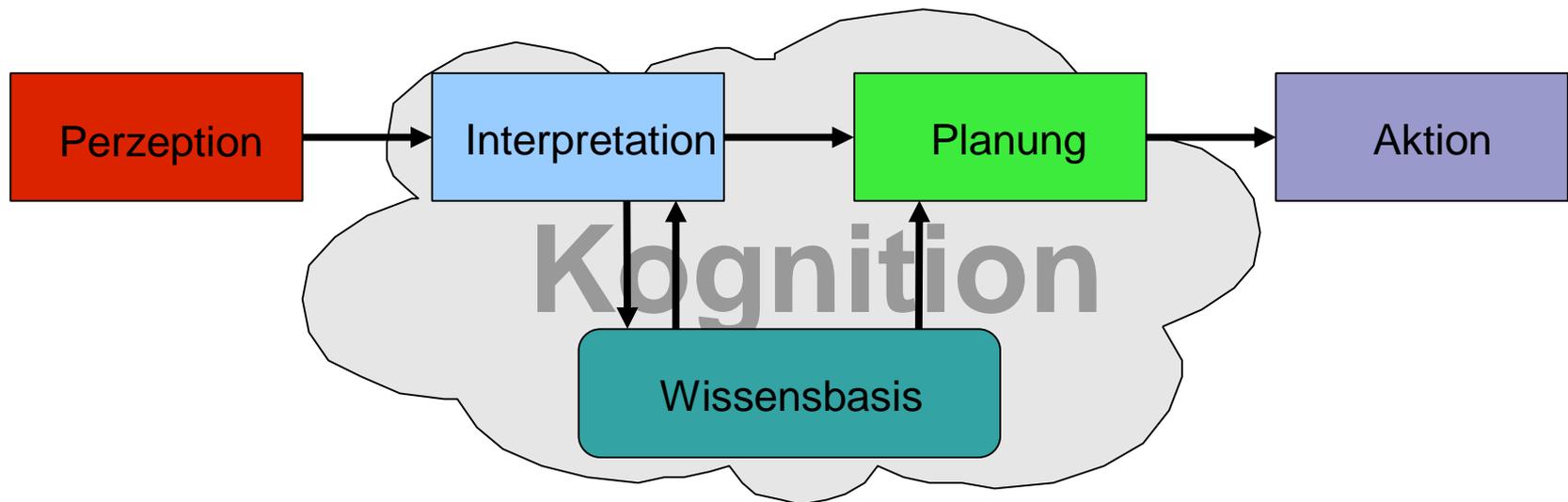


Kognitive Systeme

Robotik

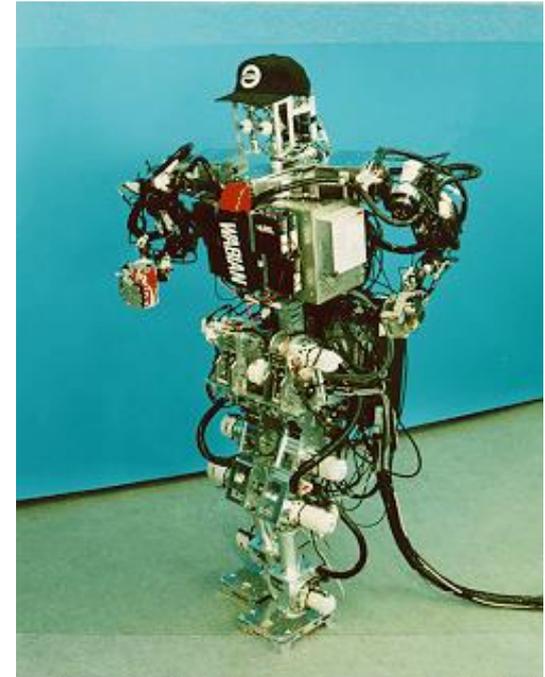
Mittwoch, 12.Juli 2017

Überblick



Aktion:

- Ausführung einer geplanten Handlung
- Ergebnis des Verarbeitungsschritts Perzeption → Kognition → Aktion
- Computersystem mit aktorischer Komponente: „*Roboter*“
 - *robot* [poln.]: Fronarbeit
 - zuerst verwendet in dem futur. Theaterstück „Rossum’s Universal Robots“ von Karel Capek



Probleme der Robotik:

- Kinematik
 - Lehre der Bewegung von Körpern
 - Wohin bewegt sich der Roboter, wenn er Gelenk a auf 45° einstellt?
 - Wie müssen die Gelenke eingestellt werden, damit sich der Roboter von A nach B bewegt?
 - Ist diese Bewegung möglich?
- Dynamik
 - Lehre von Geschwindigkeiten, Kräften, Momenten
 - Wieviel Kraft muß der Roboter aufwenden, um Gelenk a auf 45° einzustellen?
 - Welche Kräfte entstehen bei Bewegung $A \rightarrow B$?
 - Geht dabei auch nichts kaputt?
- Konfigurations-, Hindernis-, Freiraum, Kollisionsvermeidung, ...

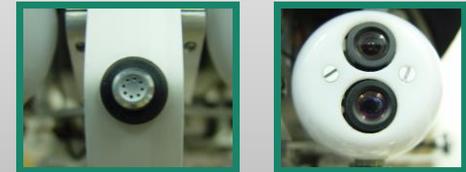
Beispiel: Roboter „ARMAR-III“

- Aus welchen Komponenten besteht ein Roboter ?

