

Übung I

Inhalt

Wiederholung

- Roboter-Programmierverfahren
 - Roboterorientiert, direkt
 - Aufgabenorientiert
- Modellierung
- Roboter-Architektur

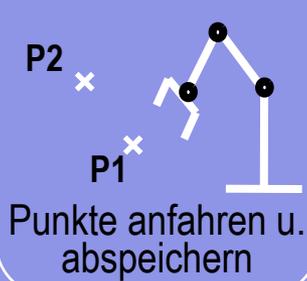
- Aufgaben (siehe Internet): Diskussion

Roboterprogrammierverfahren

on-line

direkt

Teach-In



Play-Back



Sensor-unterstützt



Master-Slave



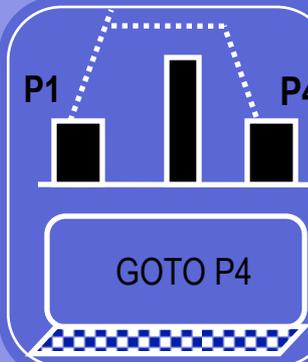
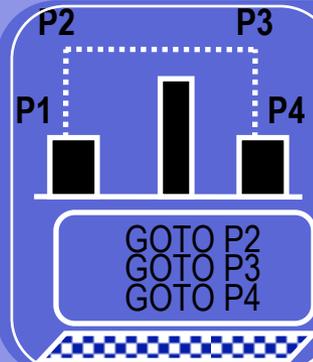
Hybride Verfahren

Interaktive Verfahren

PdV

off-line

textuell



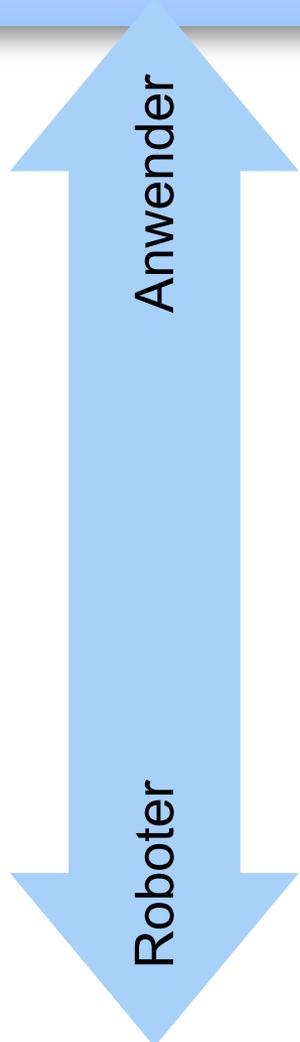
graphisch



explizit

implizit

Anwender → Roboter



**Aufgabenbeschreibung
(aufgaben- / zielorientiert)**

Implizite Programmierung (Offline) → Aktionsplanungssysteme
→ Automatische Roboterprogrammiersysteme

- Wissensauswertung
- Aufgabenplanung
- Sensorüberwachung
- Bewegungsplanung
- Parallelarbeit, Synchronisation

Ablauf- und Bewegungsprogramm
(roboterorientiert, explizite Sprache)

Explizite Programmierung (Offline) → Roboterprogrammiersprachen
→ Graphische Simulationssysteme

- Bewegungsspezifikation
- Datentypdefinition
- Arithmetik
- Sensordatenintegration
- Programmablaufsteuerung
- Multitasking
- Dateneingabe / -ausgabe

Steuerungscode
(Steuerungsparameter, roboterspezifisch)

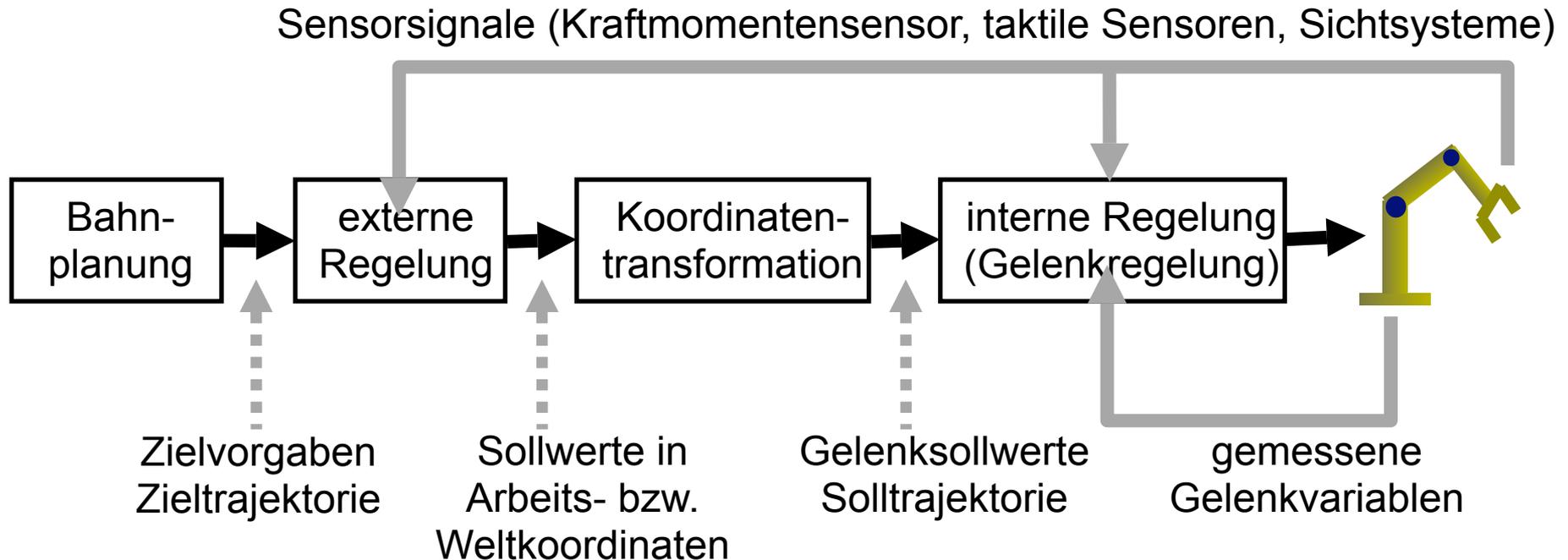
Direkte Programmierung (Online) → Teach-Box
→ Master-Slave-Programmierung
→ Folgeprogrammierung

