

# Einführung in die Robotik

**Jianwei Zhang**  
zhang@informatik.uni-hamburg.de

**T | A**  
**M | S**  
Universität Hamburg  
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften  
Department Informatik  
Technische Aspekte Multimodaler Systeme

06. Juli 2010

## Gliederung

- Allgemeine Informationen
- Einführung
- Koordinaten eines Manipulators
- Kinematik-Gleichungen
- Kinematik-Gleichungen
- Inverse Kinematik von Manipulatoren
- Differentielle Bewegungen mit homogenen Transformationen
- Jacobi-Matrix eines Manipulators
- Aufgabenbeschreibung
- Robotergrammierung auf drei Ebenen
- Trajektoriegenerierung
- Trajektoriegenerierung
- Einführung in RCCL

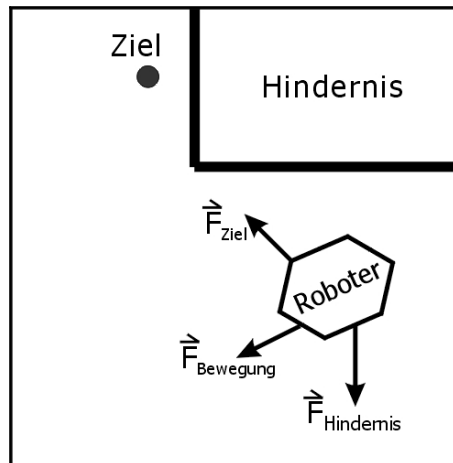
## Gliederung (cont.)

- Dynamik
- Roboterregelung
- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
- Potentialfeldmethode
- Probabilistische Ansätze
- Anwendungsgebiete
- Erweiterungen des Basisproblems
- Architekturen sensorbasierter intelligenter Systeme
- Aus- und Rückblick

## Potentialfeldmethode: Grundideen

Potentialfeldmethode wurde ursprünglich für echtzeit Kollisionsvermeidung entwickelt.  
Ein Potentialfeld ist eine Skalar-Funktion über den Freiraum.  
Ein ideales Field als Navigationsfunktion soll glatt sein, und nur ein globales minimum am Ziel haben, und unendlich in der Nähe eines Hindernisses werden.  
Die auf den Roboter geübte Kraft ist der verneinte Gradient des Potentiellen Fieldes.  
Der Roboter bewegt sich immer entlang dieser Kraft.  
Eine Funktion über den Freiraum wird definiert, welche ein globales Minimum an der Zielkonfiguration hat. Die Bewegung soll entlang der steilsten Abstiegsrichtung bestimmt werden.

## Potentialfeldmethode: Grundideen



## Potentialfeldmethode: Grundideen

Die anziehende Kraft:

$$\vec{F}_{Ziel}(\mathbf{x}) = -\kappa_{\rho}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_{Ziel})$$

Das Potentialfeld:

$$U(\mathbf{x}) = \begin{cases} \frac{1}{2}\eta\left(\frac{1}{\rho(\mathbf{x})} - \frac{1}{\rho_0}\right)^2 & \text{wenn } \rho(\mathbf{x}) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die abstoßende Kraft:

$$\vec{F}_{Hindernis}(\mathbf{x}) = \begin{cases} \eta\left(\frac{1}{\rho(\mathbf{x})} - \frac{1}{\rho_0}\right) \frac{1}{\rho(\mathbf{x})^2} \frac{d\rho(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} & \text{wenn } \rho(\mathbf{x}) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{wenn } \rho(\mathbf{x}) > \rho_0 \end{cases}$$

(Khatib 86)

