

# 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

28. Juni 2011

# Gliederung

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

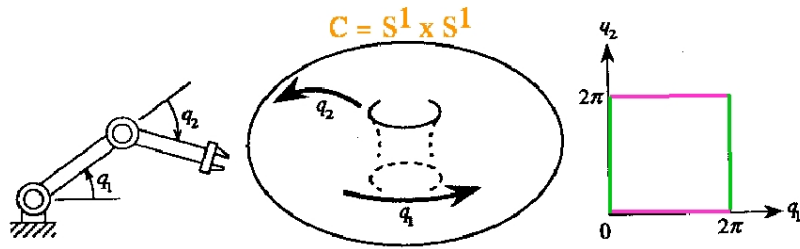
# Gliederung (cont.)

Roboterregelung  
Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung  
Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung  
Transformation vom Arbeitsraum zum Konfigurationsraum  
Berechnung der K-Hindernisse von Polygonen  
Berechnung der K-Hindernisse für Stangenkette  
Repräsentation des Konfigurationsraums durch Zerlegungsverfahren  
Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung  
Architekturen sensorbasierter intelligenter Systeme  
Aus- und Rückblick

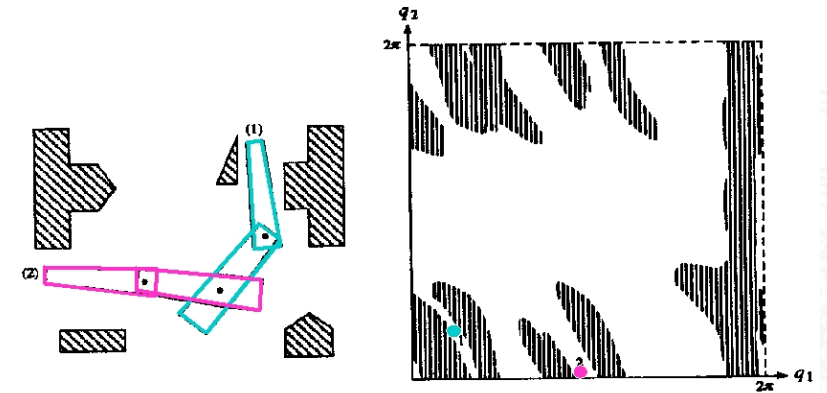
# Grundlage zur Programmierung auf Aufgabenebene

- ▶ Ein Roboter mit physikalischen Größen → ein Punkt, die Hindernisse im Arbeitsraum → Konfigurationsraumhindernisse (*K-Hindernisse*), das Komplement der vereinigten *K-Hindernisse* → der kollisionsfreie Raum (*Freiraum*).
- ▶ Bahnplanung für einen Roboter → Suche einer Bahn für den Referenzpunkt des Artefaktes im Freiraum.

## Vom Arbeitsraum zum Konfigurationsraum: eine Illustration



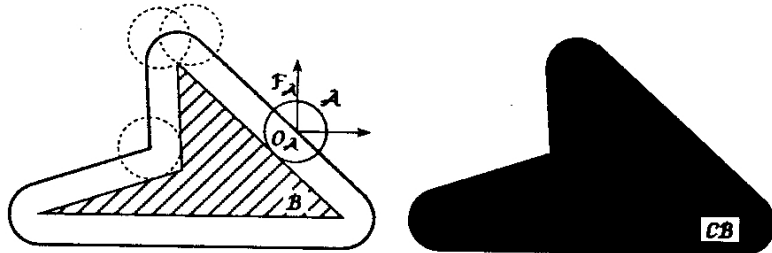
## Vom Arbeitsraum zum Konfigurationsraum: ein Beispiel



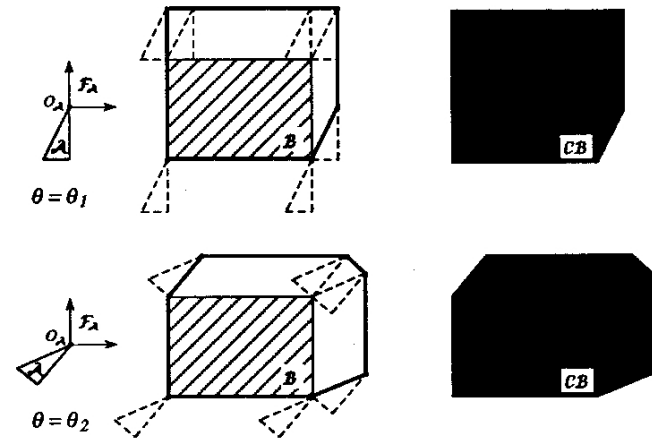
Die Topologie ändert sich nach der Transformation.