- Teach-in
- Abfahren von Bahnpunkten
- Speicherung eingelernter Bahnpunkte

Roboterorientierte Programmierung

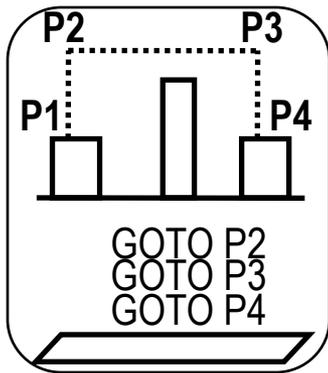
Komponenten der roboterorientierten Programmierung

Regelungszyklus eines Roboters



Explizite Programmierung

- Nur in Verbindung mit (abstrakten) Programmiersprachen
- Benötigt Unterstützung für
 - (inverse) Koordinatentransformation
 - Verarbeiten der Sensordaten
 - Regelungskonzepte (evtl. Echtzeitanforderung)



Vorteile:

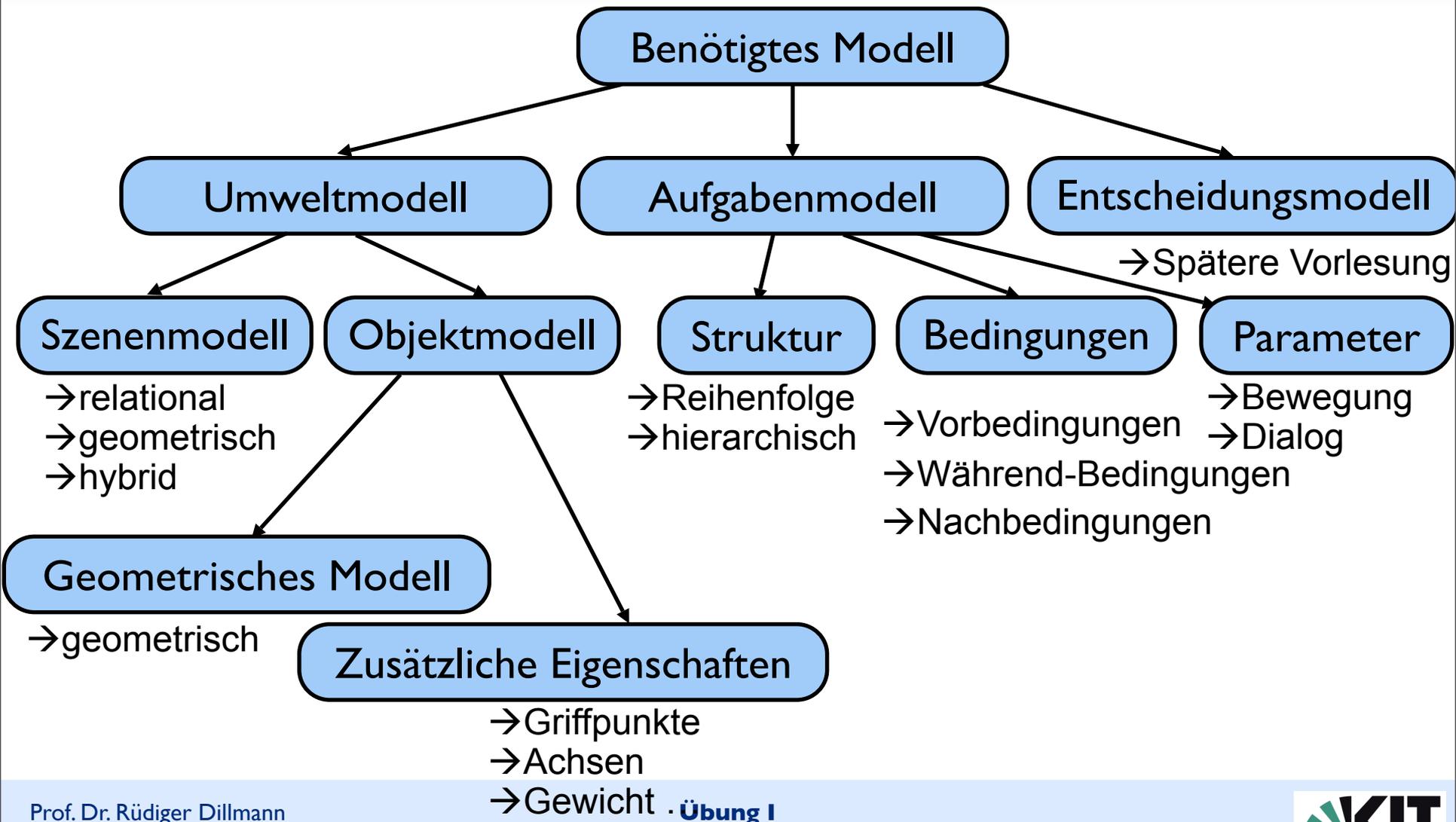
- + beliebig komplexe Bahnen
- + Anbindung von Sensoren
- + reaktive Planung

Nachteile:

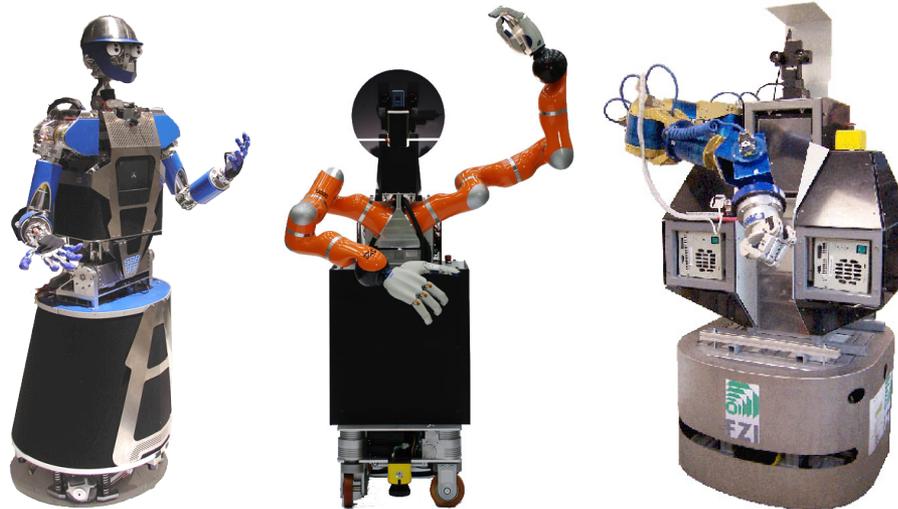
- Keine standardisierte Programmiersprache
- Kenntnis der Programmiersprache