## Potentialfeldmethode: Vor- und Nachteile

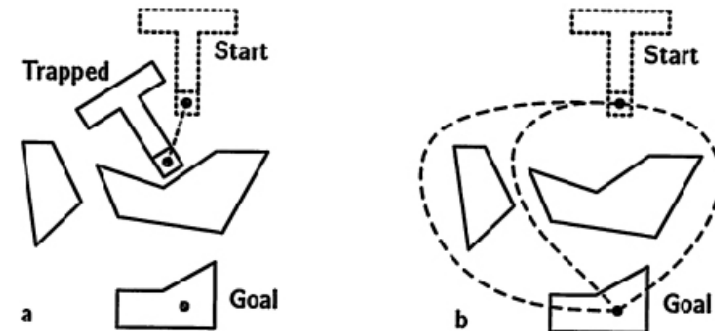
Vorteile:

- ▶ Nutzung von Heuristik
- ▶ Echtzeit-Eigenschaft

Zwei grundsätzliche Nachteile:

- ▶ Sie kann nicht garantieren, daß eine Lösung gefunden wird, wenn sie existiert, oder die Berechnung aufhört, wenn es keine Lösung gibt.
- ▶ Sie kann keine weiteren wichtigen Randbedingungen in sich aufnehmen.

## Potentialfeldmethode - Lokale Minima



## Probabilistische Ansätze

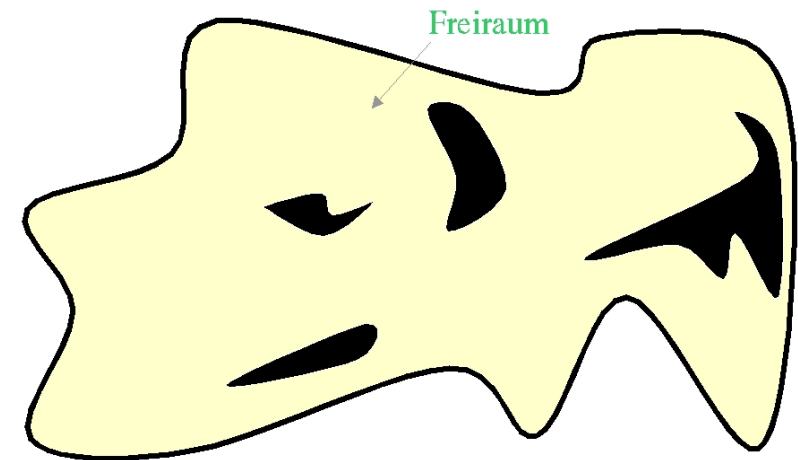
Der Bedarf an einem effektiven, d.h. schnellen, robusten, leicht zu implementierenden Berechnungsframework zur Planung Roboterbewegungen mit einer großen Anzahl von Freiheitsgraden Ideen:

1. zufällige Stichprobe im Raum des Interesses
2. Gewähre Kollisionsfreiheit der Stichproben
3. Verbinde Stichpunkte über einfache Bahnen
4. Suche in dem entstandenen Graphen

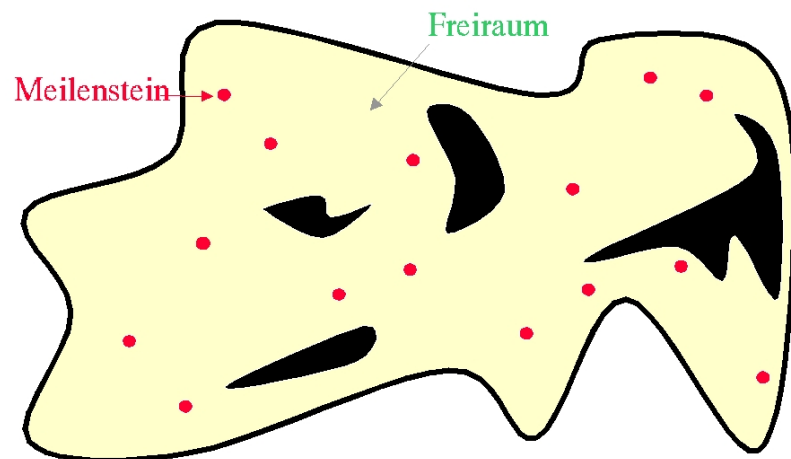
Motivation: Die Kollisionsdetektion sowie Abstandsberechnung sind schneller als die Erstellung einer expliziten Repräsentation des Freiraums

