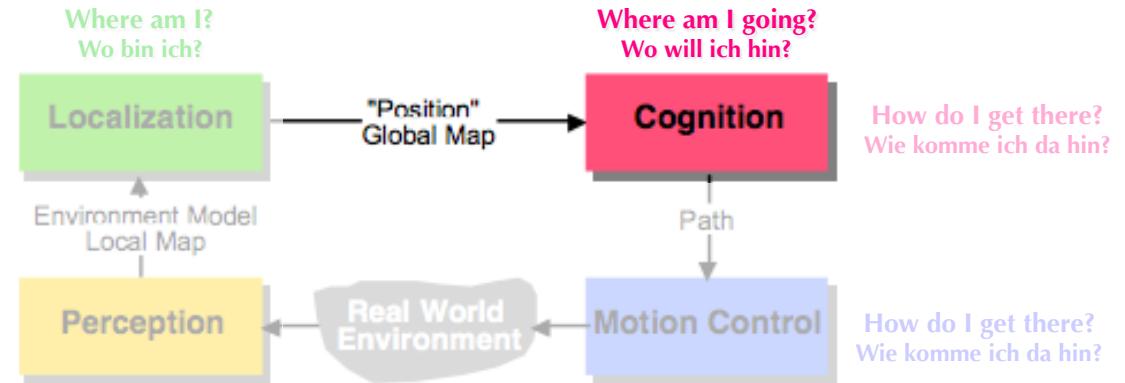


7.5 Explorationsplanung

- Mobile Roboter sind mobil, weil sie mobil sein sollen
- Zielpositionen/posen ergeben sich meist aus Nutzeraufträgen oder werden explizit vorgegeben
 - Hol mir mal 'n Bier!
 - Inspiziere den Kanal von Schacht 317 bis 326!
- Ausnahme: **Exploration**
 - SLAM ist Teil davon, muss dann aber **SPLAM** sein
*(„**Simultaneous Planning, Localization and Mapping**“)*



Verwandte aus Algorithmischer Geometrie I

Art Gallery Problem

Satz

Für Polygon mit P
Ecken ex. Lösung
für $N=[P/3]$

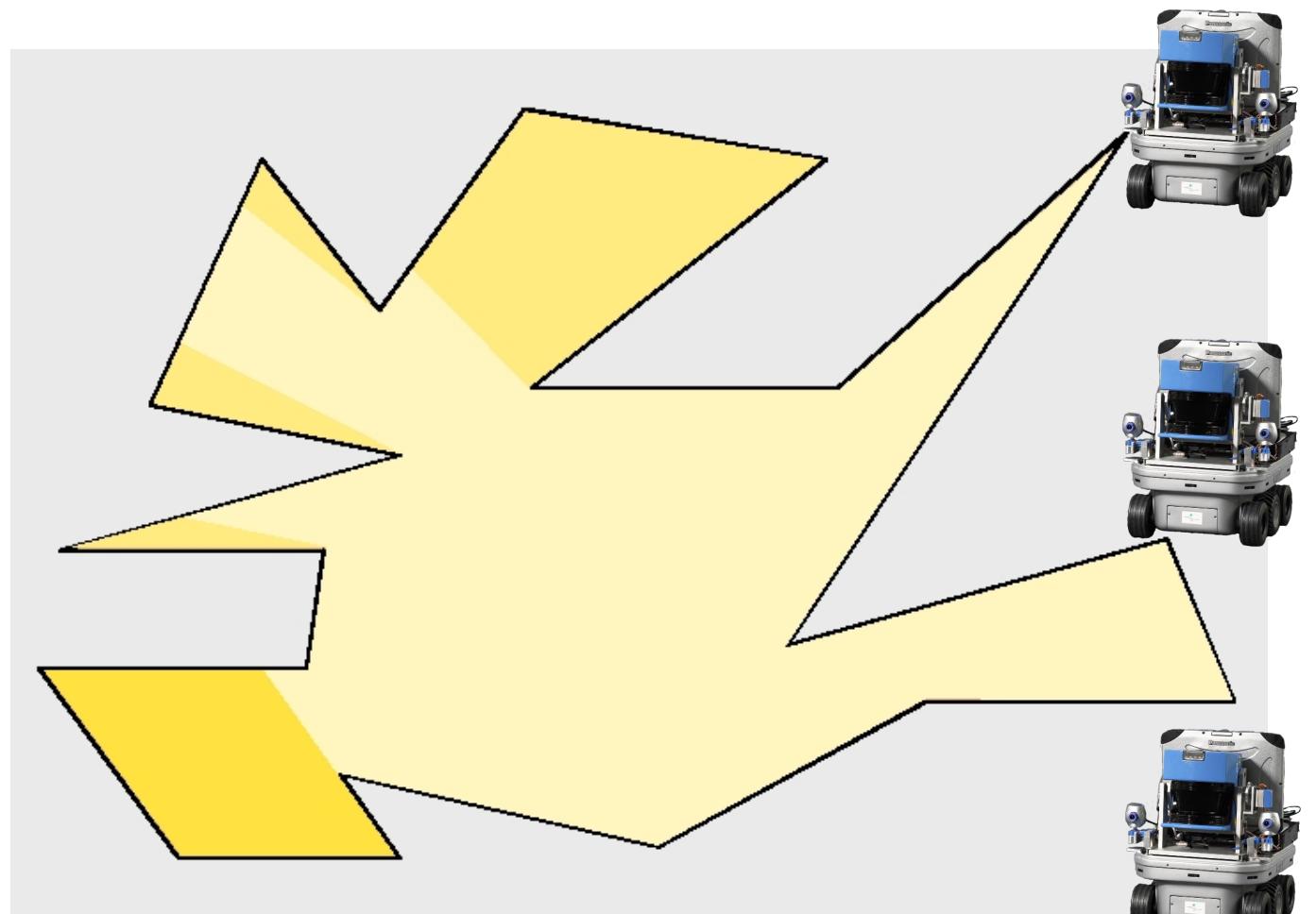
Kann man
Lösungen bzw.
gute Lösungen
einfach finden?