Aufgabenorientierte Programmierung

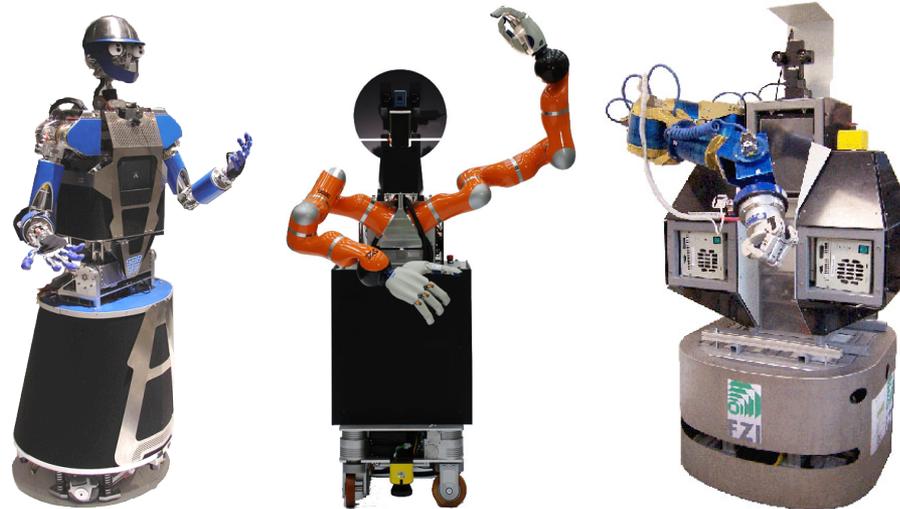
Aufgabenorientierte Programmierung



Anforderungen an das Aufgabenmodell



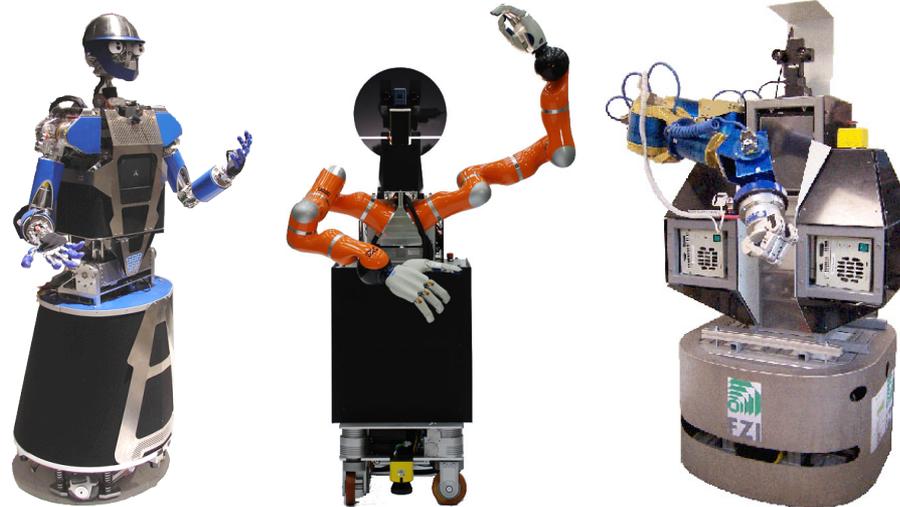
Anforderungen an das Aufgabenmodell



Integration des
Wissens in ein
Planungssystem

Anforderungen an das Aufgabenmodell

Wiederverwendbarkeit

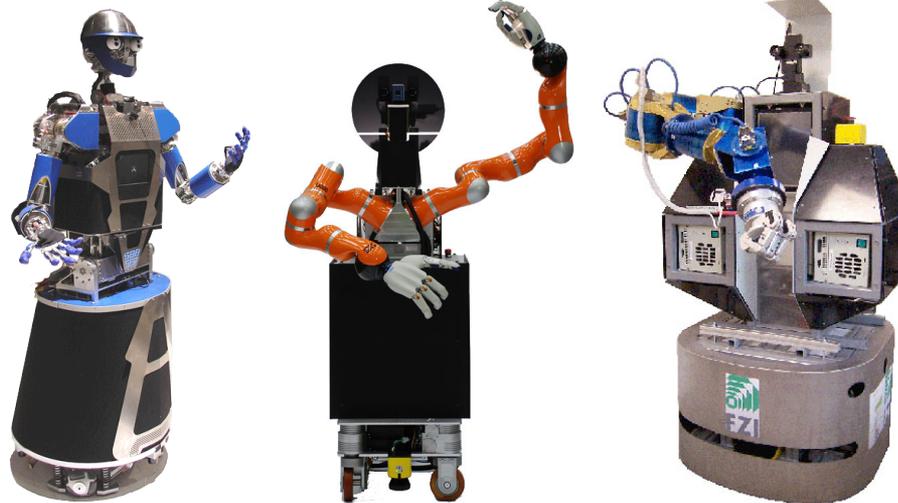


Integration des
Wissens in ein
Planungssystem

Anforderungen an das Aufgabenmodell

Erweiterbarkeit

Wiederverwendbarkeit



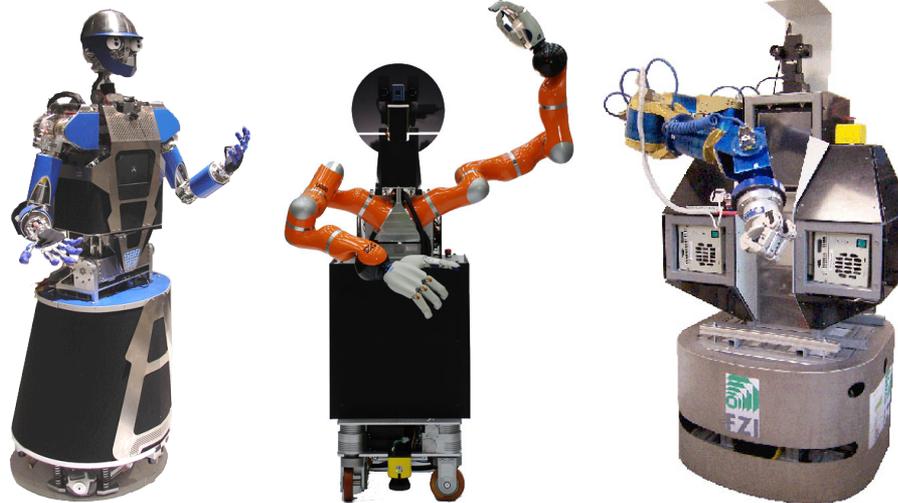
Integration des
Wissens in ein
Planungssystem