⇒: Probabilistische Straßenkarten (Barraquand, Kavraki & Latombe)

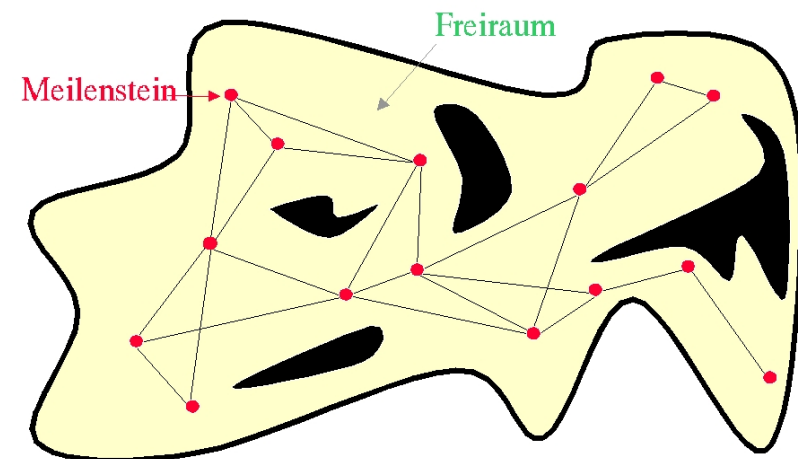
## Meilensteine und Straßenkarte - I



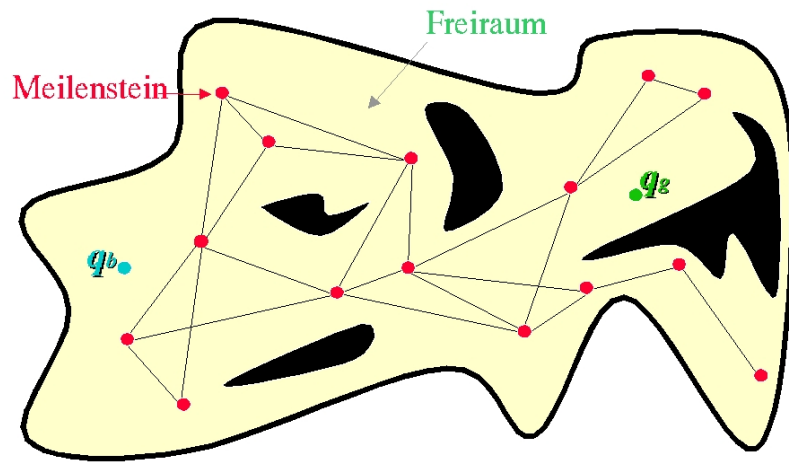
## Meilensteine und Straßenkarte - II



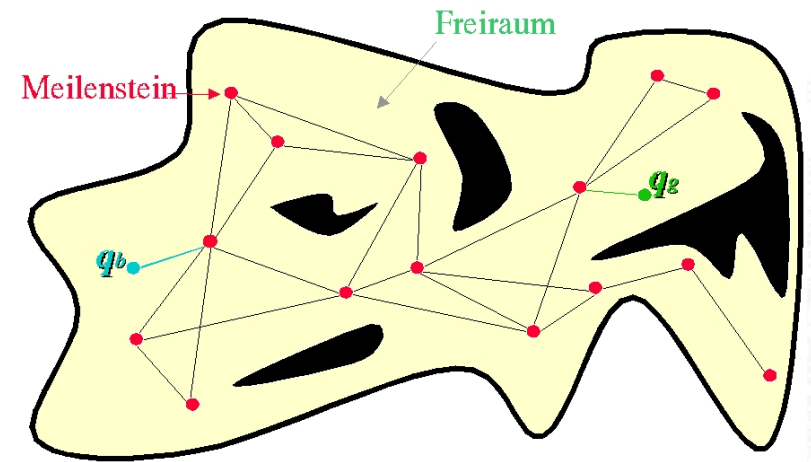
## Meilensteine und Straßenkarte - III



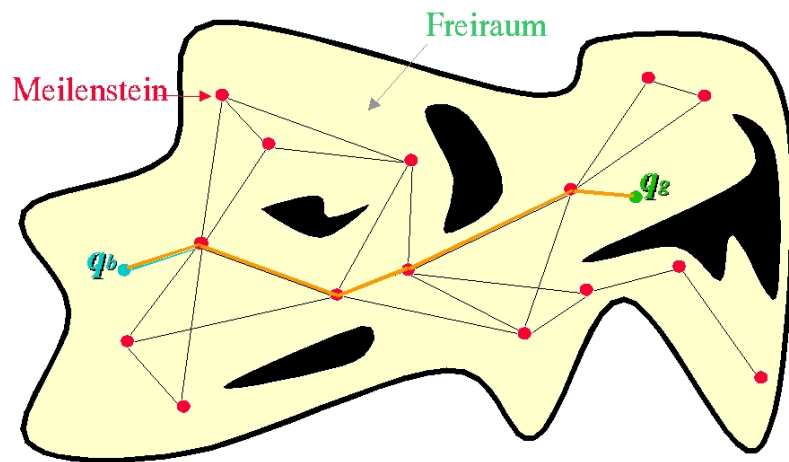
## Meilensteine und Straßenkarte - IV



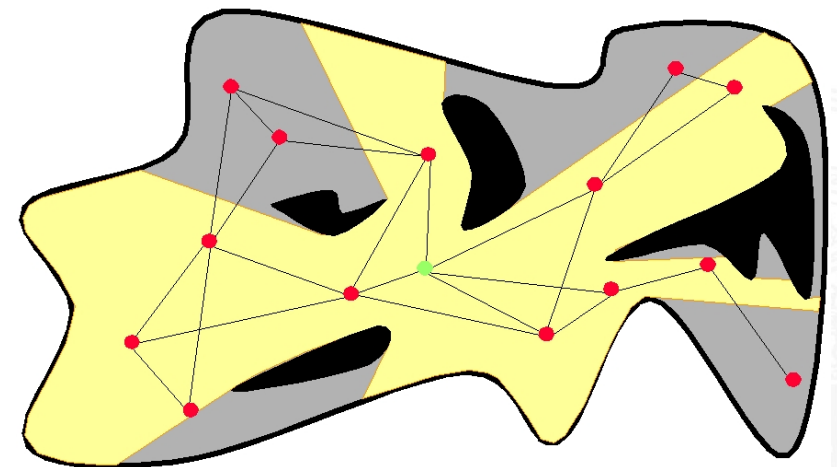
## Meilensteine und Straßenkarte - V



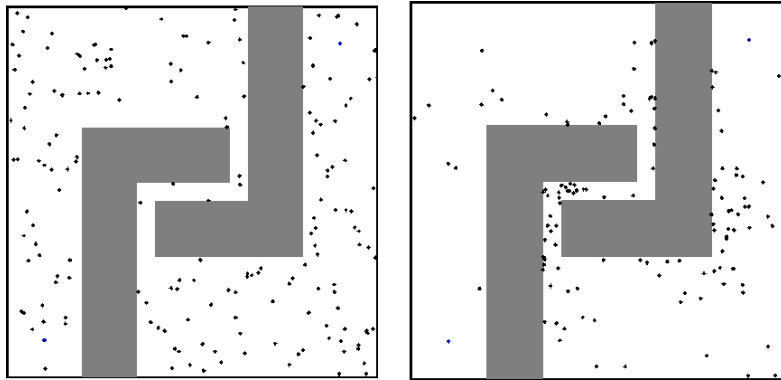
## Meilensteine und Straßenkarte - VI



## Übereinstimmung mit dem Kunstgalerie-Problem



## Prozess der Stichprobe



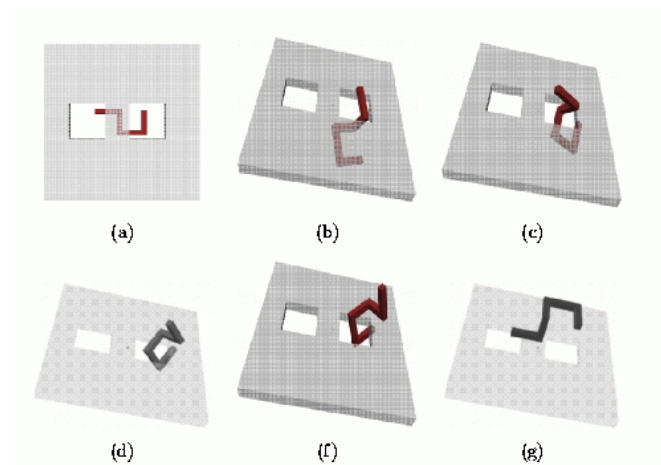