Satz

Das Art Gallery
Problem ist
NP-hart

Aber wir wollen
nur 1 Roboter!

Wie posteiere N Wachmänner, sodass sie alle Punkte der Innenfläche eines Polygons ohne Löcher sehen können?



Verwandte aus Algorithmischer Geometrie II

Watchman Problem

Was ist ein (minimaler) Weg für einen Wachmann, von dem aus er die Innenfläche des Polygons komplett sieht?

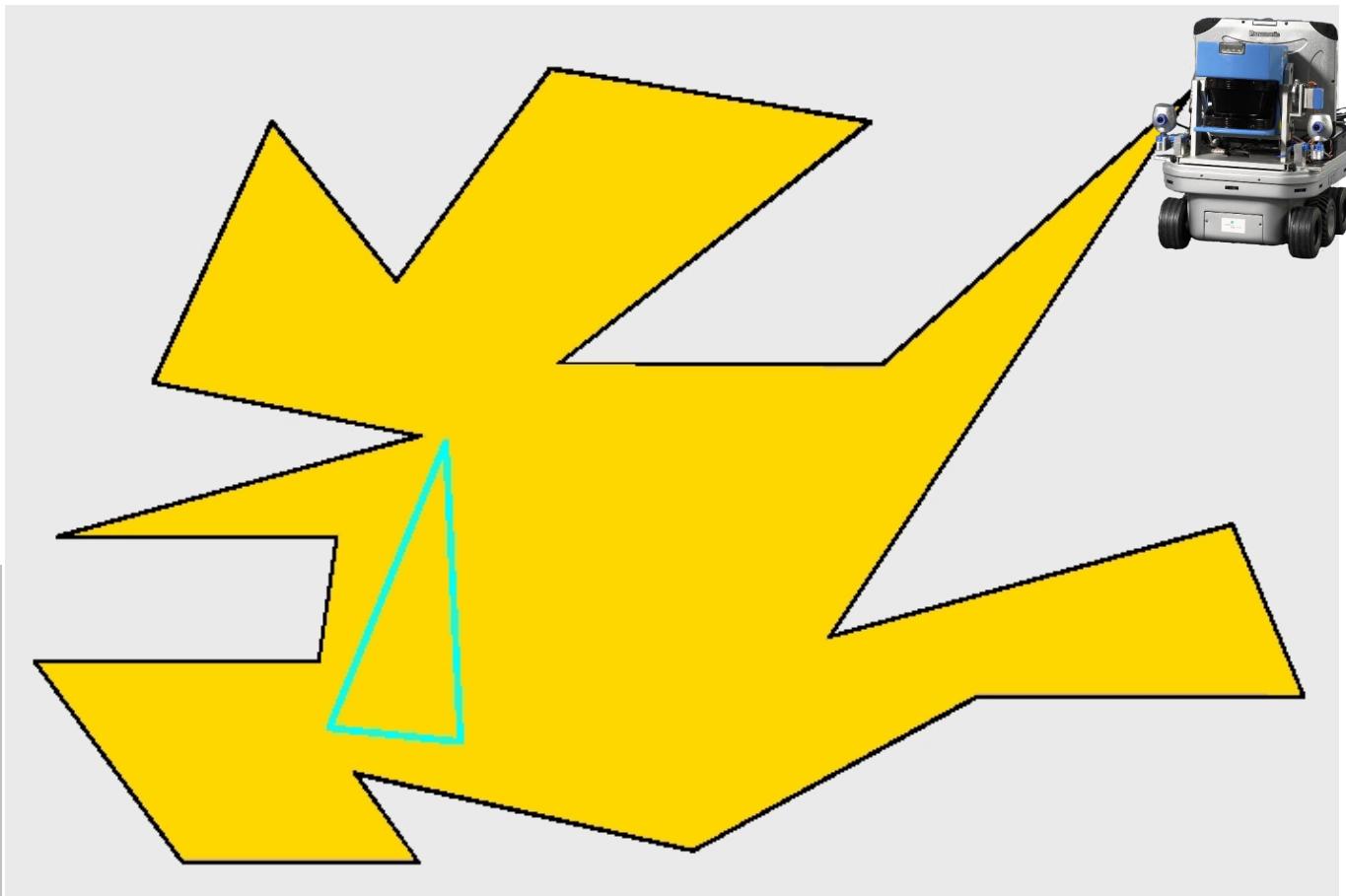
Satz

Das Watchman

Problem ist
NP-hart

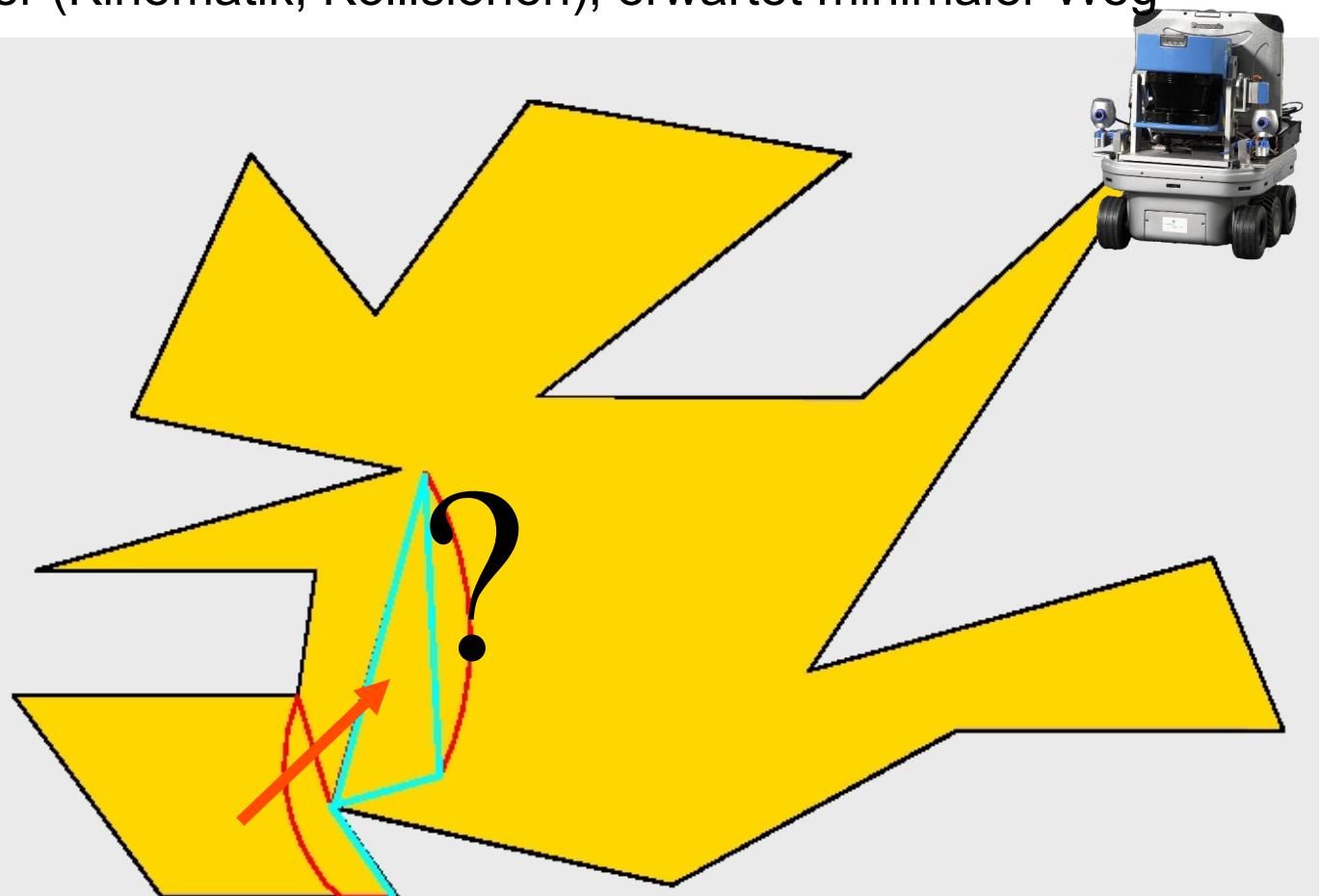