Anforderungen an das Aufgabenmodell

Erweiterbarkeit

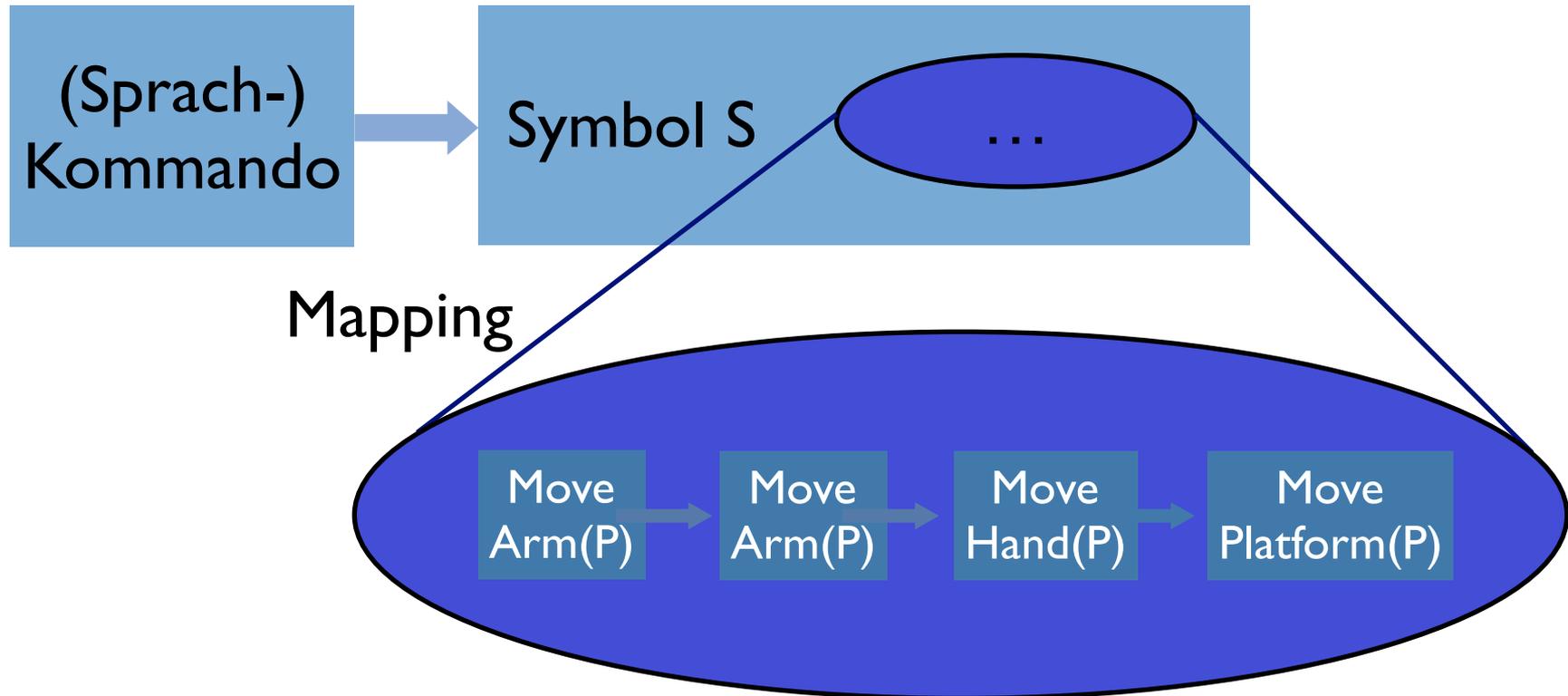
Wiederverwendbarkeit

Erklärbarkeit



Integration des
Wissens in ein
Planungssystem

Symbolische Abstraktion



3D Objektmodell

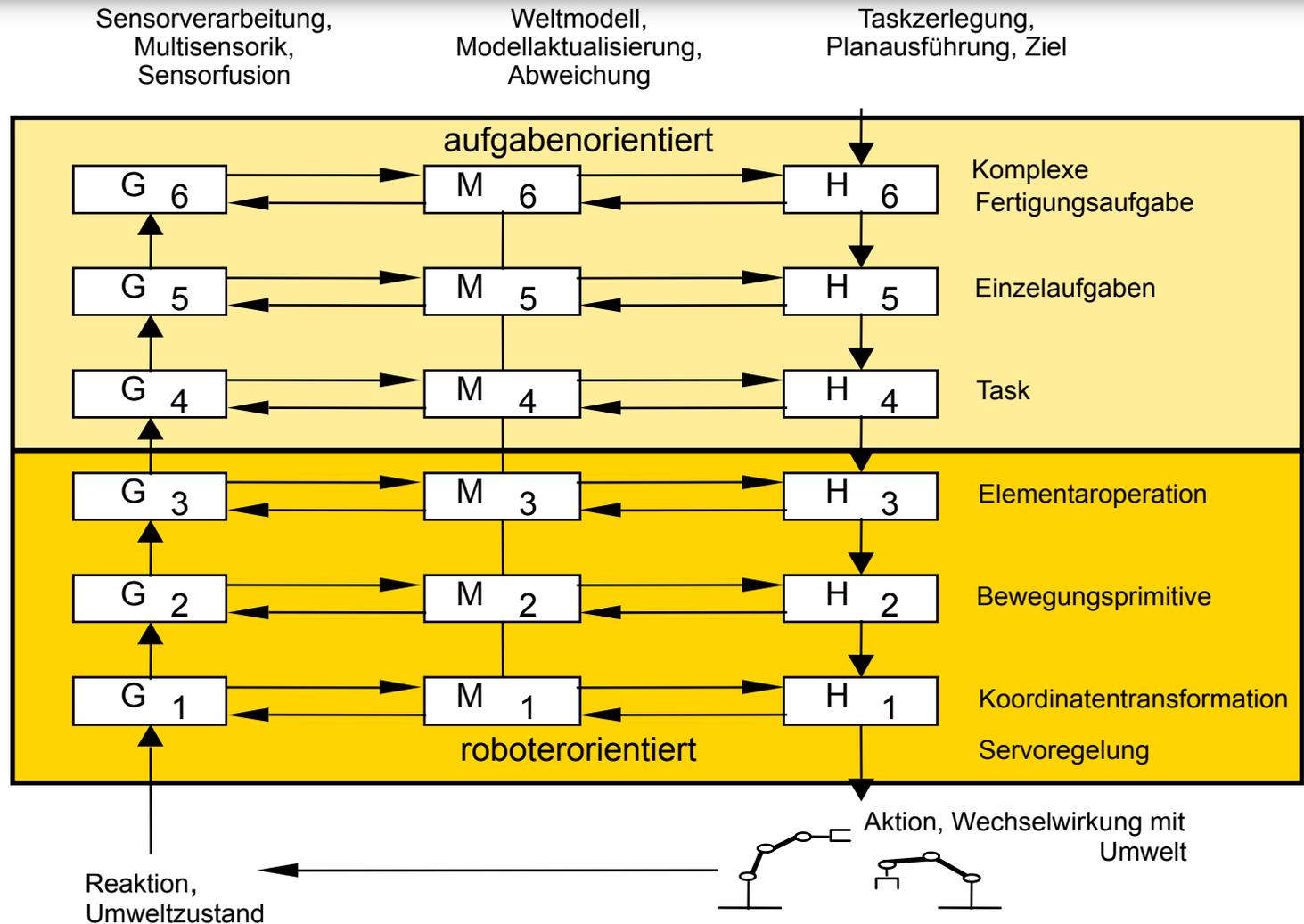
- Geometrische Modellierung von Objekten
 - Kantenmodell (Polynome, Splines)
 - Flächenmodell (Pflaster, Bezierflächen)
 - Volumenmodell (Zellen, CSG)