In einem *expansiven* Freiraum:  $Prob[\text{Fehlschlag}] \sim \exp(-N)$  wobei  $N$ : die Anzahl der Meilensteine

## Strategien der Stichprobe

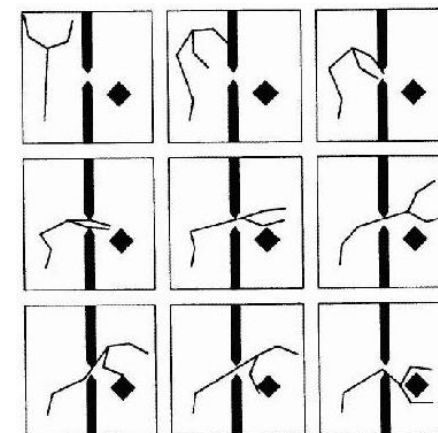
99% der Zeit eines auf Probabilistischen Straßenkarte basierten Planers wird für Kollisionsprüfung verwendet. Kann eine kluge Strategie die Größe einer Straßenkarte reduzieren, und gleichfalls die Zeit für die Kollisionsprüfung?

- ▶ uniform
- ▶ multistufig (grob zu fein)
- ▶ Hindernis-empfindlich (schiebe nichtfreie Stichproben in den Freiraum)
- ▶ "lazy" Kollisionsprüfung
- ▶ probabilistische Grundwerte