## Berechnung eines K-Hindernisses für ein kreisförmiges Objekt

$r$ -Vergrößerung eines Hindernisses:



## Berechnung der K-Hindernisse von Polygonen



## Berechnung eines K-Hindernisses mit Minkowski-Differenz

Ein K-Hindernis eines ortsfesten konvexen Hindernisses bzgl. eines (bewegten) konvexen Roboterteils läßt sich theoretisch einfach darstellen als **Minkowsky-Differenz** der beteiligten Objekten.

Wir können  $CO_O(H)$ , ein K-Hindernis eines ortsfesten konvexen Hindernispolyeders  $H$  bzgl. eines (bewegten konvexen Objektes  $O$ , exakt berechnen.

$CO_M(H)$ , Ein K-Hindernis eines ortsfesten konvexen Hindernispolyeders  $H$  bzgl. eines sich translatorisch bewegenden konvexen Objektes  $O$ :

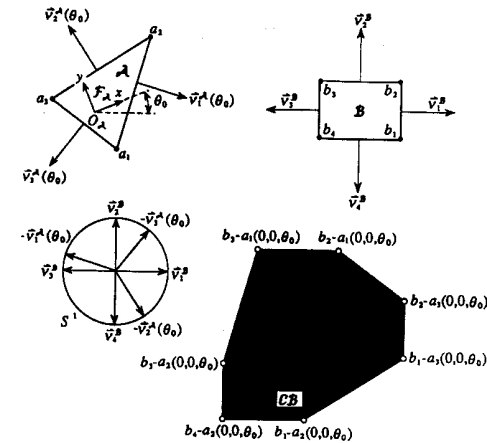
**Minkowski-Differenz (Minkowski-Summe)** von  $H$  und  $O$  ( $H$  und  $-O$ ):

$$CO_O(H) = H \ominus O = H \oplus (\ominus O)$$

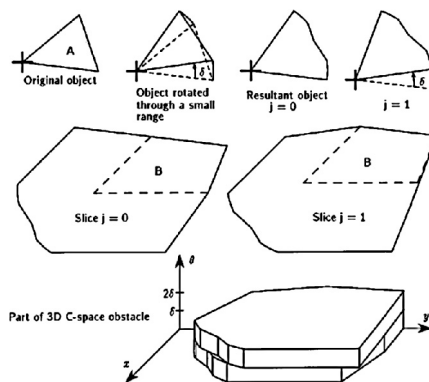
wobei

$$H \ominus O := \{h - o \mid h \in H \wedge o \in O\}$$

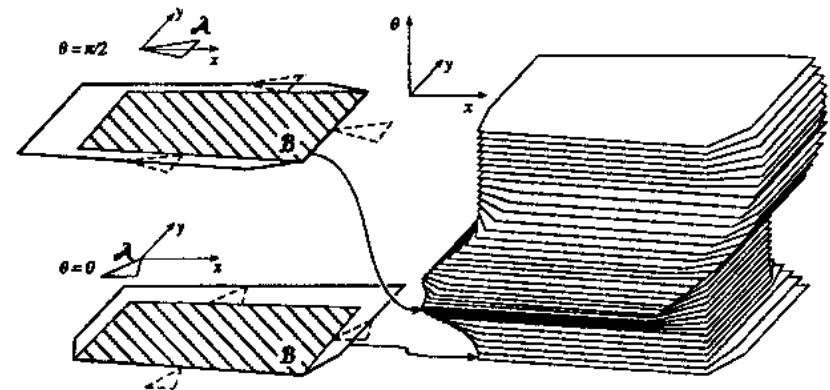
## Berechnung eines K-Hindernisses mit Polygonen