Geometrische Modellierung

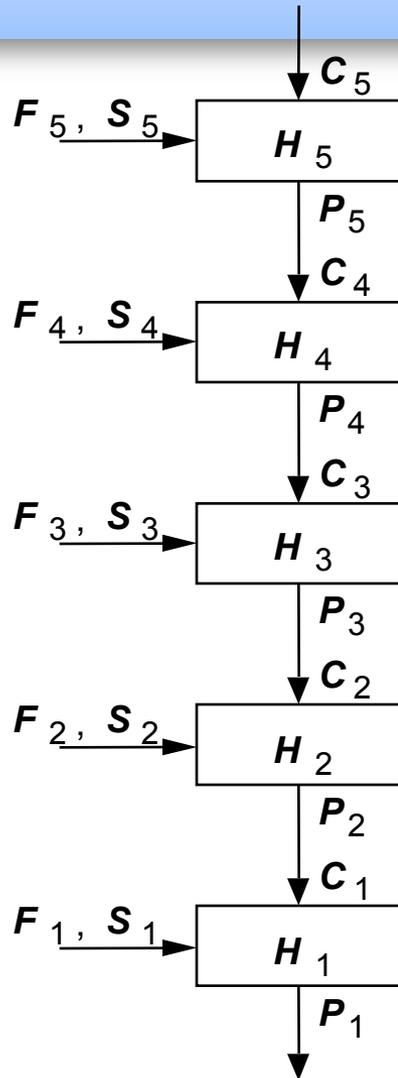
Boundary Repräsentation	Punkte, Kanten, Flächen
Constructive Solid Geometry	Parametrisierte Grundkörper
Zellenbelegung	Elementarzellen

Roboterarchitektur, Abstraktionsebenen

Hierarchische Roboterarchitektur



Zerlegung einer Taskanweisung



Komplexe Aufgabe

C_5 : Verbinde Teil A mit Teil B



Taskebene

C_4 : Greife Teil B



Einfache Operationen
Elementaroperationen

C_3 : Bewege Endeffektor zu Anrückframe von Teil B



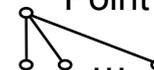
Geom. Regelung,
Adaption,
Kraftregelung

C_2 : Frame Teil B
Bestimme Anrückframe



Gelenk Regelung,
Servoregelung

C_1 : Gelenkvektor für Roboter (Tool-Center Point in Frame B), ...



Folge von Stellmomenten

Aufgabenstellung (I)

Ein kleines Unternehmen will folgende Aufgaben automatisieren:

- Zusammensetzen von Motorblockeinheiten
 - Schweißen von Karosserieelementen
-
- Wie können die Anforderungen an das System aussehen?
 - Alternativen, Vor/Nachteile?

Vorüberlegungen (I)

- Flexibilität: Einsatz für eine spezielle oder für verschiedene Aufgaben?
- Stückzahlen: Einzelstücke, Kleinserien oder große Stückzahlen?
- Einsatzort: Fester Ort oder Mobilität des Systems?
- Programmierung: Wie oft? Interne oder externe Dienstleistung? Schulungsaufwand?
- Bedienung: Systemautonomie? Interaktion mit Menschen (zB Einlegen von Werkstücken)? Schulungen?
- Wartung: Wartungsintervalle, Aufwand, benötigte Verfügbarkeit?
- Geschwindigkeit: Dauer eines Arbeitszyklus?
- Preis?

Anforderungen KMU (I)

- Flexibilität in der Anwendbarkeit des Roboters!!
- Komponenten: Roboter, Steuereinheit, Programmierplatz, Förderbänder, Fertigungszelle
- (Zumindest eingeschränkte) Mobilität: Das System sollte an verschiedenen Orten in der Produktion einsetzbar sein
- Wenig Aufwand zur (Um-)Programmierung
- Flexibilität bei der Werkzeugwahl

Aufgabenstellung (2)

- Welche Programmiermethoden kommen für diese Anwendung in Frage?

Diskussion (2)

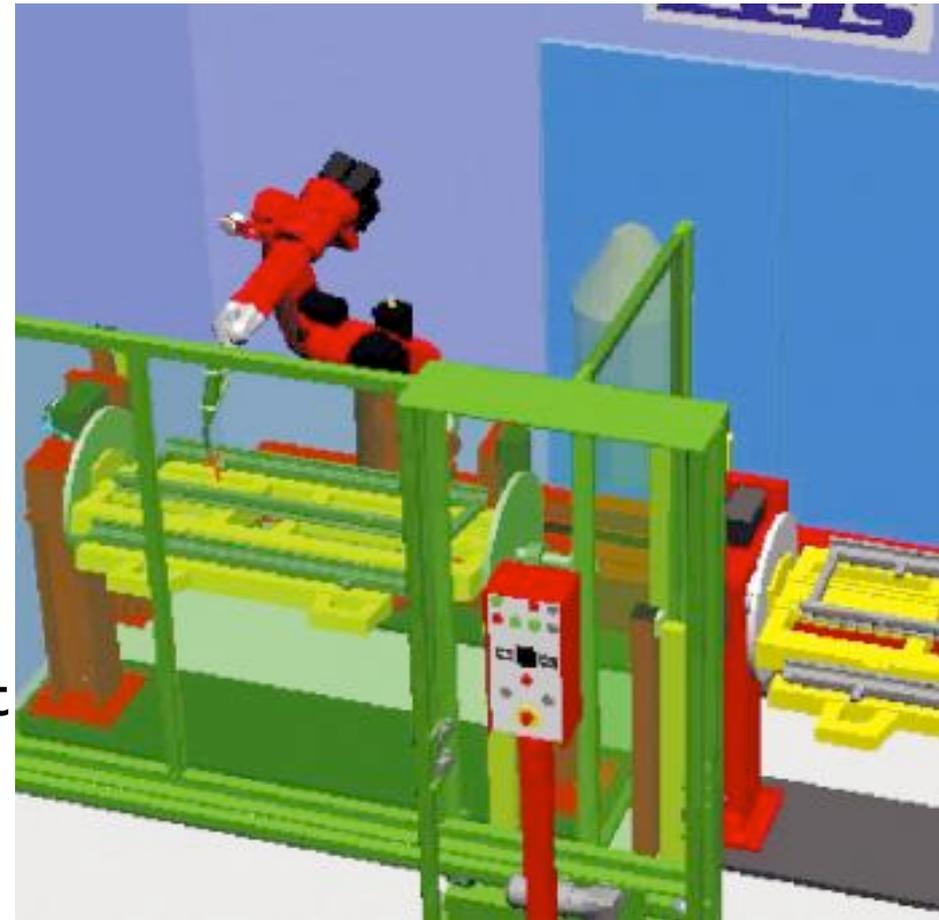
- Online?
 - Teach-In
 - Play-Back
 - Master-Slave
 - Sensorunterstützt
- Offline?
 - Explizit?
 - Implizit?
- Hybride Verfahren?