## Erfolgreiche 6D Planung bei einer engen Passage



## Planungsergebnis für ein mehrgelenkiges Artefakt



## Zusammenfassung der probabilistischen Ansätze

### Nachteile:

- ▶ nicht vollständig – kein strenges Abbruchkriterium, wenn keine Lösung gefunden wird
- ▶ Fehlender Einblick in den Planungsprozeß

### Vorteile:

- ▶ einfach zu implementieren
- ▶ schnell, skalierbar für Probleme mit vielen Freiheitsgraden

## Anwendungsgebiete

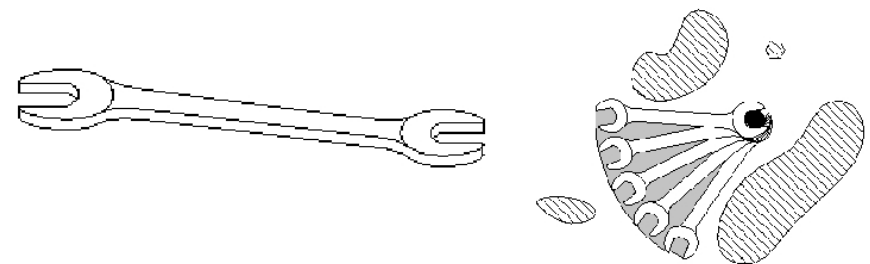
- ▶ Fertigung: Roboterprogrammierung, Montage, Layoutplanung
- ▶ Sequenzgenerierung für Wartungsaufgaben
- ▶ Autonome mobile Roboter
- ▶ Graphische Animation
- ▶ Bewegungsplanung in der Medizin
- ▶ Generierung von realistischen Bewegungen von Zellen bzw. Molekülen
- ▶ ...