(weil das Art Gallery
Problem
NP-hart ist)

Aber wir
beobachten nur in
statischen Posen!
...und wir kennen
die Karte nicht!



Das Problem der optimalen Exploration

Was ist abhängig von Start-Information und tatsächlicher Umgebungsgeometrie ein fahrbarer (Kinematik, Kollisionen), erwartet minimaler Weg zwischen Scanposen, an dessen Ende die Umgebung vollständig kartiert ist?



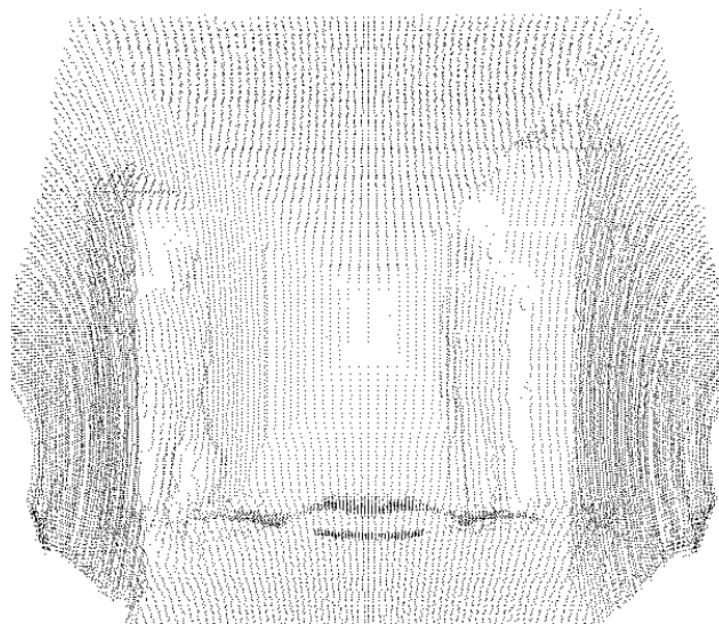
Lösung derzeit unbekannt!

3D-SPLAM (1/5)