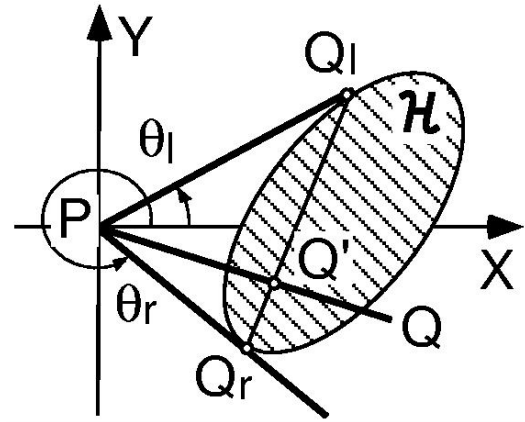
## K-Hindernisse für ein Objekt mit 2D translatorischen und 1D rotatorischen Bewegungen - I



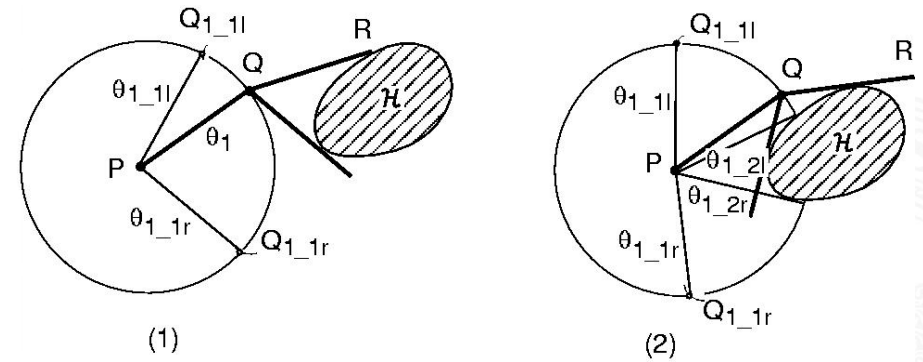
## K-Hindernisse für ein Objekt mit 2D translatorischen und 1D rotatorischen Bewegungen - II



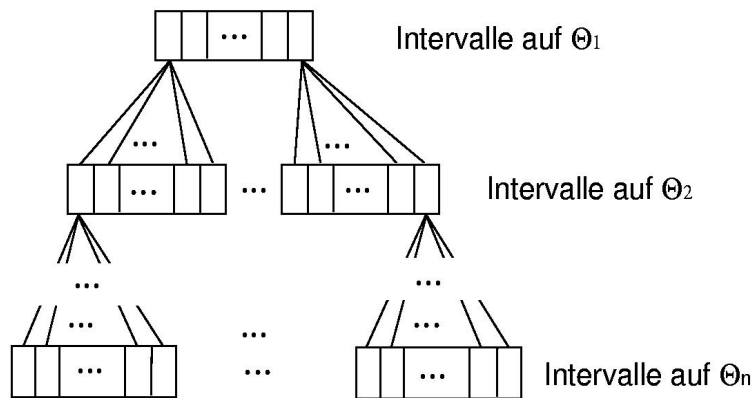
## Berechnung der K-Hindernisse für eine Stange



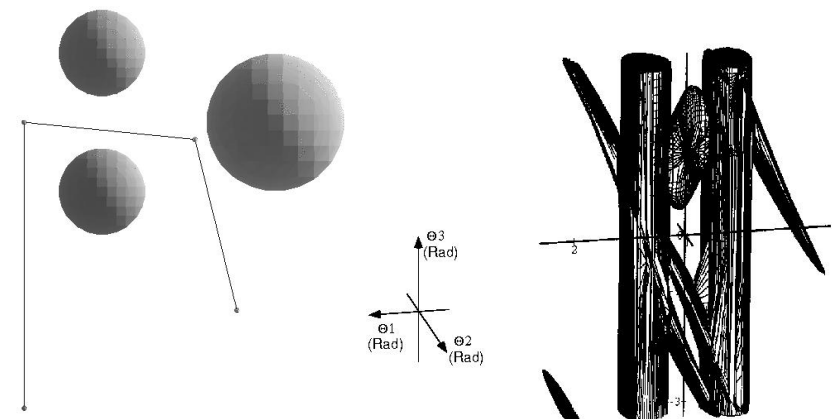
## Berechnung der K-Hindernisse für eine 2D Stangenkette