## Anwendung: Montageplanung

Basierend auf einem Bahnplaner kann die Komplexität eines Produktes gemessen werden. Der Montagevorgang kann mitgeplant werden.

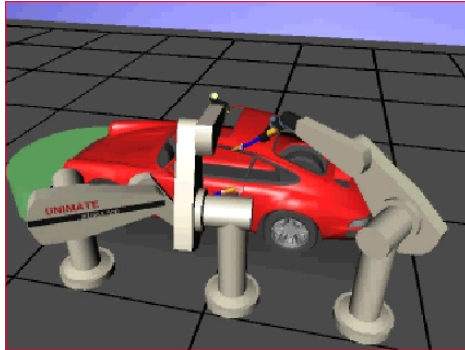


## Anwendung: Montageplanung



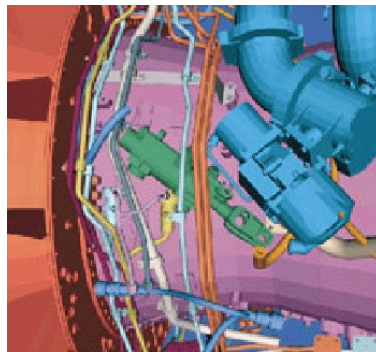
## Anwendung: Layoutplanung

Bahnplanung kombiniert mit Optimierungsverfahren liefert optimale Platzierung von Robotern sowie anderen Geräten auf einer Arbeitszelle



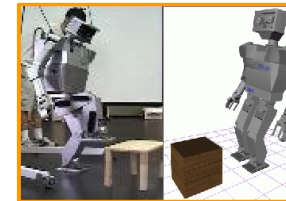
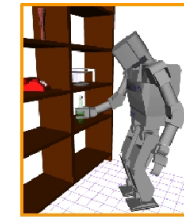
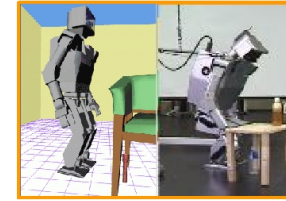
## Anwendung: Triebwerkswartung

Ein Bahnplaner kann benutzt werden um die Demontagemöglichkeit automatisch zu prüfen. Dadurch können die Produkte leichter und einfacher gewartet und repariert werden.

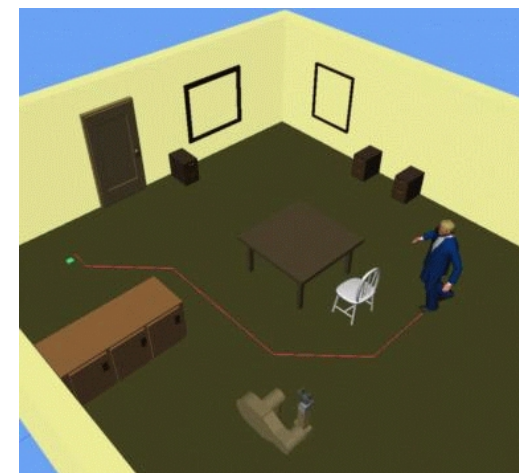


## Anwendung: Humanoid

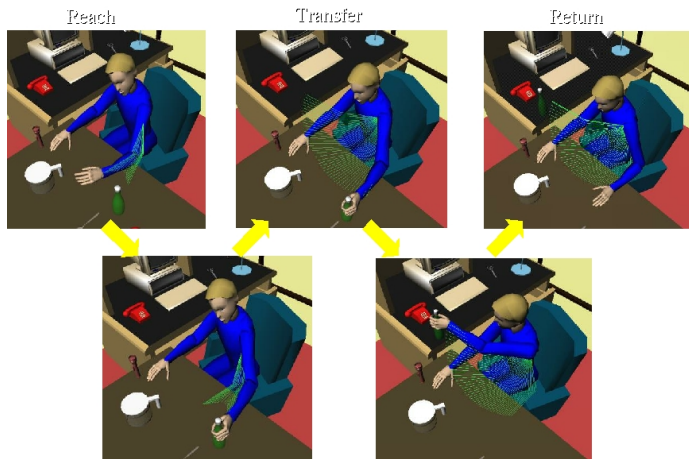
[Kuffner and Inoue, 2000] (U. Tokyo)