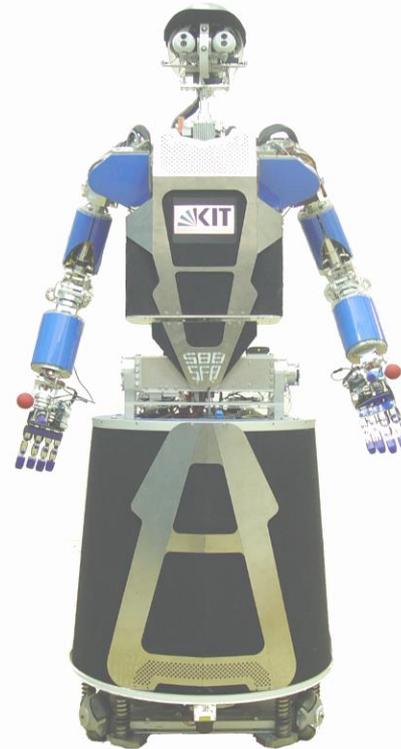
Mechanische Komponenten



Sensoren



Antriebe

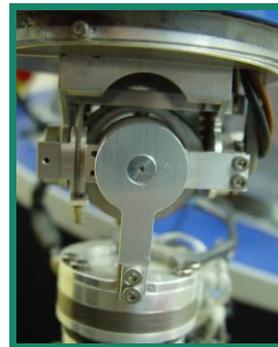


Getriebe



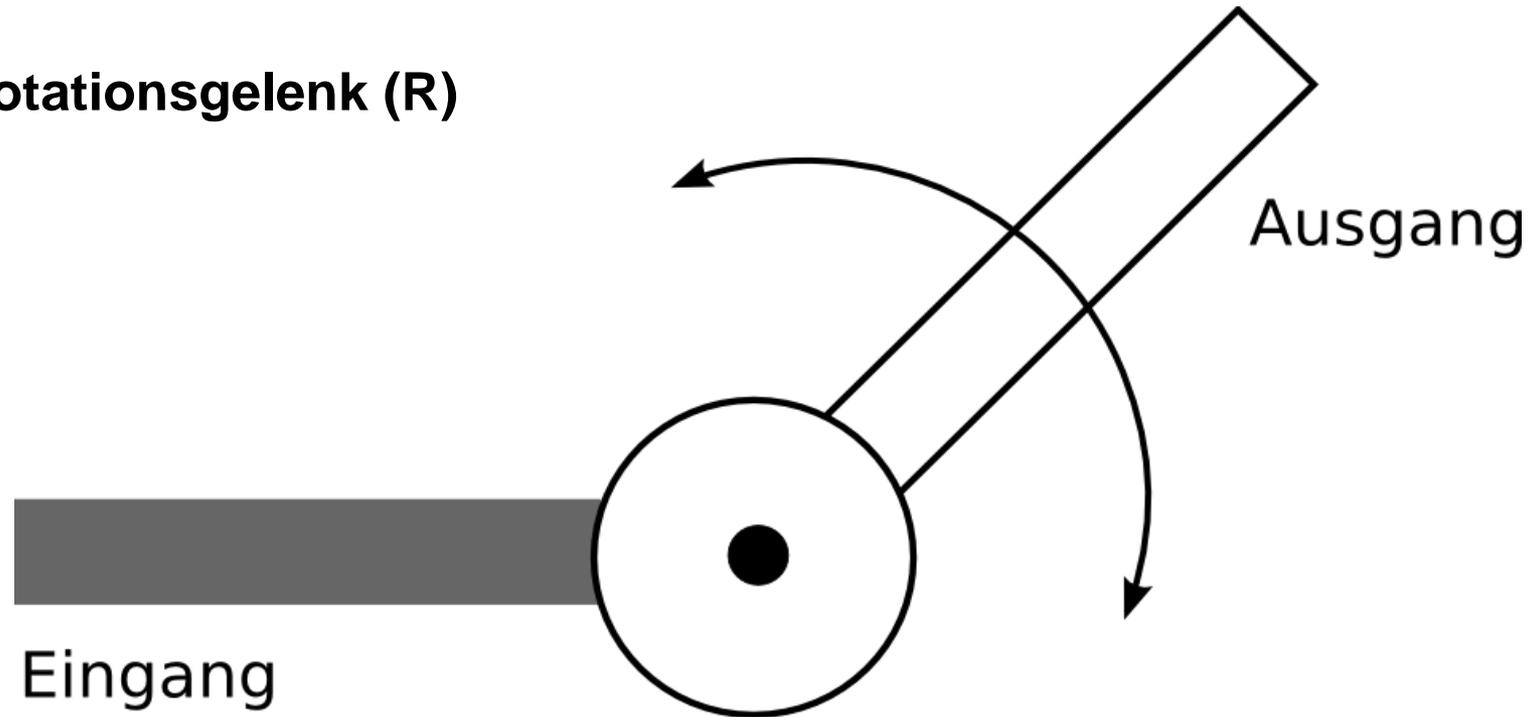
Mechatronische Komponenten

- Mechanische Komponenten
 - Gelenktypen
 - Arbeitsraum
 - Radkonfigurationen
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



Gelenktypen (1)

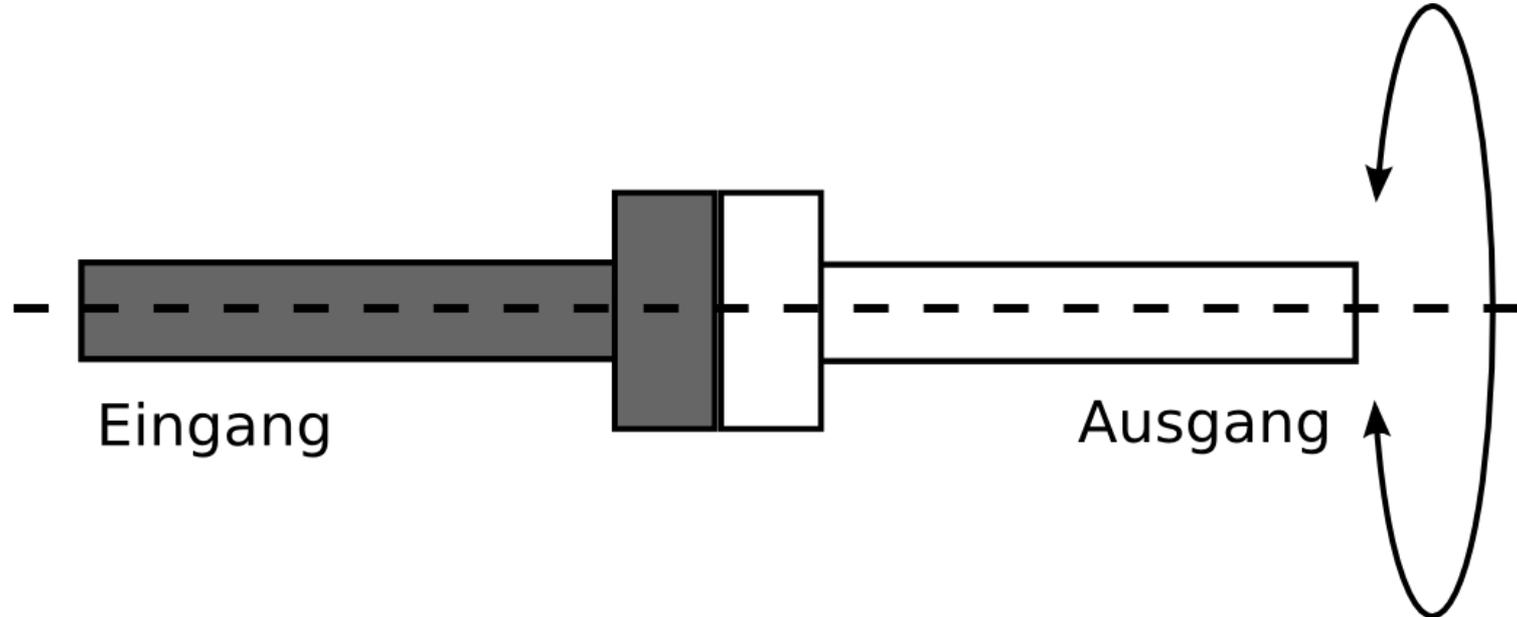
■ Rotationsgelenk (R)



- Die Drehachse bildet einen rechten Winkel mit den Achsen der beiden angeschlossenen Glieder.
- Beispiel
 - Ellbogengelenk

Gelenktypen (2)

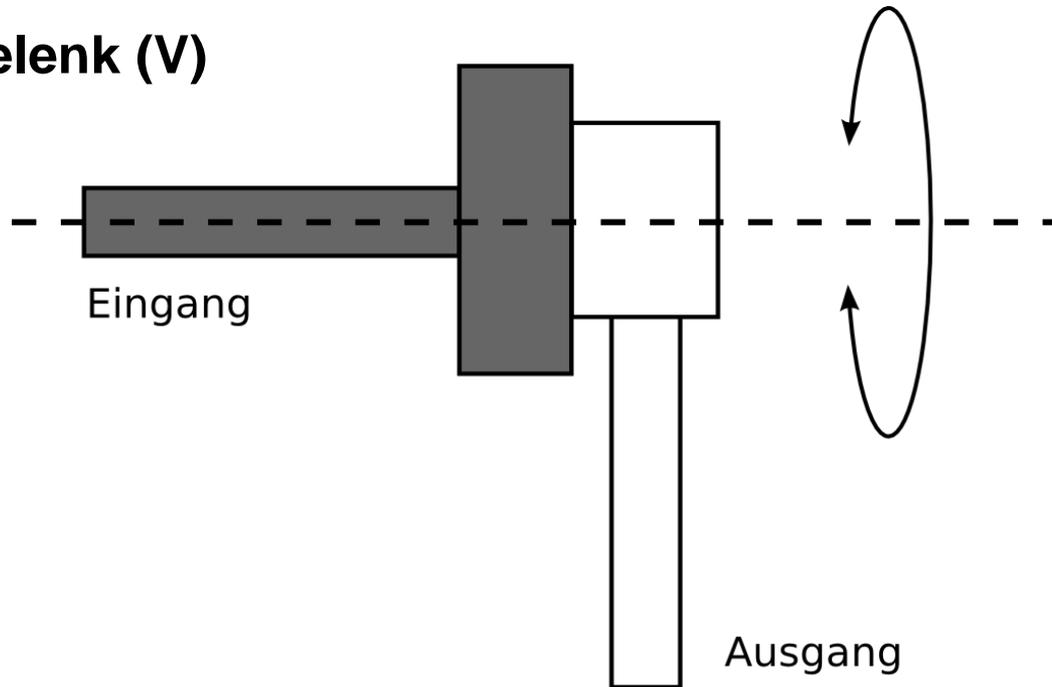
■ Torsionsgelenk (T)



- Die Drehachse des Torsionsgelenks verläuft parallel zu den Achsen der beiden Glieder.
- Beispiel
 - Unterarmdrehung