Diskussion (2)

- Online?
 - Teach-In
 - ▶ V: Schnell zu lernen, einfach, gut für simple Anwendungen
 - ▶ N: Unflexibel, Umprogrammierung braucht Zeit, während der der Roboter belegt ist
 - Play-Back
 - ▶ V: Ohne viel Vorwissen anwendbar, schneller als Teach-In
 - ▶ N: Zusätzliche Sensorik, zusätzliche Steuereinheit, teurer, analytische Trajektorien so nicht programmierbar (Kreisbahn)
 - Master-Slave: Nicht lohnenswert, antiquiert
 - Sensorunterstützt
 - ▶ V: Komplexe Trajektorien gut fahrbar, gut bei Produktpalette mit hoher Ähnlichkeit

Aufgabenstellung (3)

- Einsatzumgebung zum Schweißen von Karosserieelementen (Reis Robotics).
- Modell der Umgebung mit CSG, ER?



Diskussion (3)

- Welche Teile müssen modelliert werden?
- Welchen Zweck erfüllt CSG, welchen ER?
- Wo wird also sinnvollerweise CSG, wo ER verwendet?
- Reichen CSG und ER aus, die Aufgabe durchzuführen?

Diskussion (3)

- Welche Teile müssen modelliert werden?
 - Roboter: Arm, Greifer, Förderbänder
 - Umgebung: Fertigungszelle, Arbeitsraum -> alle Hindernisse
 - Werkstücke: Greifpunkte, Schweißpunkte
 - Bewegliche Hindernisse
- Welchen Zweck erfüllt CSG, welchen ER?
- Wo wird also sinnvollerweise CSG, wo ER verwendet?
- Reichen CSG und ER aus, die Aufgabe durchzuführen?

Diskussion (3)

- Welche Teile müssen modelliert werden?
- Welchen Zweck erfüllt CSG, welchen ER?
 - CSG: Geometrische Modellierung starrer Objekte. Starre Objekte: Solche, die *für die Aufgabe des Roboters* starr sind. Zweck: Kollisionserkennung, Bahnplanung, Greifen, manipulieren
 - ER: Szenenmodell. Relationen in der Szene, die semantisch für den Roboter notwendig sind. zB: A in B, A auf B, etc. Zweck: Darstellung relevanter Relationen. Relevant: Üblicherweise das, was sich auch während der Aufgabe ändern kann
- Wo wird also sinnvollerweise CSG, wo ER verwendet?
- Reichen CSG und ER aus, die Aufgabe durchzuführen?

Diskussion (3)

- Welche Teile müssen modelliert werden?
- Welchen Zweck erfüllt CSG, welchen ER?
- Wo wird also sinnvollerweise CSG, wo ER verwendet?
 - CSG: Für den Roboter in sich starre Objekte/
Objektkonfigurationen
 - ER: Sich ändernde Relationen
- Reichen CSG und ER aus, die Aufgabe durchzuführen?

Diskussion (3)

- Welche Teile müssen modelliert werden?
- Welchen Zweck erfüllt CSG, welchen ER?
- Wo wird also sinnvollerweise CSG, wo ER verwendet?
- Reichen CSG und ER aus, die Aufgabe durchzuführen?
 - Auf jeden Fall. Das ER Modell wird für die gegebene Aufgabe schon recht übersichtlich ausfallen.

Aufgabenstellung (4)

Bei der Fertigung von Schokoladentafeln wird jedes Produkt am Ende der Fertigung auf Qualität bezüglich Form und Oberfläche geprüft. Dabei wird jede Tafel in eine der drei Kategorien

- fehlerlos (erste Wahl)
- kleinere Fehler (zweite Wahl)
- große Abweichungen (Ausschuss)

bewertet. Die Prüfung wird automatisiert durch ein Sensorsystem vorgenommen, was z.B. aus einer Kamera (Oberflächenprüfung, Schriftzug), einer Waage (Gewicht) und mehreren Tastsensoren (Abmessungen) besteht. Die Tafeln liegen während der Prüfung in einer definierten Position.

Aufgabenstellung (4)

Ein Robotersystem soll nun diese klassifizierten Tafeln auf die jeweiligen Förderbänder sortieren. Dazu steht ein Roboter mit Sauggreifer zur Verfügung, der folgendermaßen angesteuert werden kann:

- *Move(Position, Orientierung)* bewegt den Greifer an die vorgegebene Position.
- *Move(Gelenkwinkel)* steuert die einzelnen Gelenke in die vorgegebene Position.
- *Grasp()* saugt das Objekt unter dem Greifer an und
- *Release()* gibt dieses wieder frei.
- Zusätzlich kann die Qualität der zuletzt vermessenen Tafel mit *Quality()* abgefragt werden.
- Die nächste Tafel kann mit *Next()* angefordert werden.

Programmieren Sie mit diesen Befehlen das Robotersystem für die gegebene Sortieraufgabe.