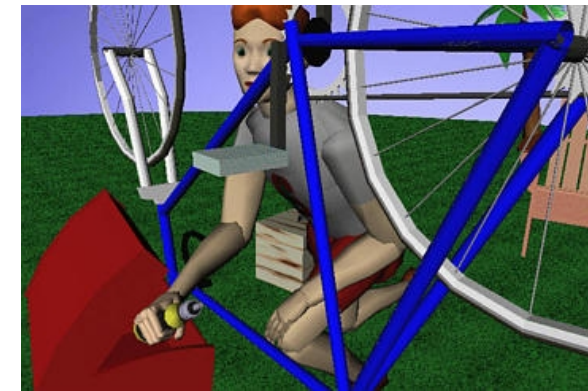
## Animation über Aufgabenorientierte Programmierung



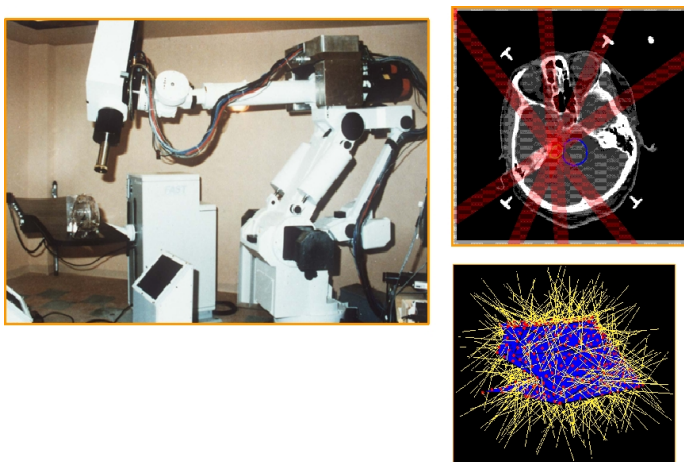
## Anwendung: Animation über Manipulationskripte



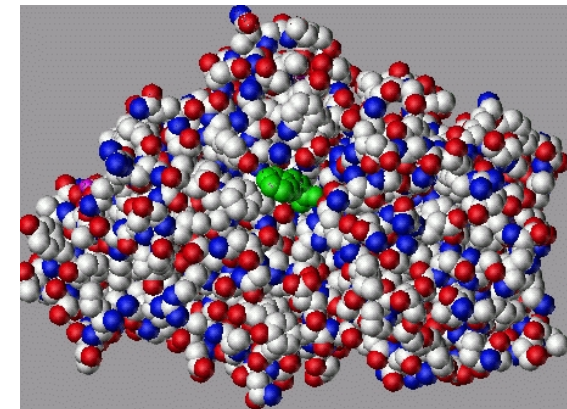
## Anwendung: Animation als Simulation



## Anwendung: Planung der Strahlungstherapie



## Anwendung: Generierung von Andockbewegungen von Molekülen



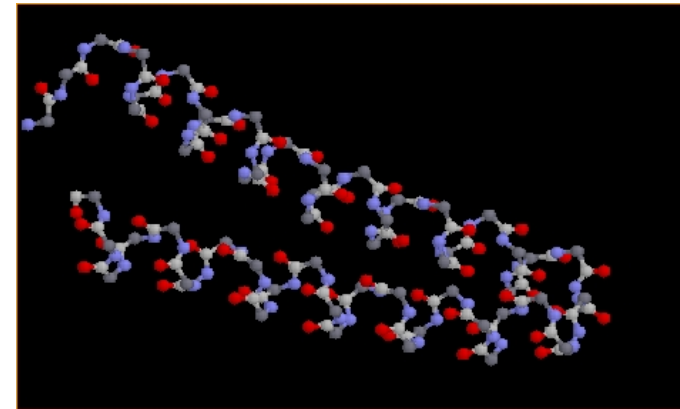


## Anwendung: Generierung von Andockbewegungen von Molekülen

- ▶ bewegliche Hindernisse
- ▶ mehrere sich bewegende Objekte
- ▶ deformierbare Objekte
- ▶ nicht spezifizierte Ziele
- ▶ nicht holonome Randbedingungen
- ▶ dynamische Randbedingungen
- ▶ zeitoptimale Planung
- ▶ unsichere Wahrnehmung und Planausführung
- ▶ hochkomplexe Artefakte