Gelenktypen (3)

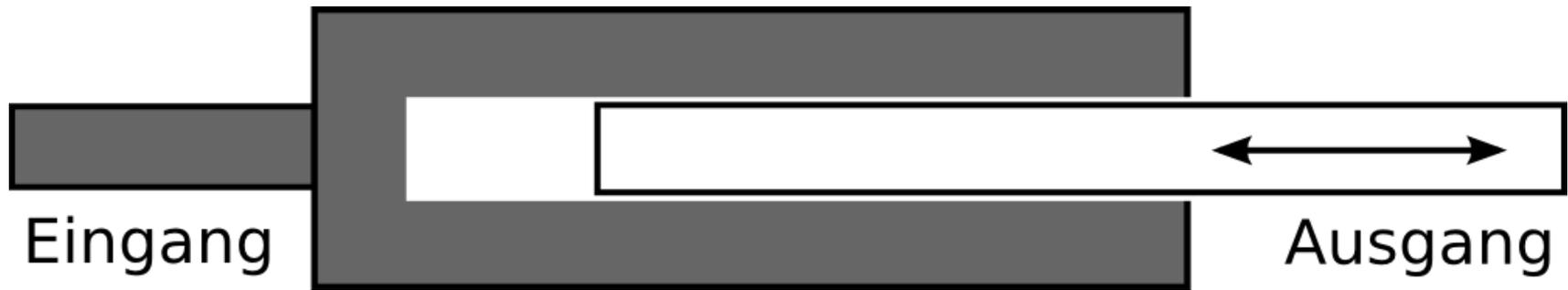
■ Revolvergelenk (V)



- Das Eingangsglied verläuft parallel zur Drehachse, das Ausgangsglied steht im rechten Winkel zur Drehachse.
- Beispiel
 - Schultergelenk (Arm nach vorne)

Gelenktypen (4)

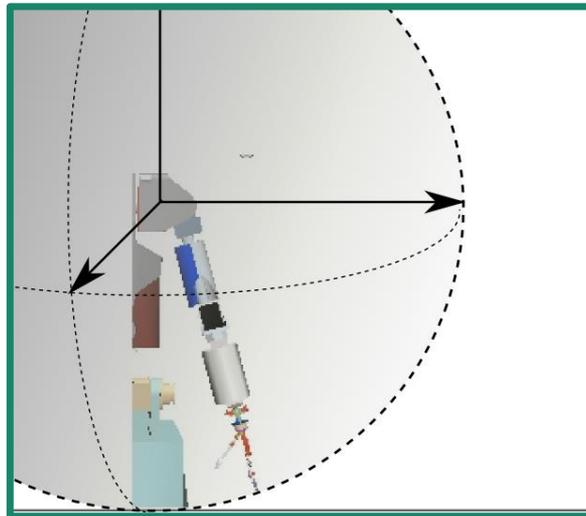
■ Lineargelenk (L)



- Lineare Gelenke bewirken eine gleitende oder fortschreitende Bewegung entlang der Achse.
- auch
 - Translationsgelenk, Schubgelenk oder prismatisches Gelenk

Konfigurationsraum

- Mechanische Komponenten
 - Gelenktypen
 - Arbeitsraum
 - Radkonfigurationen
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



Arbeitsraum (1)

■ Arbeitsraum

Der Arbeitsraum besteht aus denjenigen Punkten im 3D Raum, die von der Roboterhand angefahren werden können. Hierzu sind drei Bewegungsfreiheitsgrade für die Bewegung, also mindestens drei Gelenke erforderlich.

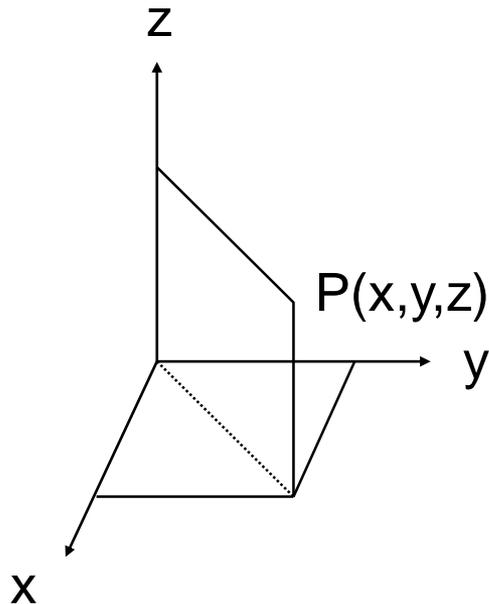
■ Grundform des Arbeitsraums

Die Grundform des Arbeitsraums ist der Arbeitsraum, der sich ergeben würde, wenn man alle möglichen Gelenkwinkel berücksichtigt.

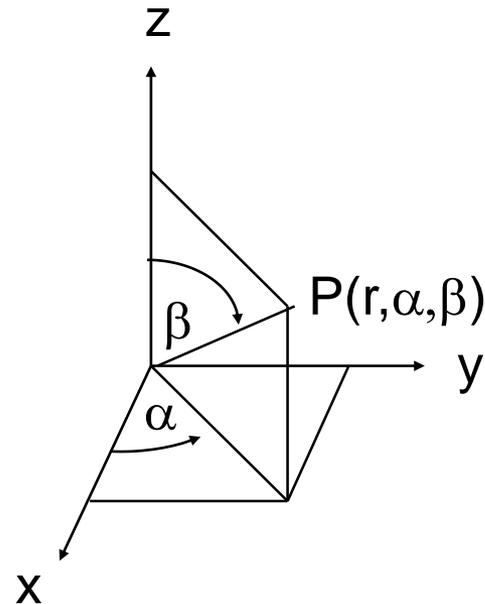
Arbeitsraum (2)

■ Räumliche Koordinatensysteme

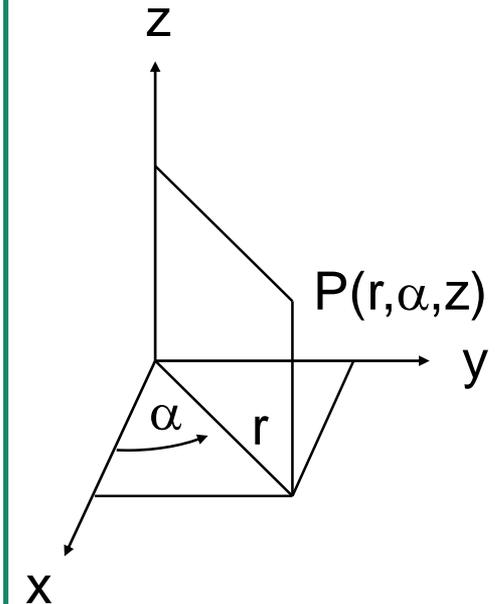
Kartesische Koordinaten



Kugelkoordinaten



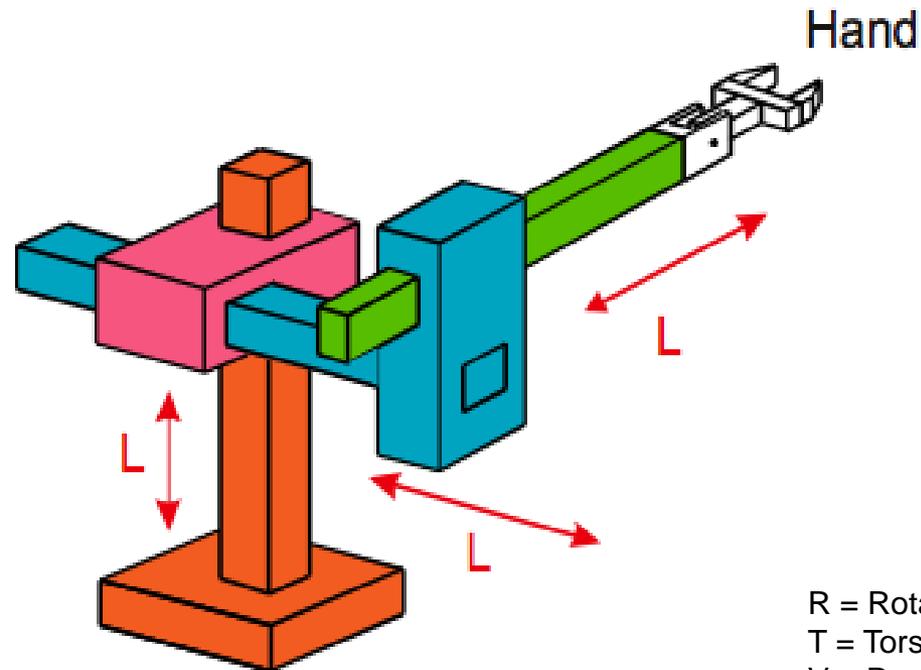
Zylinderkoordinaten



Arbeitsraum (3)