## Baumstruktur zur Zerlegung des Konfigurationsraums



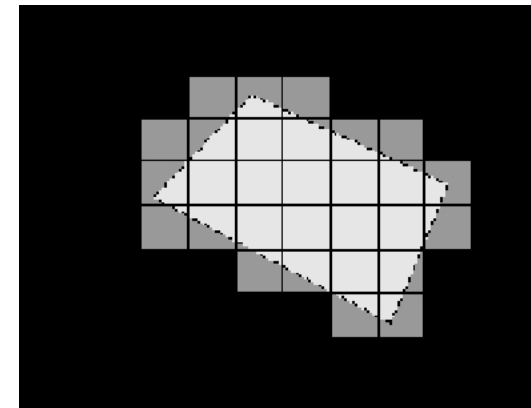
## Konfigurationsraum für eine 3D Stangenkette



## Repräsentation des Konfigurationsraums durch Zerlegungsverfahren

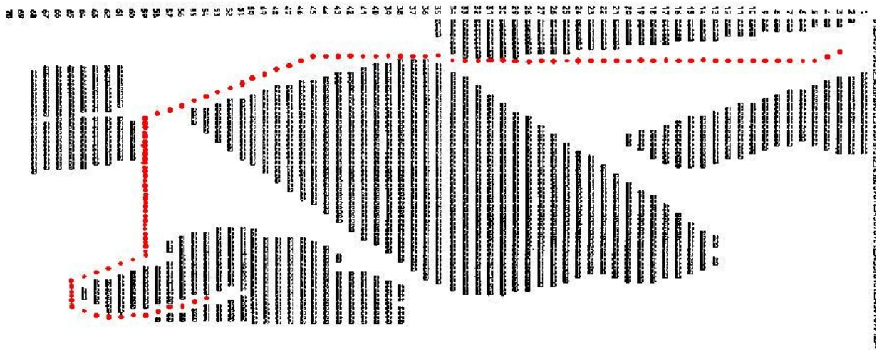
- ▶ Geometrische Zerlegung über
  - ▶ gleichmäßige Kuben
  - ▶ eine hierarchische Baumstruktur (Viererbaum, Achterbaum, usw.)
  - ▶ Scheiben und Scanlinien
  - ▶ "Luftblasen" flexibler Größe
- ▶ Topologische Zerlegung
  - ▶ mit überlappenden verallgemeinerten Kegeln
  - ▶ mit kritischen Punkten der K-Hindernisse

## Kubenzerlegung des Konfigurationsraums

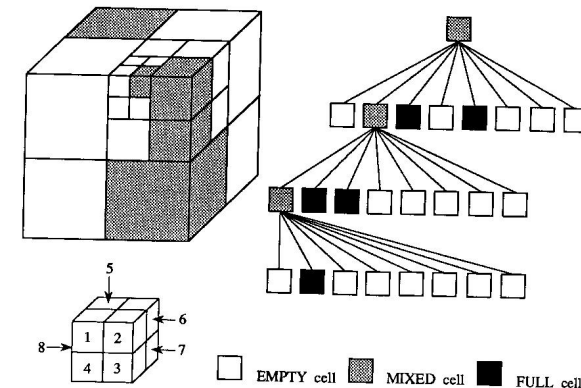


Das erzeugt ein Bitmap für einen Konfigurationsraum

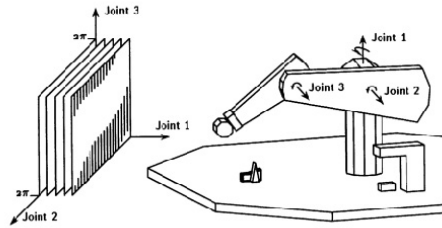
## Zerlegung eines Konfigurationsraums mit Quadraten