Schwerpunkte

- (Anforderungen siehe vorherige Aufgaben)
- Modellierung
- Systemaufbau
- Programmierung

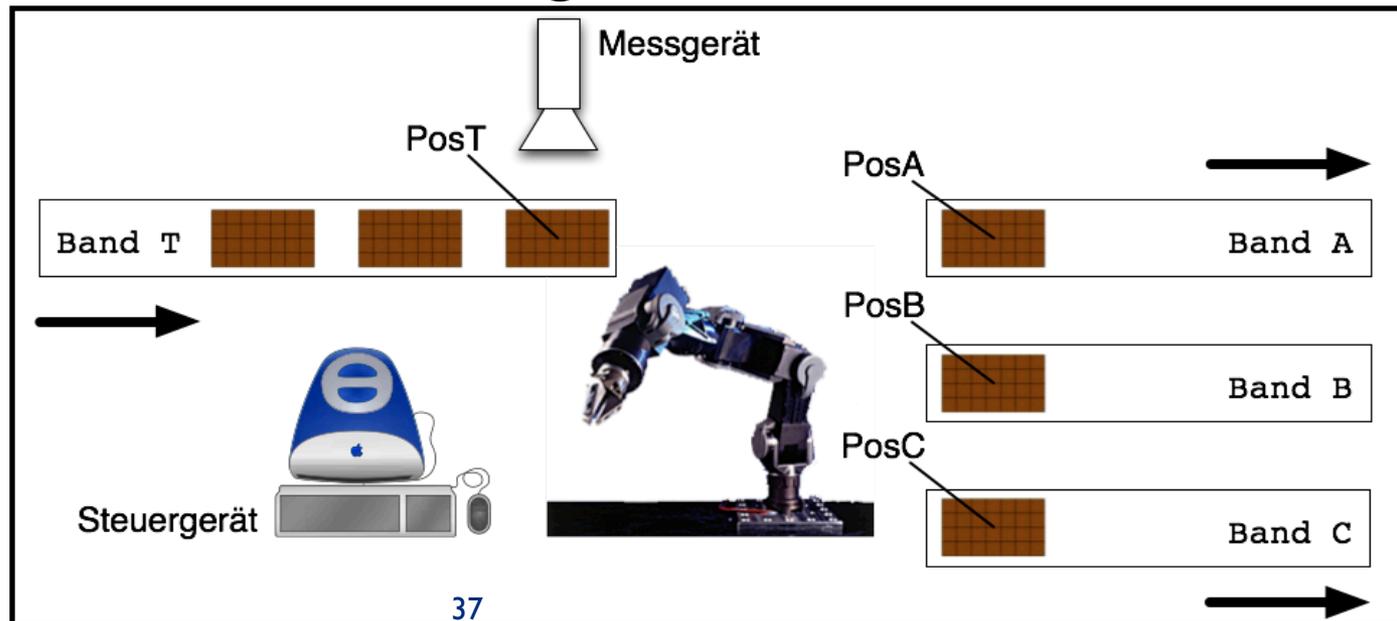
Modellierung

- Objektmodelle:
 - Werkstück: Geometrisches Modell für
 - ▶ Sensorik (erkennen, bewerten)
 - ▶ Greifen/Ansaugen.
 - Arbeitszelle
- Szenenmodell und Sensorik:
 - Roboter und Werkzeug
 - Anordnung der Förderbänder, Behälter etc.
 - Position des Sensorsystems

Systemaufbau

- Transportband mit zu vermessenden Tafeln
- 3 Bänder für sortierte Tafeln
- Robotersystem
- Steuereinheit
- Sensorsystem

Möglicher Aufbau



Programmierung

- Beispielprogramm:
- Diskussion:
 - Fehlerbehandlung?
 - Move()?
 - Koordinatensysteme?
 - ...

```
while (Tafel) {  
    Next();  
    act_quality = Quality();  
    if (act_quality == "1. Wahl"); then  
        target_position = PosA;  
    else if (act_quality == "2. Wahl"); then  
        target_position = PosB;  
    else  
        target_position = PosC;  
    endif  
    Move(PosT);  
    Grasp();  
    Move(target_position);  
    Release();  
} end while
```


Aufgabenstellung (5)

Ein autonomer, anthropomorpher Serviceroboter soll darin eingewiesen werden, einen Raum aufzuräumen. Dies beinhaltet vor allem das Umstellen von mittelgroßen (z.B. Bücher, Schuhe) und kleinen (z.B. Schreibwaren, Kabel) Gegenständen aber auch andere Aktionen, wie das Verrücken von Mülleimern, Schließen von Schranktüren usw. Es sei anzunehmen, dass der Roboter bereits eine interne, geometrische und semantische Repräsentation der wichtigen Objekte, sowie eine Karte des Raums besitzt.

Welche qualitativen Merkmale der Vorführung des Menschen müssen aufgezeichnet werden? Welche aktuell existierenden (in der Vorlesung vorgestellten) Sensorlösungen gibt es, um die Vorführung des Aufräumvorgangs durch einen Menschen aufzuzeichnen?

Der Mensch führt nun vor, wie er ein Buch von einem Tisch in ein Regal packt.

In welche Phasen kann diese Operation nun segmentiert werden?

Aufgabenstellung (5)

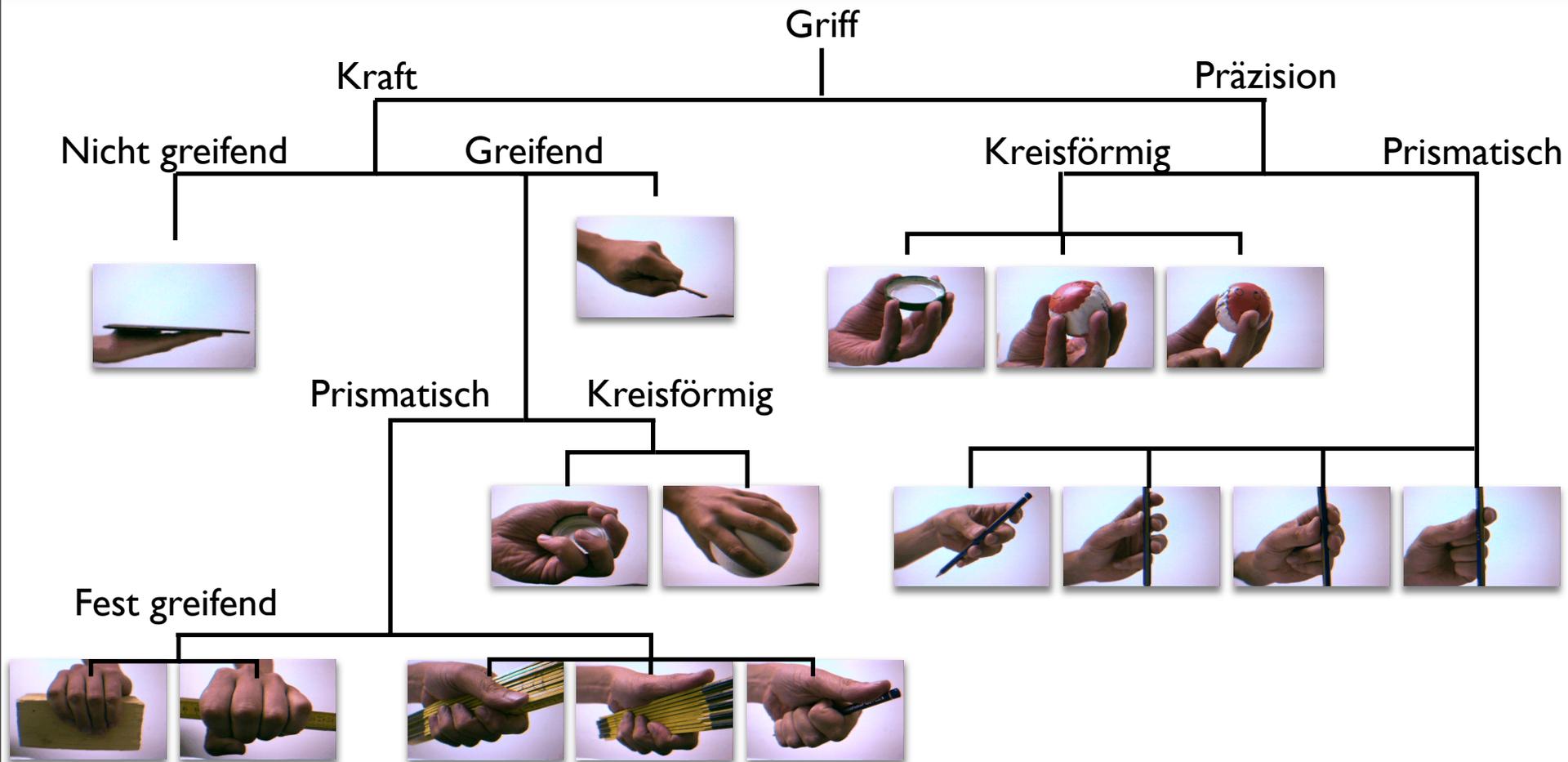
Die (in der Vorlesung vorgestellten) Sensorlösungen bieten Ansätze für die Segmentierung der verschiedenen Phasen dieser Operation. Welche Datenquellen werden dazu verwendet und welche Werte (qualitativ) nehmen sie in welchen Phasen ein?