Arbeitsraum im kartesischen Koordinatensystem

■ Beispiel 1:



R = Rotationsgelenk
T = Torsionsgelenk
V = Revolvergelenk
L = Lineargelenk

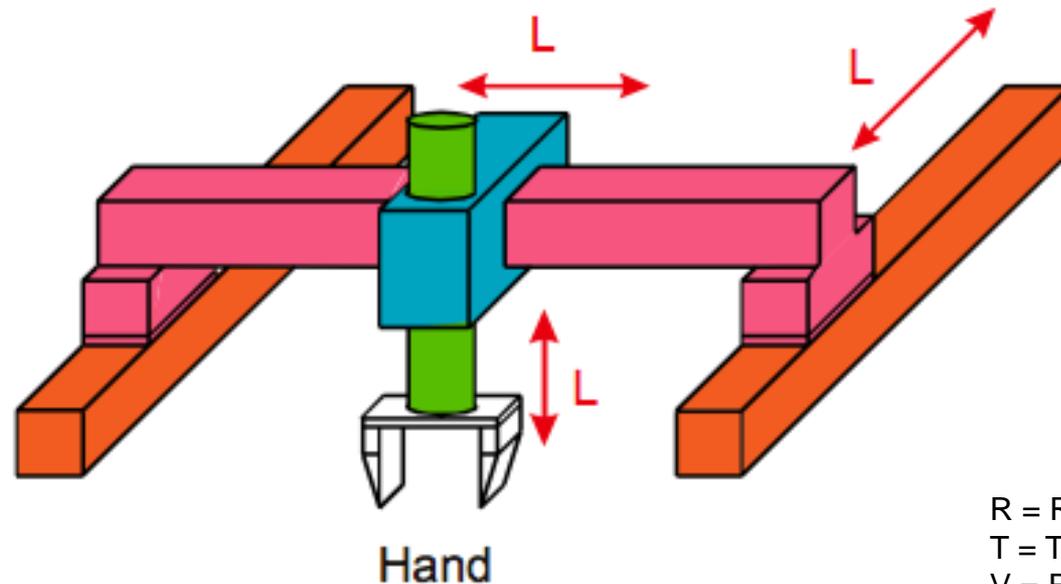
Arbeitsraum: Quader

Typ: LLL

Arbeitsraum (4)

Arbeitsraum im kartesischen Koordinatensystem

■ Beispiel 2:



R = Rotationsgelenk
 T = Torsionsgelenk
 V = Revolvergelenk
 L = Lineargelenk

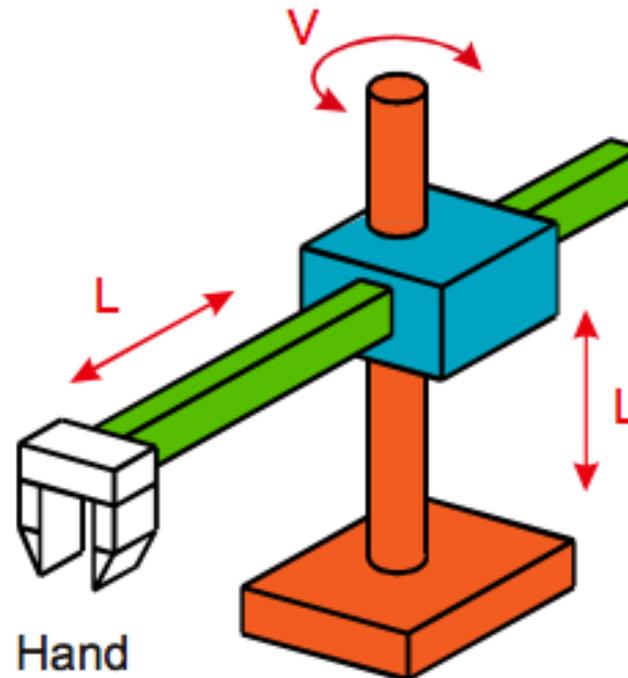
Arbeitsraum: Quader

Typ: LLL

Arbeitsraum (5)

Arbeitsraum im Zylinderkoordinatensystem

■ Beispiel 1:



R = Rotationsgelenk
 T = Torsionsgelenk
 V = Revolvergelenk
 L = Lineargelenk

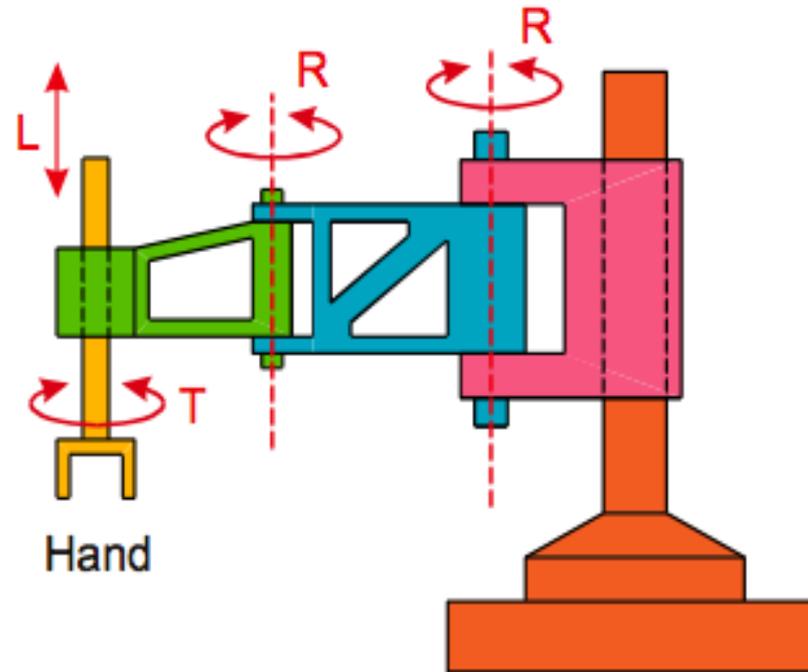
Arbeitsraum: Hohlzylinder

Typ: LVL
 Andere Typen: TLL, LTL

Arbeitsraum (6)

Arbeitsraum im Zylinderkoordinatensystem

- Beispiel 2: Roboter vom Typ „SCARA“



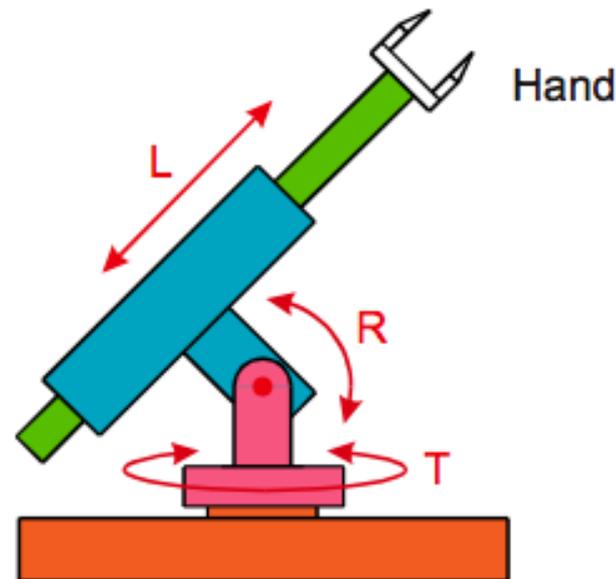
Arbeitsraum: Hohlzylinder

Typ: RRLT

Arbeitsraum (7)

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

■ Beispiel 1:



R = Rotationsgelenk
T = Torsionsgelenk
V = Revolvergelenk
L = Lineargelenk

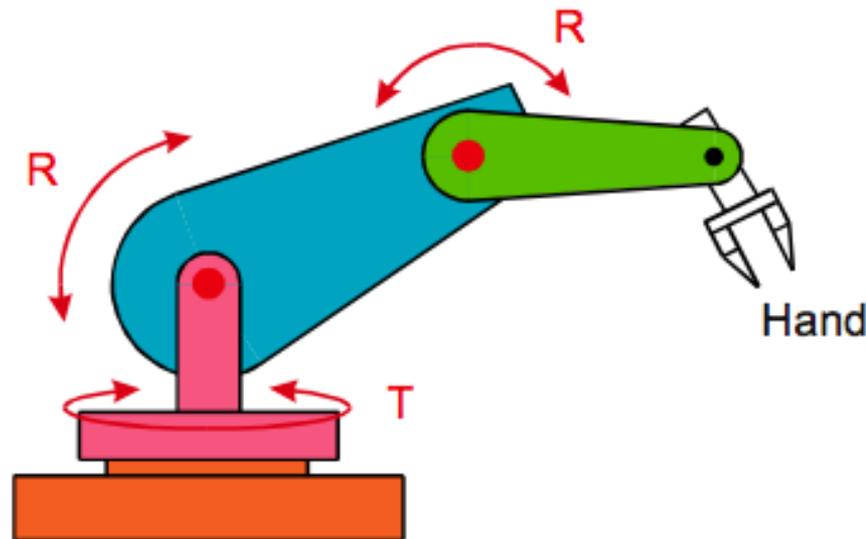
Arbeitsraum: Hohlkugel

Typ: TRL

Arbeitsraum (8)

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

■ Beispiel 2: Gelenkarm-Roboter



R = Rotationsgelenk
 T = Torsionsgelenk
 V = Revolvergelenk
 L = Lineargelenk

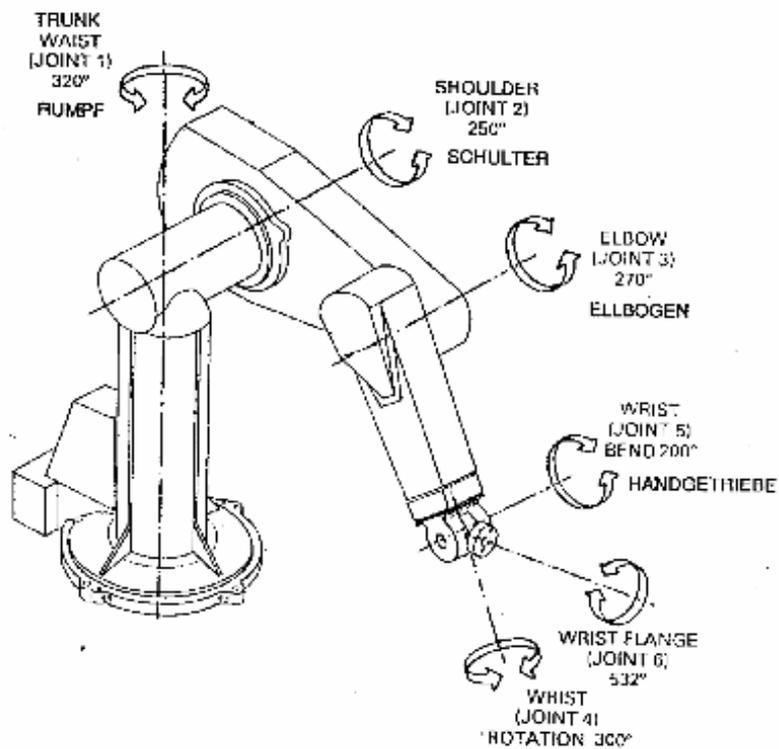
Arbeitsraum: Hohlkugel

Typ: TRR
 Andere Typen: VVR

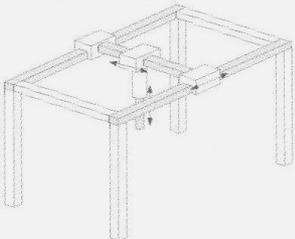
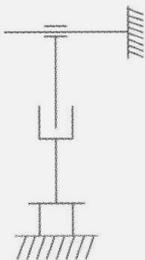
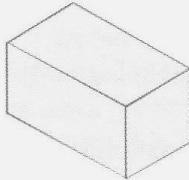
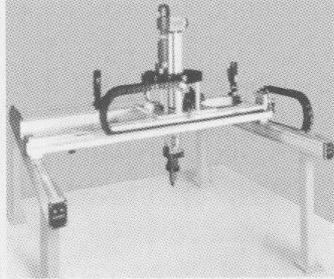
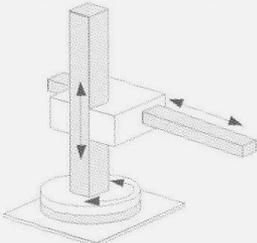
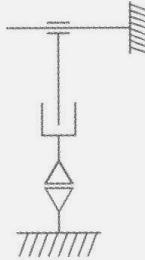
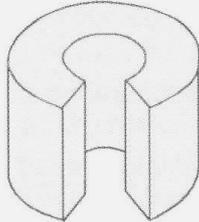
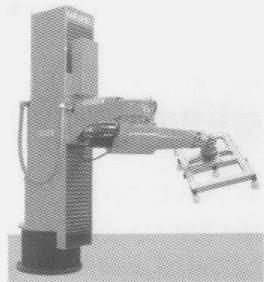
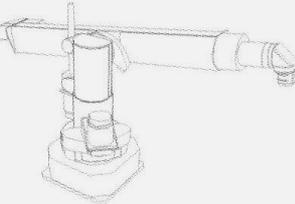
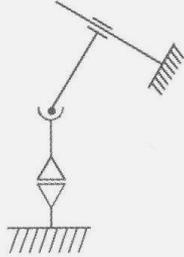
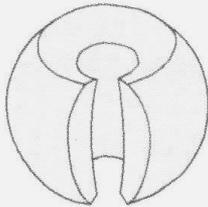
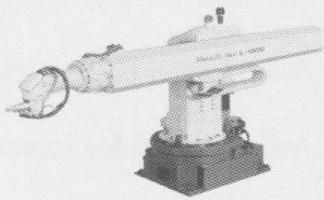
Arbeitsraum (9)