## Achterbaum-Zerlegung des Konfigurationsraums

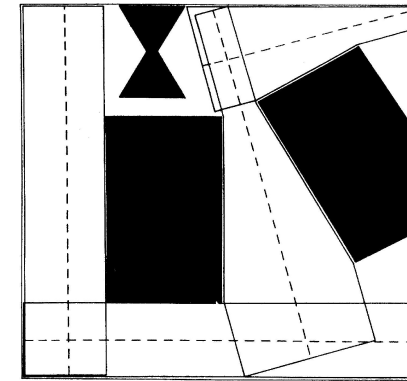


## Achterbaum-Zerlegung des Konfigurationsraums



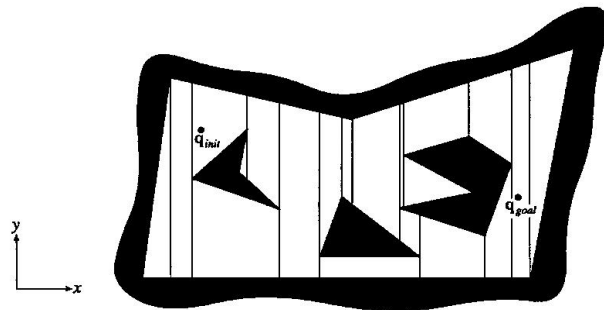
Komplexität:  $r^{d-1}f(m)$  zur Abbildung der  $K$ -Hindernisse, wobei  $r$ : die Anzahl der Diskretisierungsschritte in jedem Freiheitsgrad,  $d$ : Freiheitsgrad des Roboterarms,  $f(m)$ : die Rechenzeit einer Scheibe – eine Funktion der Kantenanzahl aller Hindernisse – ist.

## Repräsentation des Freiraums mit verallgemeinerten Kegeln



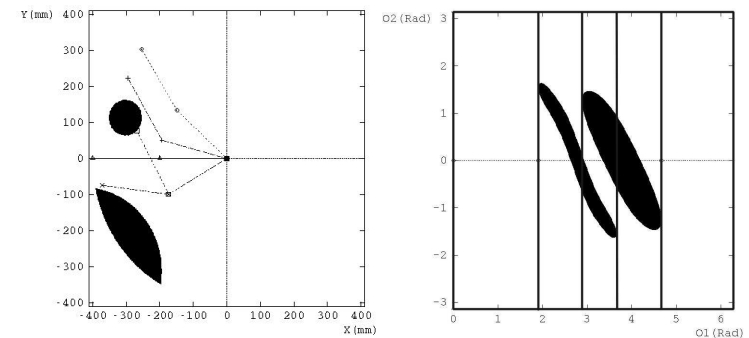
## Exakte Zerlegung eines Konfigurationsraums

das ist ein Beispiel der trapezoiden Zerlegung



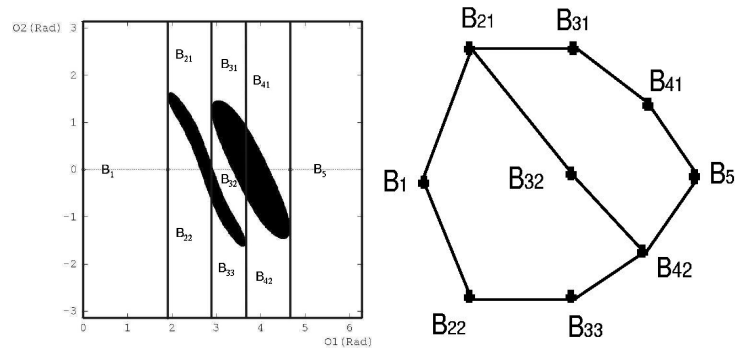
## Beispiel einer exakten Zerlegung mit kritischen Punkten

das ist ein Beispiel der zylindrischen Zerlegung



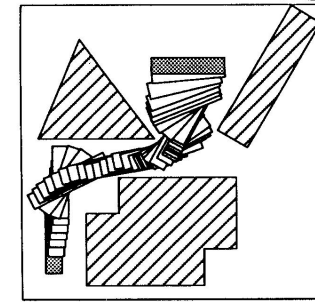


## Beispiel einer exakten Zerlegung und eines Verbindungsgraphen



## Planungsergebnisse

“Piano-Mover”:



Manipulatoren: Lozano-Perez 92 *HANDEY*  
3D Konfigurationsraum (auf einem seriellen Rechner)  
Bis zu 6D Konfigurationsraum (auf massiv-parallelen Rechnern)

## Zusammenfassung: Zerlegungs-basierte Bahnplanung

Vorteile:

- ▶ Vollständigkeit bei einer ausreichenden Auflösung
- ▶ globale Übersicht

Nachteile:

- ▶ großer Speicherbedarf
- ▶ relativ schwer zu implementieren
- ▶ praktisch implementierbar nur für wenige Freiheitsgrade

⇒ Bahnplanung ohne explizite Repräsentation der Freiraumgeometrie?