Ausgangsmaterial

3D-Scan/s

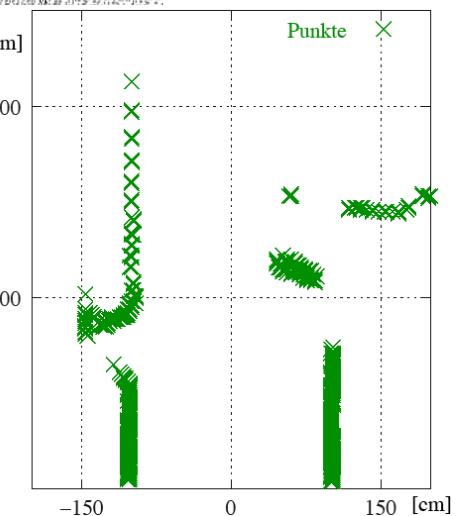
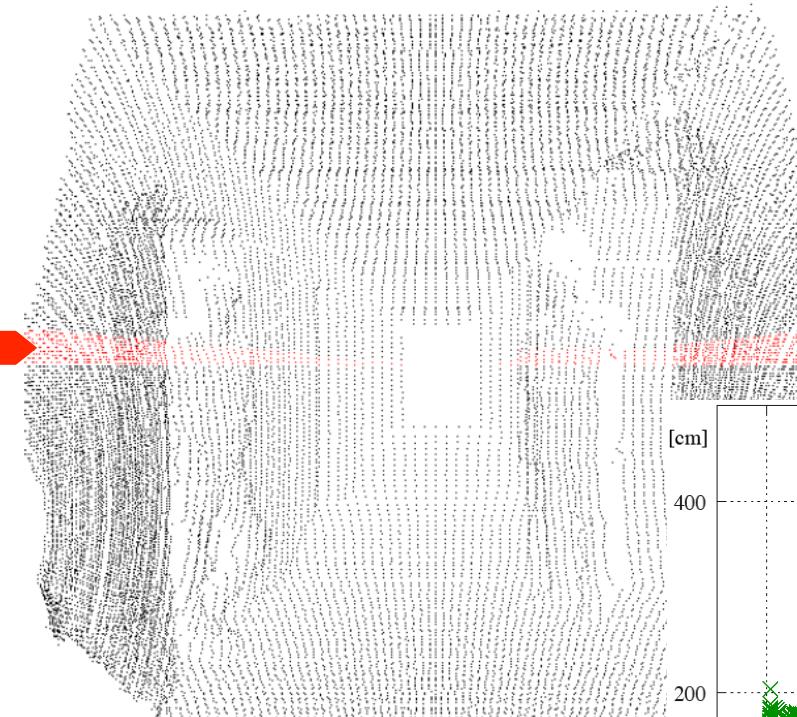
Beispiel: Flurszene,

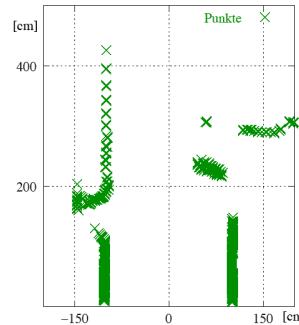


2D-Rissebene extrahieren

Reduktion auf 2D

Beispiel: alle Punkte mit $y=150\pm2\text{cm}$





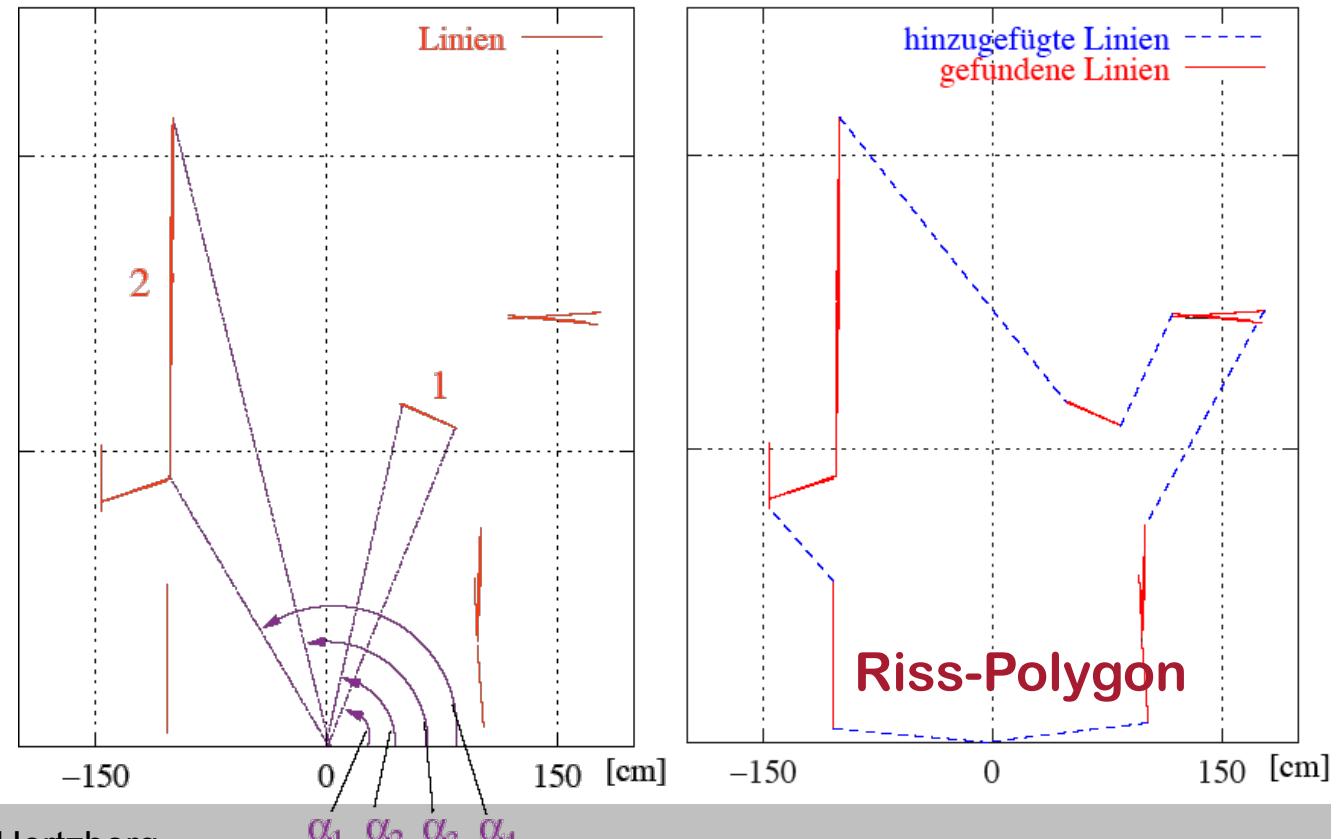
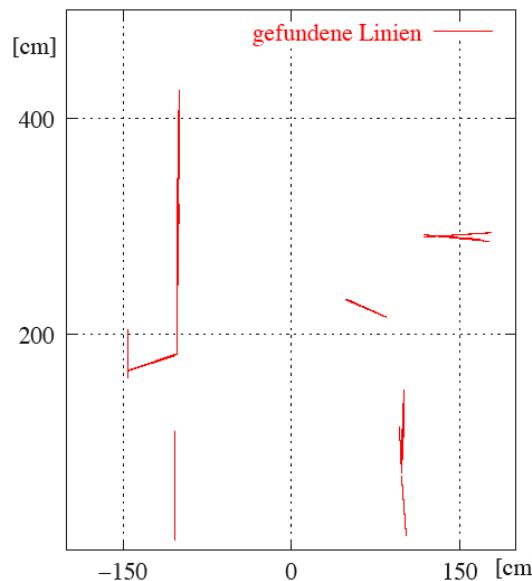
3D-SPLAM (2/5)