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

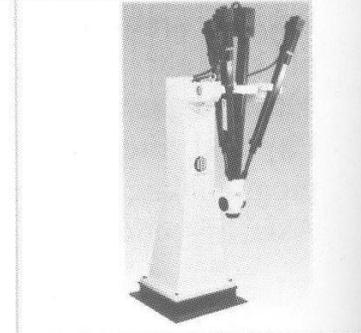
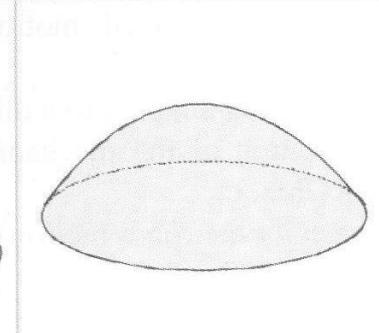
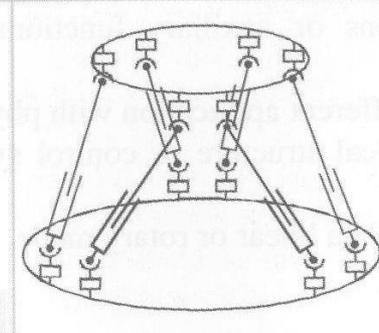
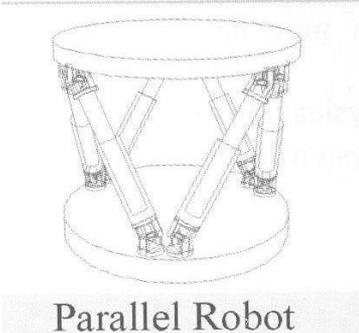
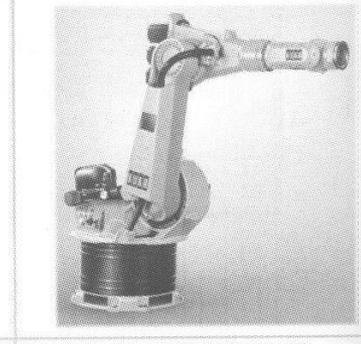
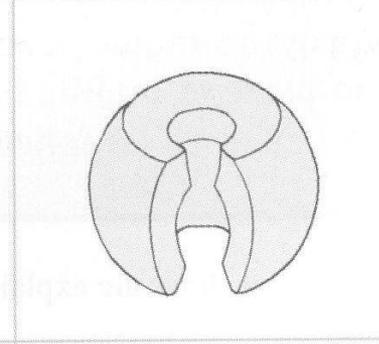
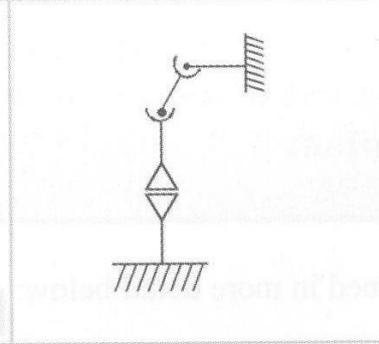
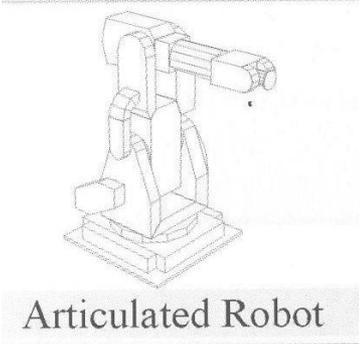
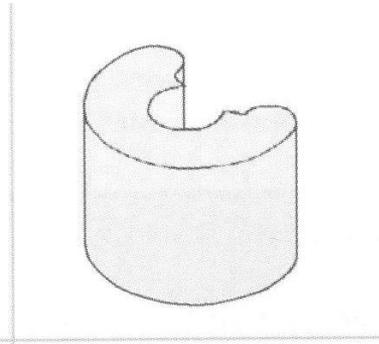
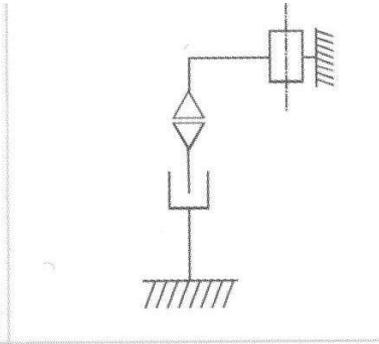
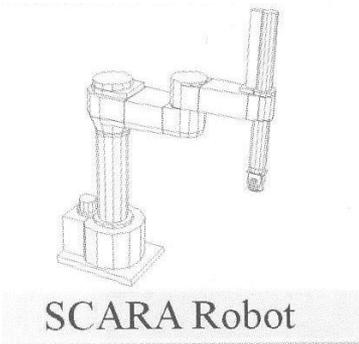
■ Roboter vom Typ „PUMA“



Beispiele für Arbeitsräume (1)

Robot	Axes		Examples
Principle	Kinematic Structure	Workspace	Photo
 Cartesian Robot			
 Cylindrical Robot			
 Spherical Robot			

Beispiele für Arbeitsräume (2)

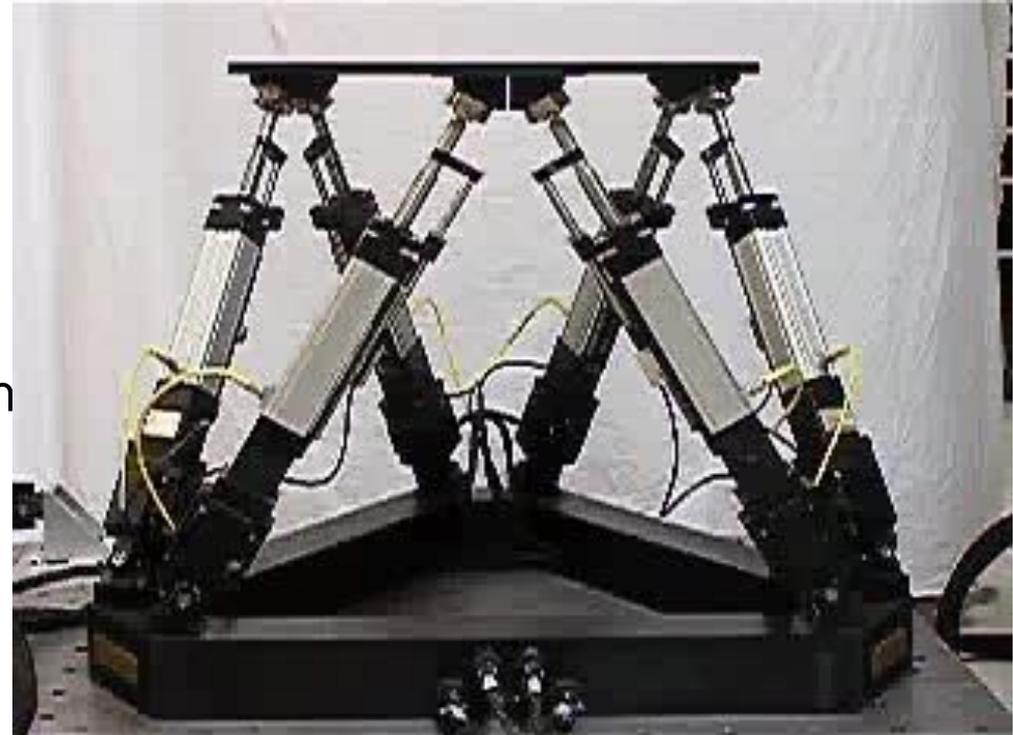


Paralleler Roboter

Stewart-Plattform

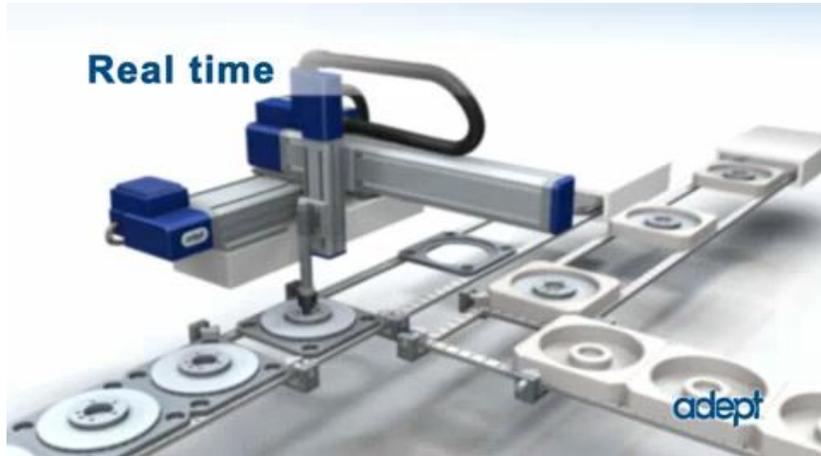
- 6 Freiheitsgrade
 - 3 rotatorisch
 - 3 translatorisch

- Anwendungsfelder:
 - Fahr- und Flugsimulatoren
 - Krantechnologie
 - Medizin
 - Teleskope