Welches Konzept ermöglicht die Verallgemeinerung von einem Objekt auf verschiedene Objekte?

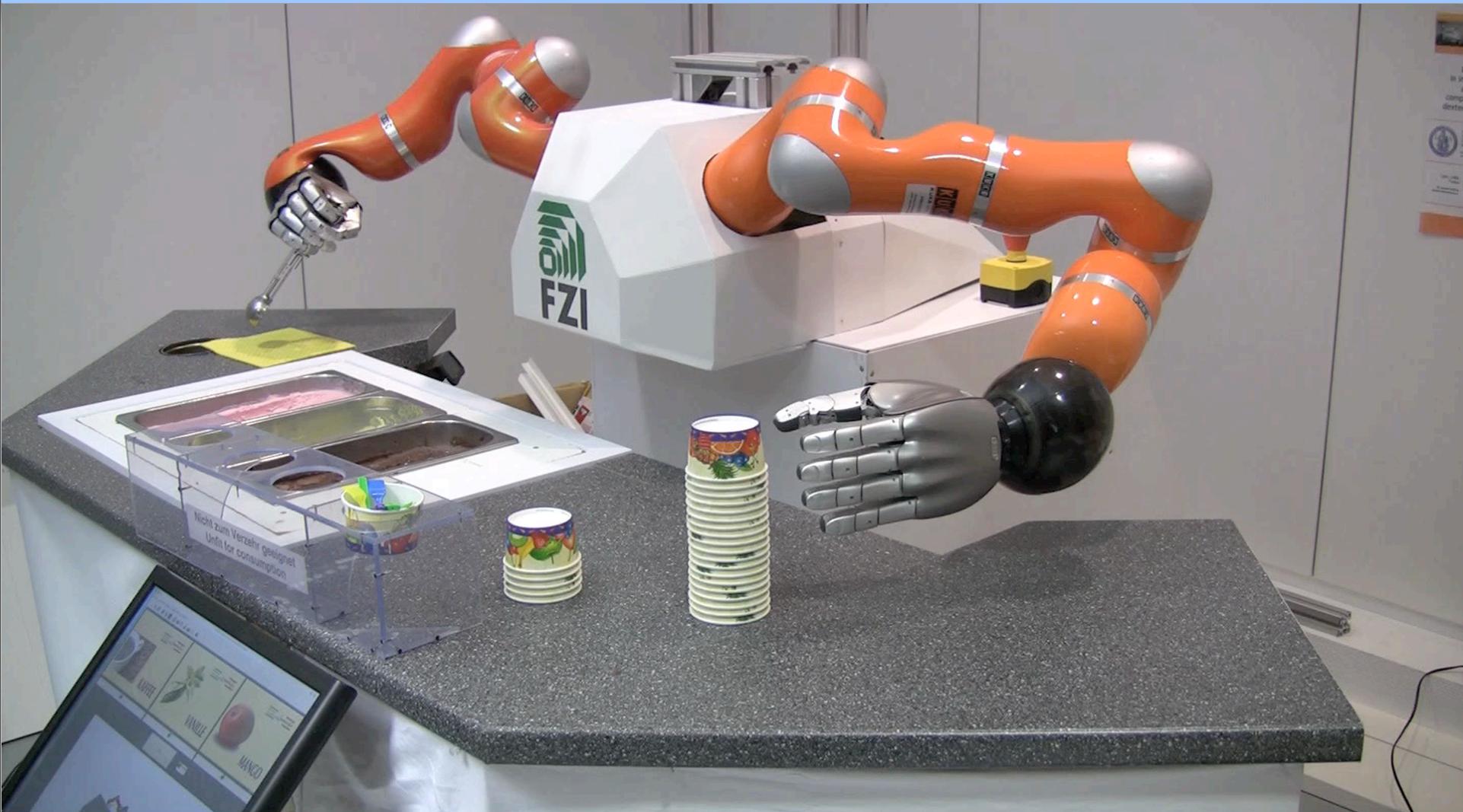
Üblicherweise hat der ausführende Roboter eine andere Kinematik und einen anderen Arbeitsraum, als der vorführende Mensch. Welche Möglichkeiten der Abstrahierung gibt es für Transportbewegungen, um die damit verbundenen Probleme zu lösen und welche zusätzlichen Fähigkeiten muss der Roboter dafür haben?

Auf die Hand bezogen kann ebenfalls eine Abstrahierung nötig sein, da heutige Roboterhände immer andere Abmessungen oder Freiheitsgrade, als die menschliche Hand besitzen. Zur Planung von Griffen auf Basis der Vorführung können demnach Griffklassen nötig sein. Mit welcher Klasse von Griffen werden Bücher gegriffen und mit welcher üblicherweise Stifte?

Cutkosky Hierarchie



AISRob



Das wars!