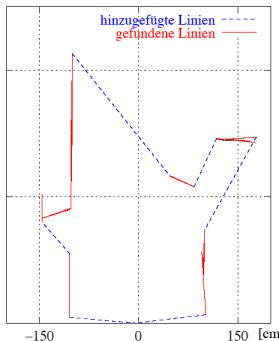
Ordne und vervollständige Linien

Polare Winkel α_i der Linien-Randpunkte induzieren eindeutige Ordnung. Verbinde benachbarte Scanlinien durch hinzugefügte künstliche \rightarrow **Riss-Polygon**

Punkte zu Linien

s. Kap. 3.1





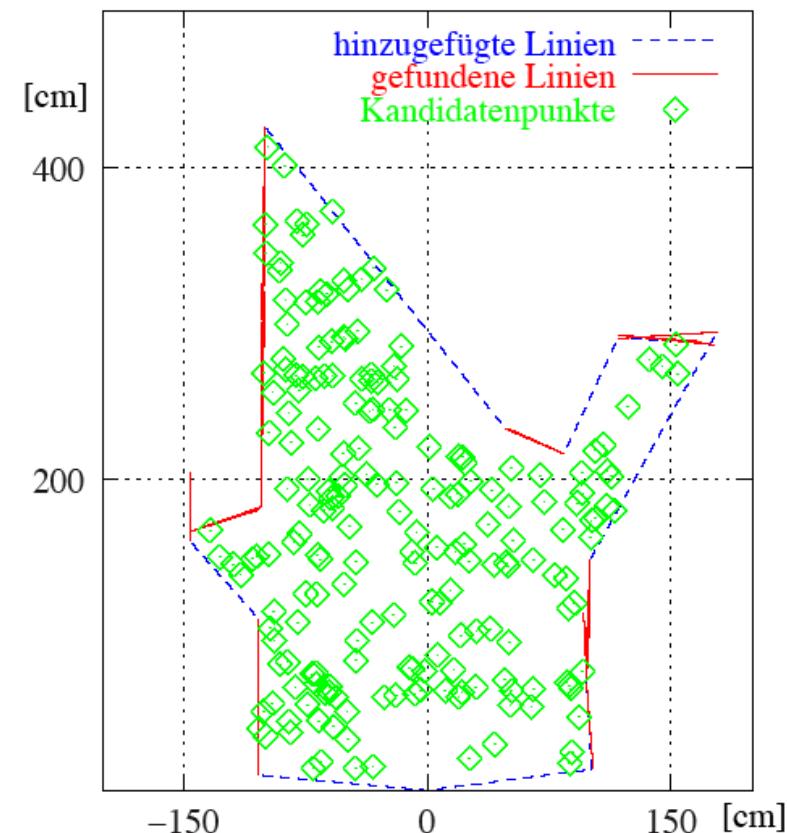
3D-SPLAM (3/5)

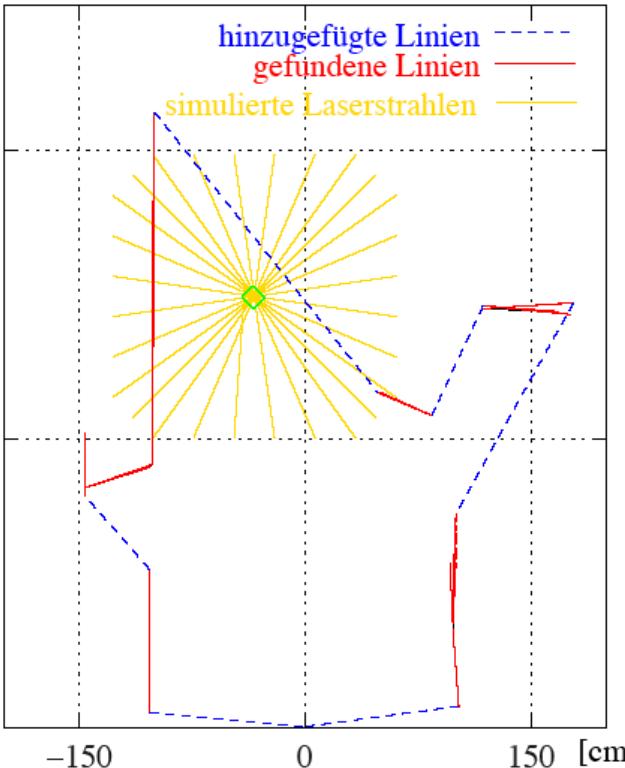
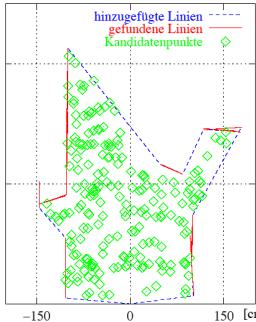
Ziehe Scanpositions-Kandidaten

Gleichverteiltes *Random Sampling* im Riss-Polygon, feste Zahl von Testpositionen

Das Riss-Polygon ...

