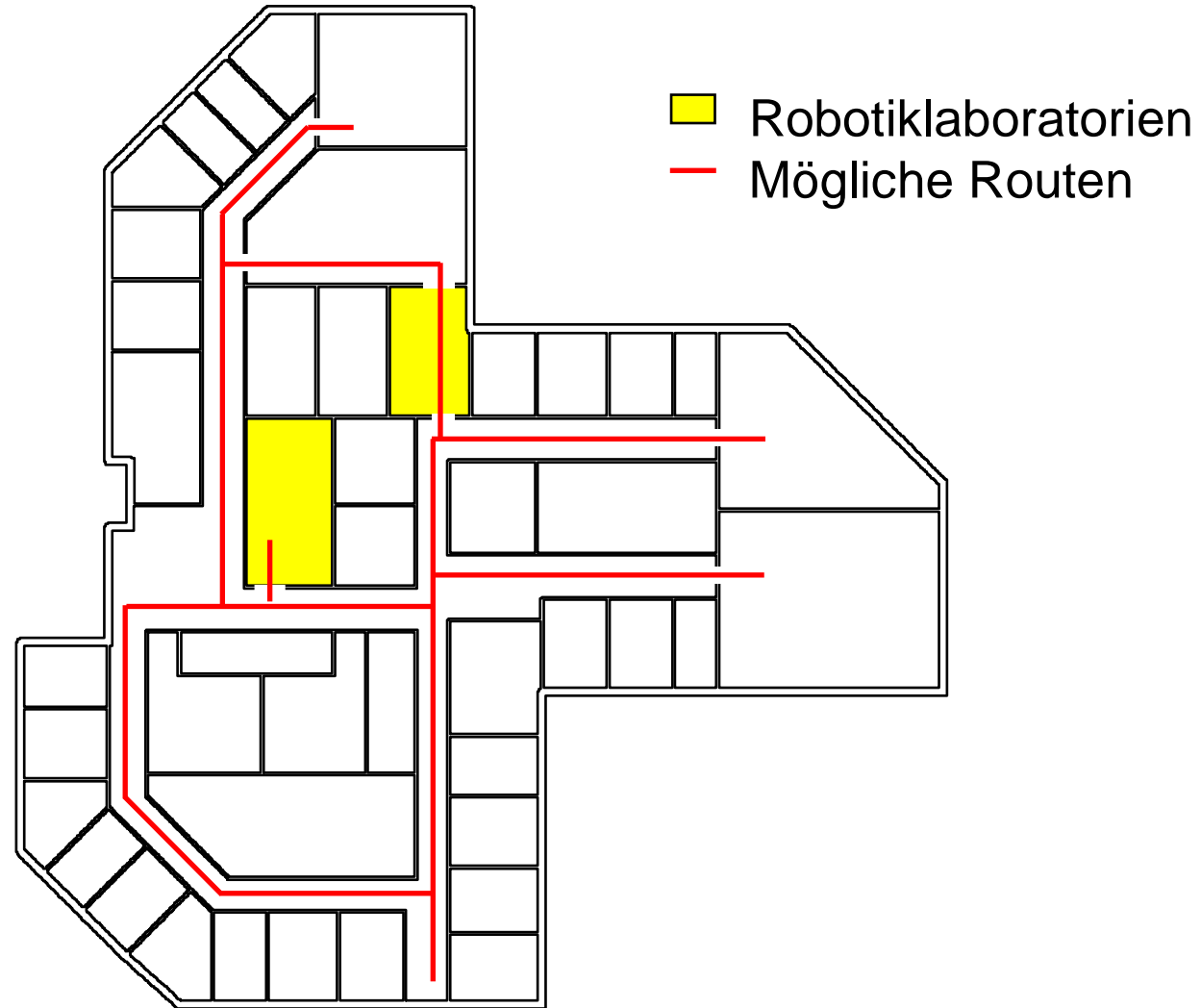
## Verhalten:

- Gangzentriertes Fahren
- Wandverfolgung links/rechts
  - Gangzentriertes Fahren, wobei die Meßwerte des von der Wand abgewandten virtuellen Sensors künstlich begrenzt werden ("virtueller Gang")*
- Türeinbiegen links/rechts
- Stop