Kommerzielle Robotertypen

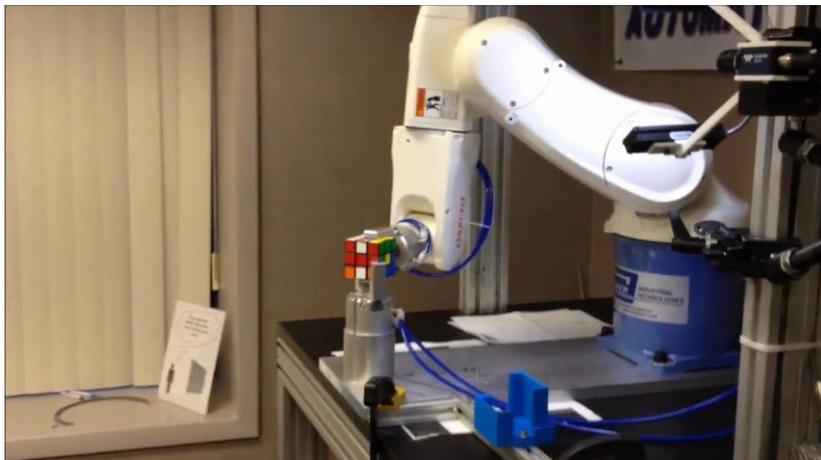
Linear



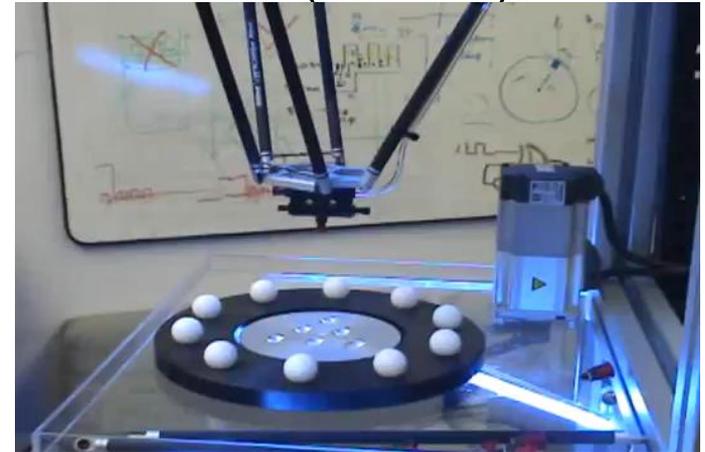
SCARA



Knickarm

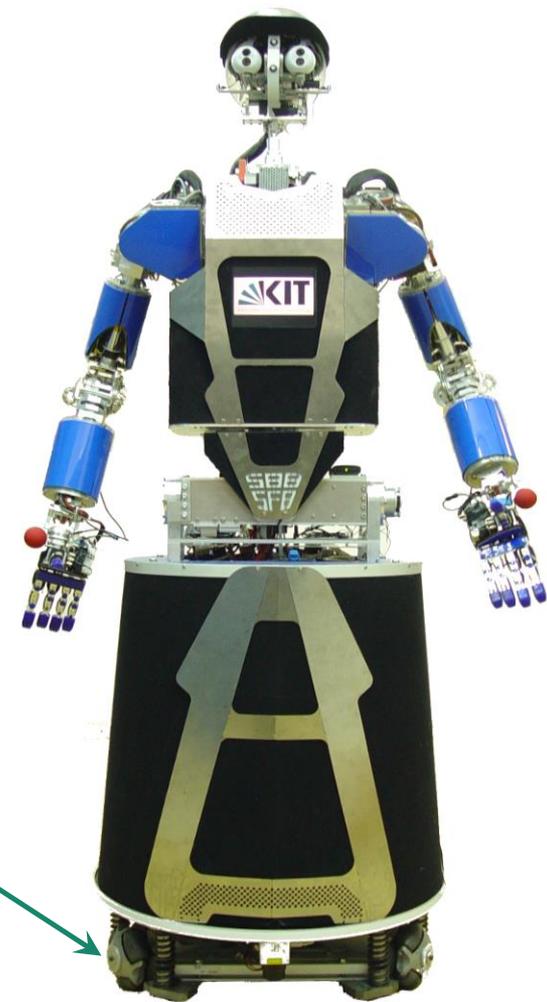
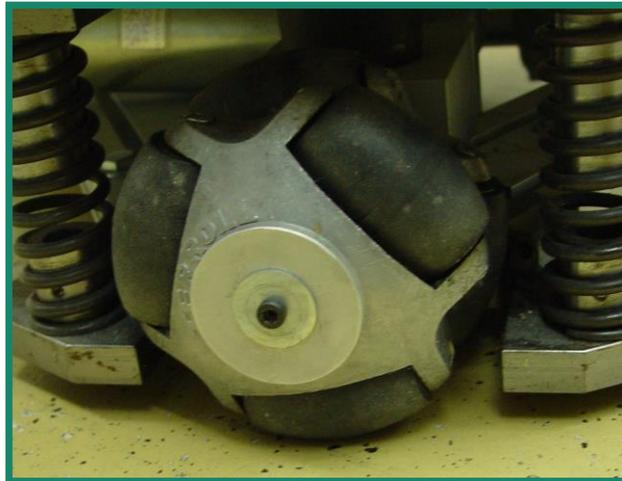


Delta (Parallel)



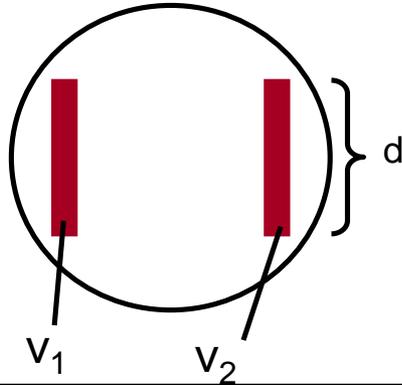
Mobile Systeme, Lokomotion

- Mechanische Komponenten
 - Gelenktypen
 - Arbeitsraum
 - Radkonfigurationen
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren

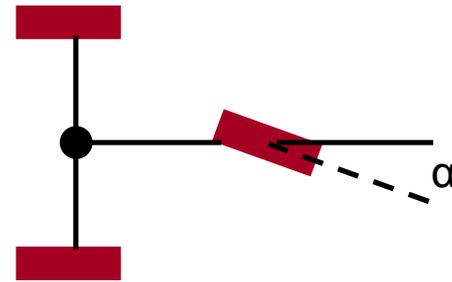


Radkonfigurationen (1) - Übersicht

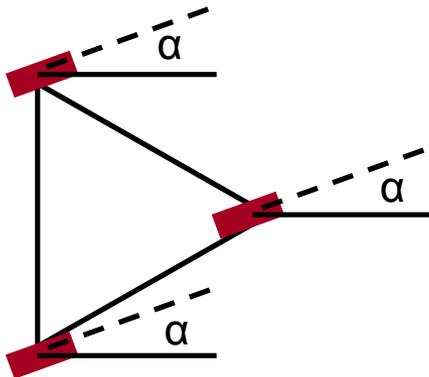
Differentialantrieb



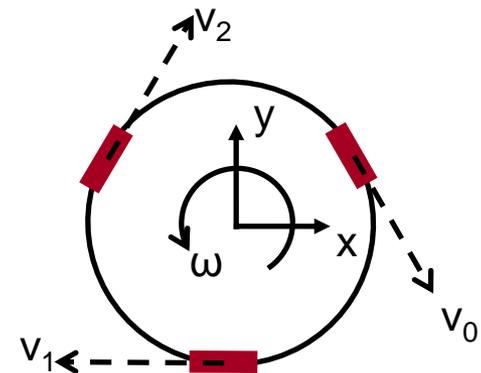
Dreirad-Antrieb



Synchro-Antrieb



Mecanum-Antrieb



Radkonfigurationen (2)

Differentialantrieb

■ Eigenschaften

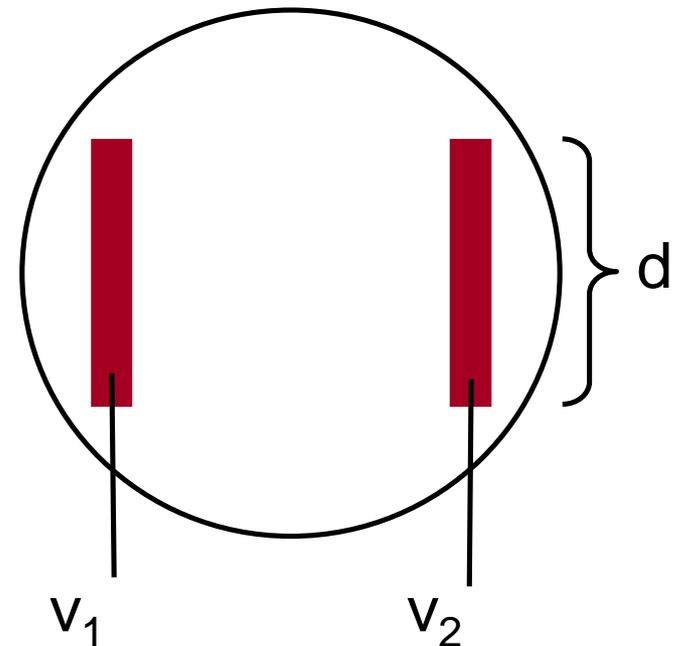
- Geradeaus- und Kurvenfahrten
- Drehen auf der Stelle
- Vorwärts- und Rückwärtsfahrten identisch