- ... umgrenzt das bislang kartierte Gebiet
- ... grenzt mit künstlichen Linien an bislang unbekanntes Gebiet
- ... ist nicht notwendig frei von „Löchern“!





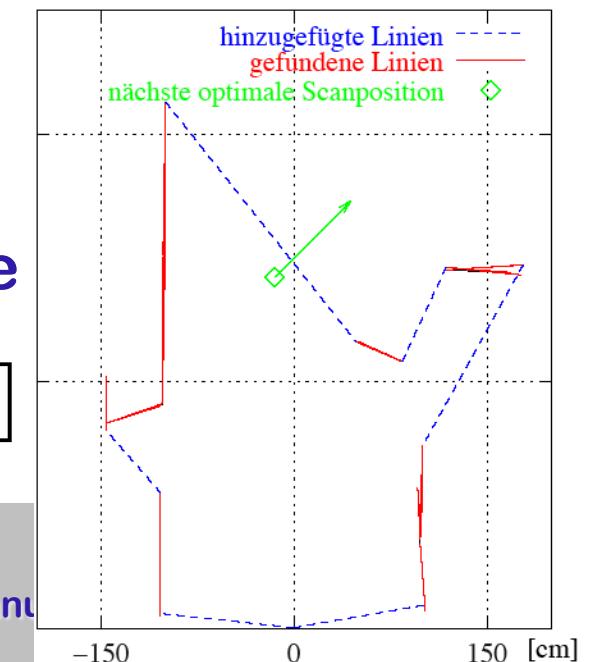
3D-SPLAM (4/5)

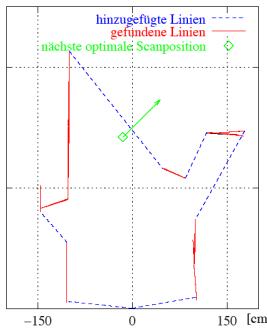
Bewerte Scanpose-Kandidaten \mathbf{x}

- $IG(\mathbf{x})$: (*information gain*) Anzahl virtueller Laserscanstrahlen, die irgendwelche künstlichen Linien schneiden (je mehr, desto besser!)
- $\|\mathbf{x}_{\text{Start}} - \mathbf{x}\|$: Abstand von \mathbf{x} von der aktuellen Roboterposition $\mathbf{x}_{\text{Start}}$ (je kleiner, desto besser!)
- $\|\theta_{\text{Start}} - \theta(\mathbf{x})\|$: Winkelunterschied der aktuellen Roboterorientierung θ_{Start} und der Orientierung $\theta(\mathbf{x})$ der Pose \mathbf{x} (je kleiner, desto besser!)

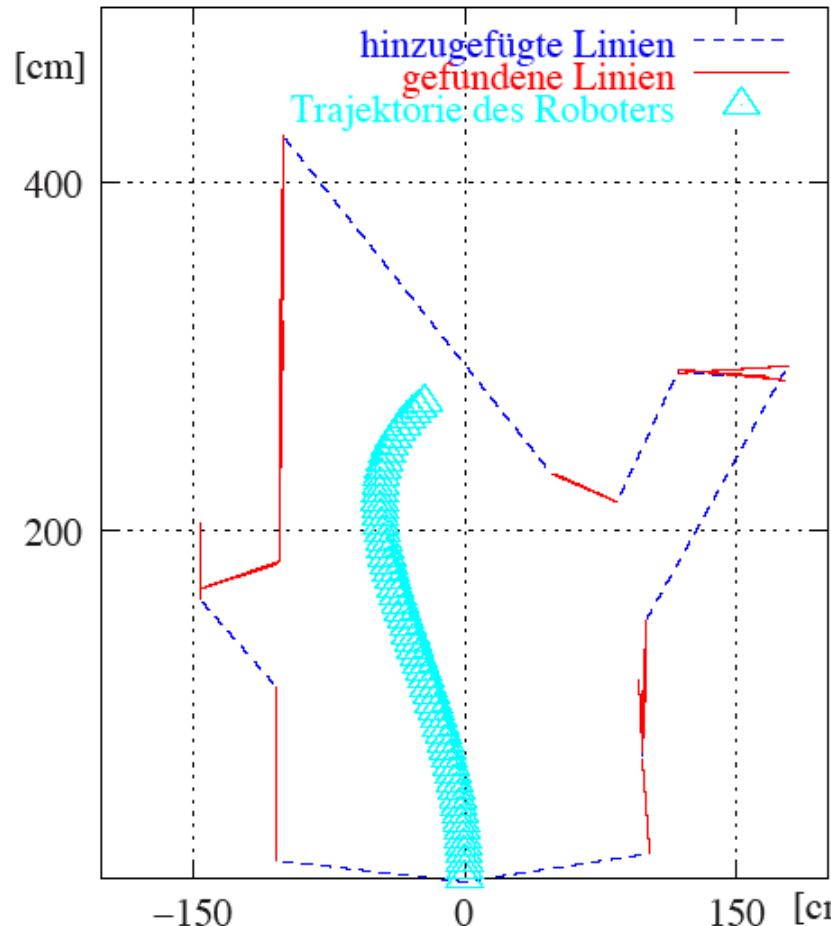
Optimale Scanpose

$$\text{z.B. } \mathbf{x}_{\text{Ziel}} = \underset{\mathbf{x}}{\operatorname{argmax}} \left[w_1 IG(\mathbf{x}) + w_2 \|\mathbf{x}_{\text{Start}} - \mathbf{x}\| + w_3 \|\theta_{\text{Start}} - \theta(\mathbf{x})\| \right]$$





3D-SPLAM (5/5)