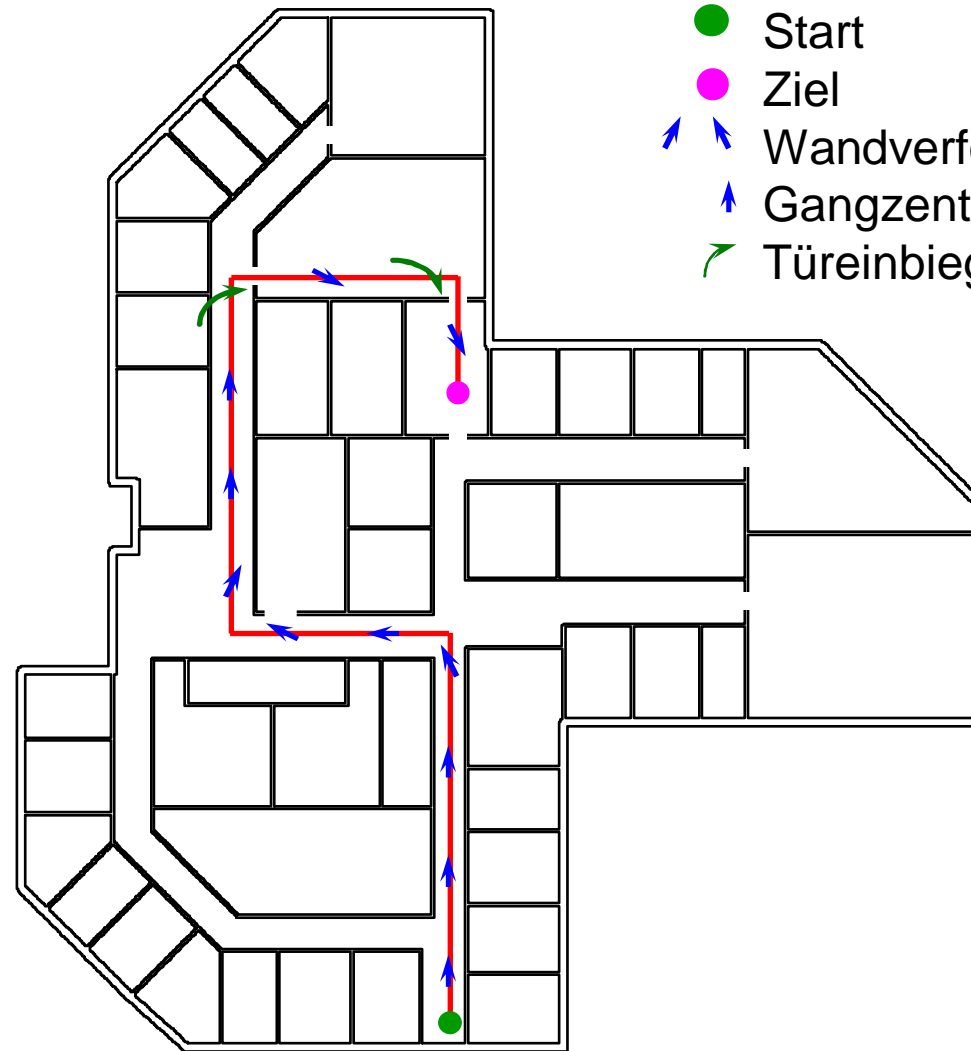
## Arbeitsweise:

- Differenz zwischen den Meßwerten der virtuellen Sensoren zur Lenkung nutzen
- Verhalten bei Vorwärtsfahrt ausführen
- Wenn eine Kollision auftritt, wird das Verhalten 50 cm lang rückwärts ausgeführt und dann wieder vorwärts fortgefahren

# Experimentalmgebung



# Beispielroute



- Start
- Ziel
- ↖ ↗ Wandverfolgung rechts/links
- ↖ Gangzentriertes Fahren
- ↗ Türeinbiegen rechts

# Landmarkenerkennung

## Ziel:

- Natürliche 3D-Landmarken

## Vorerst:

- Vordefinierte Landmarken

## Erkennung von:

- Typ
- Richtung, Entfernung, Rotation

## Zweck:

- Umschalten von Grundverhalten
- Assoziation von Sensorzuständen
- Wiedererkennen von Routen zur Generierung von Überblickswissen