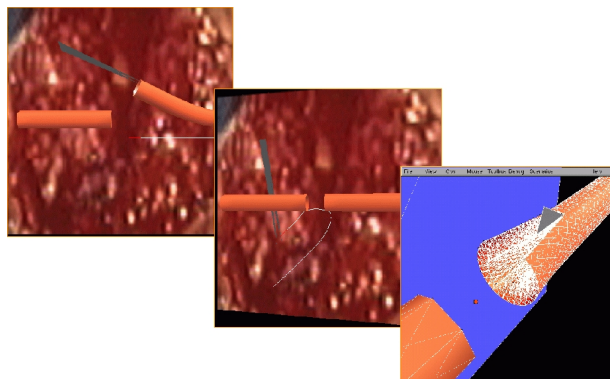
## Neue Anwendungen: Protein-Falten

Behandlung von über 1000 Freiheitsgraden:

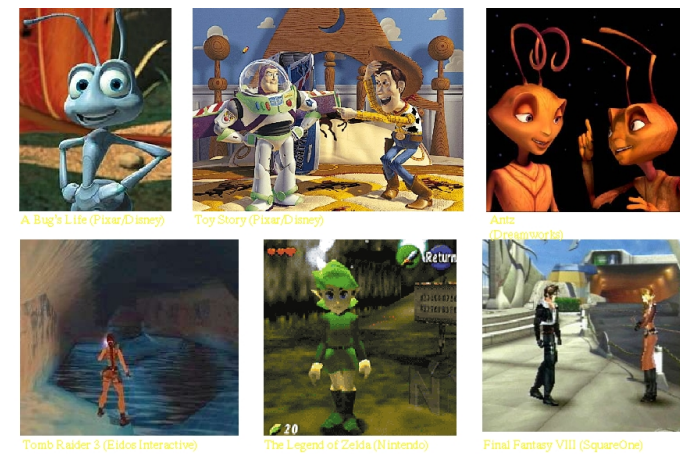


## Planung einer minimalen invasiven Chirurgie

bei weichen Objekten



## Autonome virtuelle Schauspieler





## Zusammenfassung

- ▶ Die explizite Repräsentation des Konfigurationsraums bietet eine vollständige Lösung bei ausreichender Genauigkeit, ist aber nur eingeschränkt anwendbar. Der verteilte probabilistische Ansatz ist praktisch bei einer großen Anzahl von Freiheitsgraden.
- ▶ Die Bahnplanung stammt aus der Robotik, findet aber z.Z. breite Anwendung in vielen anderen Bereichen: Fertigung, Virtuelle Realität, Animation, Video-Spiele, Biologie, Chemie, usw.
- ▶ Simulierte Umgebungen erfüllen genau die Voraussetzung der geometrischen Bahnplanung: bekannte Umweltmodelle, spezifizierbare Start- und Zielkonfiguration und ideale Ausführung. Die rapide Erhöhung der Rechengeschwindigkeit ermöglicht Echtzeit-Anwendungen.



## Zusammenfassung

- ▶ Reale Roboter werden mit vielen Unsicherheiten in der realen Welt konfrontiert. Die Erweiterungen des Basisproblems erfordern weitere Untersuchungen.
- ▶ Embedded-Systeme werden über immer mehr on-board Rechenleistungen verfügen. Modellierung und Berechnung von Bewegungen der intelligenten Geräte werden weitere Forschungsfelder erschließen.