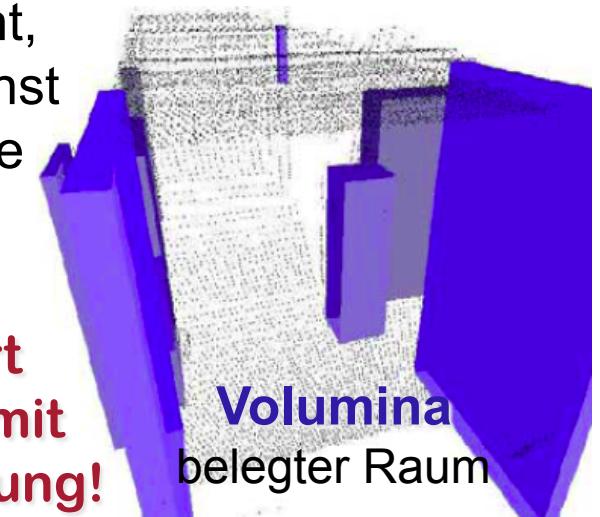


**Physische Fahrt
natürlich immer mit
Hindernisvermeidung!**

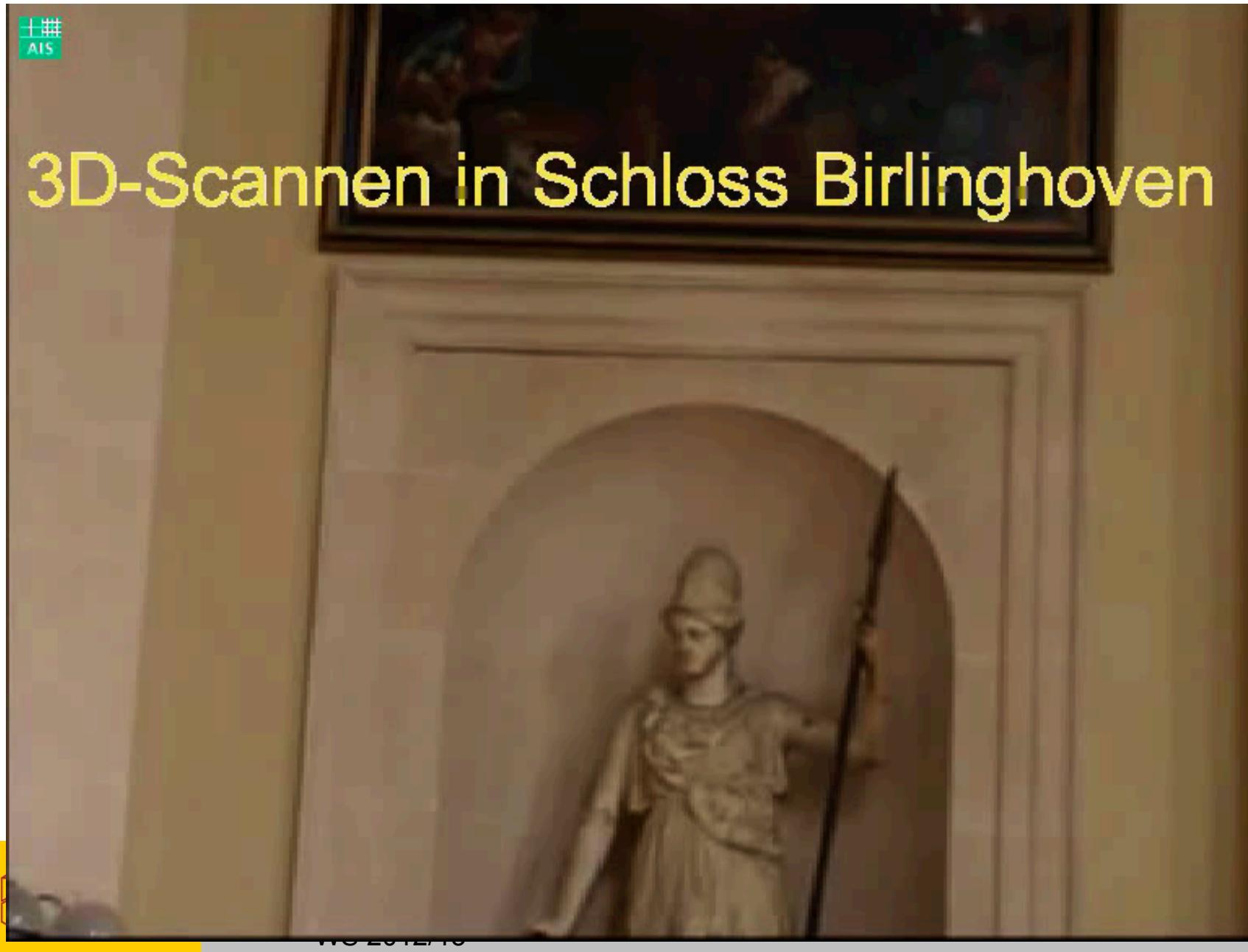
7. Navigation
7.5 Explorationsplanung

Plane Pfad/berechne Trajektorie

- Entweder mit geschlossener Steuerung (hier nicht besprochen)
- oder mit dem „unstetigen“ Ansatz:
 - Dreh zum Zielpunkt;
 - fahre geradeaus dahin;
 - dreh Dich in Ziel-Orientierung
- Beide ggf. mit Zwischenzielpunkten!
- Anschließend Prüfung im 3D-Modell, ob Trajektorie frei!
 - Wenn nicht, nimm nächst beste Pose



Alles integriert: SPLAM im Schloss



Weitere Gründe, Zielpunkte aufzusuchen

- Selbstorganisation
 - z.B. „Fahre Ladestelle an!“
- Disambiguierung der Pose
 - z.B. wenn die Entropie bei der probabilistischen Lokalisierung zu hoch sind („Fahre Orientierungspunkt an!“), s. Folie 267 (Entropie)
 - oder geplant als gut identifizierbare Zwischenzielpunkte, um die Pose gar nicht erst zu verlieren („coastal navigation“)
- „Durchgangsposen“
 - z.B. Türdurchfahrt: fahre durch Pose auf der Türnormalen, um Türöffnung nicht schräg „anzuschneiden“ (Kollisionsvermeidung)
- Posen zur Manipulation individueller Objekte
 - z.B. Tisch abräumen: fahre an Pose, von der aus Du das benutzte Geschirr/möglichst viel davon erreichen kannst
- ...

Fazit Explorationsplanung

- Ziel- oder Zwischenzielposen „fallen nicht vom Himmel“
- Sie ergeben sich unmittelbar aus Nutzeraufträgen oder aus Selbststeuerung oder aus dem Erfordernis nach robusten Trajektorien
- Optimale Poseplanung ist im Allgemeinen zu komplex – ist in der Regel aber unnötig: Approximation reicht
- Sind Posen nicht oder nicht preiswert anfahrbar, muss die Steuerung sie als (Zwischen-)Ziele aufgeben können
→ Planausführung

Kapitel 8 Umgebungsdateninterpretation

1. Zum Einstieg: Worum geht es?
2. Sensorik
3. Sensordatenverarbeitung
4. Fortbewegung
5. Lokalisierung in Karten
6. Kartierung
7. Navigation
- 8. Umgebungsdateninterpretation**
9. Roboterkontrollarchitekturen
10. Ausblick

8.1 Wozu „Semantik“?

8.2 Verankerung

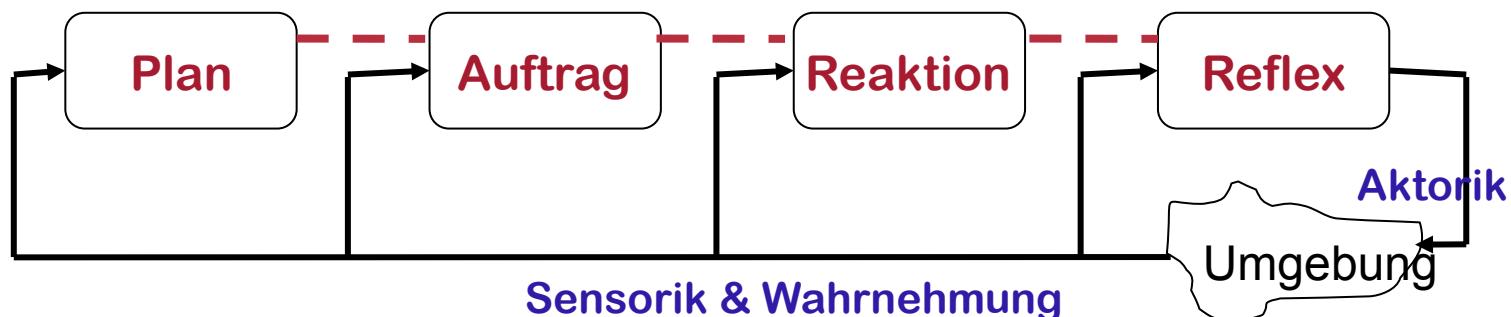
8.3 Semantische Kartierung

8.1 Wozu „Semantik“?



Wir bewegen uns hier zum Rand der Forschung!

Erinnerung Folie 337



- Bislang kennen wir nur Navigation („Fahre (von A) nach B“)
- Roboter sollen allgemein handeln können („Hole Kaffee!“)
- Die KI hat dafür **Handlungsplanung** entwickelt

Handlungsplanung: Samstageinkauf Beispiel

Aufgaben

- Lebensmittel im Supermarkt kaufen
- Hackfleisch beim Fleischer kaufen
- 1 Espresso beim Italiener trinken
- Altglas zum Container bringen

Planung betrifft
allgemeine Handlungen;
Navigation gehört dazu

Nebenbedingungen

- Supermarkt nach Glascontainer!
- Beim Fleischer vor 12!
- Hackfleisch zuletzt!
- Italiener nach Supermarkt!

Nebenbedingungen
(semantisch motiviert!)
erzeugen Reihenfolge-
und Zeitrestriktionen!

Handlungsplanung ist ein klassisches KI-Thema!

Handlungsplanung: Basisdefinitionen

Ein **Plan** ist eine Struktur, die Repräsentationen von Handlungen und Zielen enthält und dazu dient, über die Wirkung zukünftiger Handlungen zu räsonieren und die zielgerichtete Ausführung von Handlungen zu beeinflussen.

Planen/Planung: Erzeuge Pläne algorithmisch

s. KI/WBS-Vorlesung

Propositionales Planen

Gegeben Problemrepräsentation:

- Startsituation („viele Fakten“)
- Zielbedingungen („wenige Fakten“)
- Operatorschemata
 - Vorbedingungen („wenige Fakten“)
 - Nachbedingungen („wenige Fakten“)

Finde Lösungsplan:

Partiell geordnete Menge von Operatorinstanzen, wohlgeformt und konfliktfrei

Handlungsplanungsalgorithmen

- **Grundidee:** Für „offene“ Bedingungen (anfangs: Ziele; dann rekursiv: Vorbedingungen) finde Operatoren, deren Vorbedingungen erfüllt sind, etc.
- **moderne Algorithmen:** Analysiere Struktur der Abhängigkeiten (Vor/Nachbedingungen) der Operatoren
- **Komplexität:** NP-hart! (In anderen Varianten: unentscheidbar)
- **Praktikabilität:** Höchst erfolgreich eingesetzt z.B. für Logistik-Probleme
- **Einsatz für Roboter:** **Planbasierte Robotersteuerung** (*robot planning*)
- **Historie:** Eines der ersten Planungssysteme (STRIPS) wurde für den Roboter SHAKY entworfen!
- **Voraussetzung:** **Umgebungswahrnehmung in Terminen von Objekten und Relationen** („Mein Becher steht auf dem Tisch“)