■ Vorteile

- einfache Mechanik

■ Nachteile

- Radregelung in Echtzeit



Radkonfigurationen (3)

Synchro-Drive

■ Eigenschaften

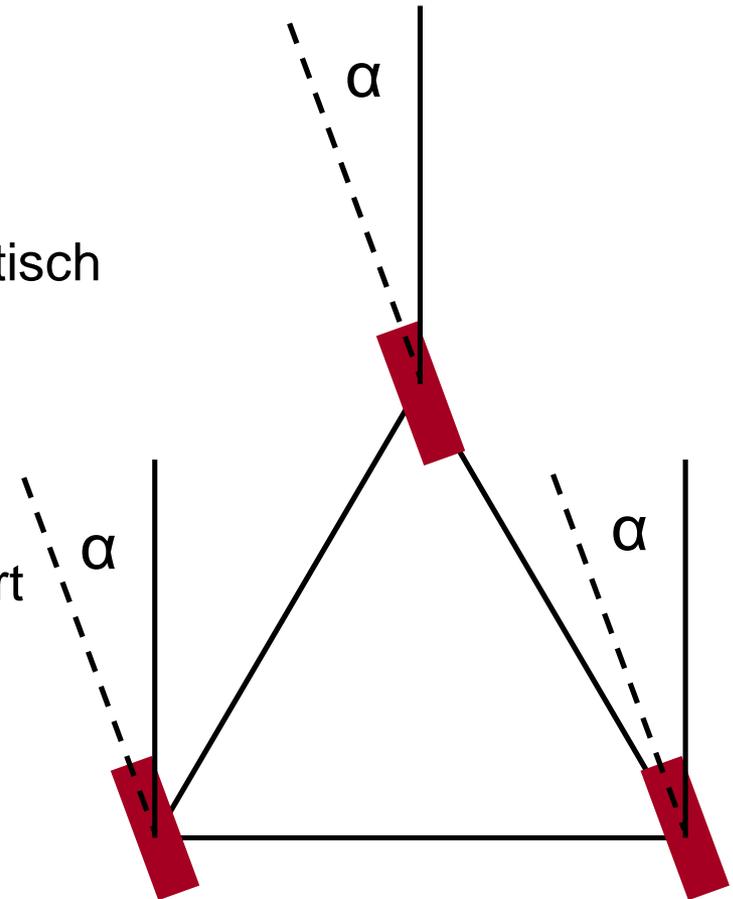
- Geradeaus- und Kurvenfahrten
- Vorwärts- und Rückwärtsfahrten identisch
- Plattform dreht nicht mit

■ Vorteile

- Einfache Regelung
- Geradeausfahrt mechanisch garantiert

■ Nachteile

- Mechanische Komplexität



Radkonfigurationen (4)

Dreirad-Antrieb

■ Eigenschaften

- Geradeaus- und Kurvenfahrten
- Vorwärts- und Rückwärtsfahrten unterschiedlich

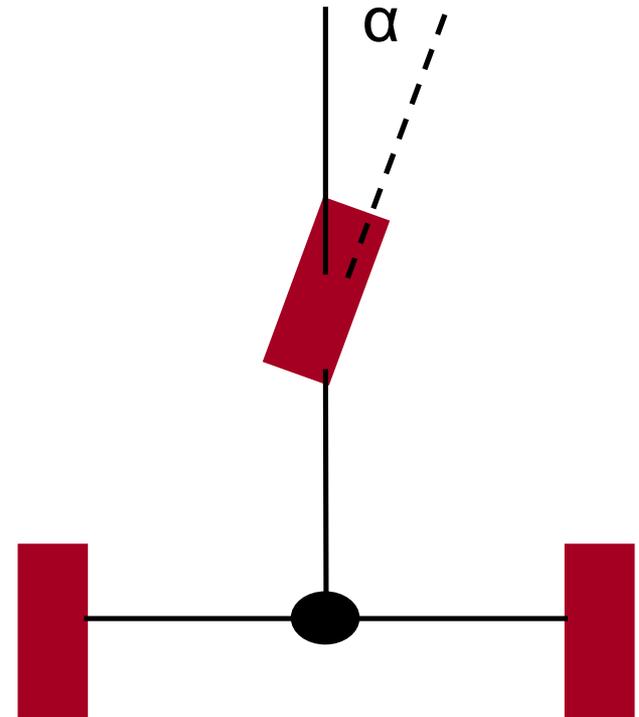
(Anmerkung: Für das Abfahren der selben Trajektorie sind für die Vorwärts- / Rückwärtsfahrt unterschiedliche Stellsignale $\alpha(t)$ zu verwenden.)

■ Vorteile

- Einfache Mechanik

■ Nachteile

- Eingeschränkte Manövrierfähigkeit



Radkonfigurationen (5)

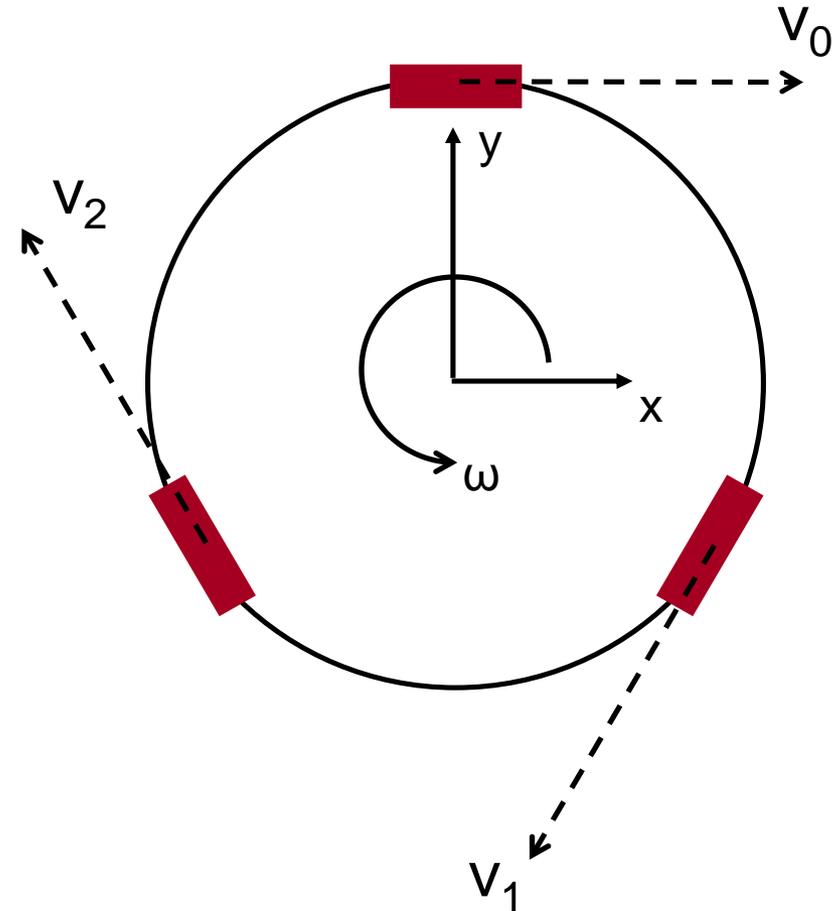
Mecanum-Antrieb

■ Eigenschaften / Vorteile

- Uneingeschränkte Beweglichkeit in Richtungen x , y und ω

■ Nachteile

- Mechanische Komplexität
- Aufwendige Regelung



Mecanum-Antrieb (1)



Mecanum-Antrieb (2)



Aktuatoren

- Mechanische Komponenten
- Antriebe
 - Fluidische Antriebe (Hydraulik, Pneumatik)
 - Muskelartige Antriebe
 - Elektrische Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



Fluidischer Antrieb (1)

Linearantrieb

■ Kolbengeschwindigkeit

$$v(t) = f(t) / A$$

mit

$f(t)$: Fließgeschwindigkeit des Mediums (Volumen pro Zeit)

A : Grundfläche des Kolbens

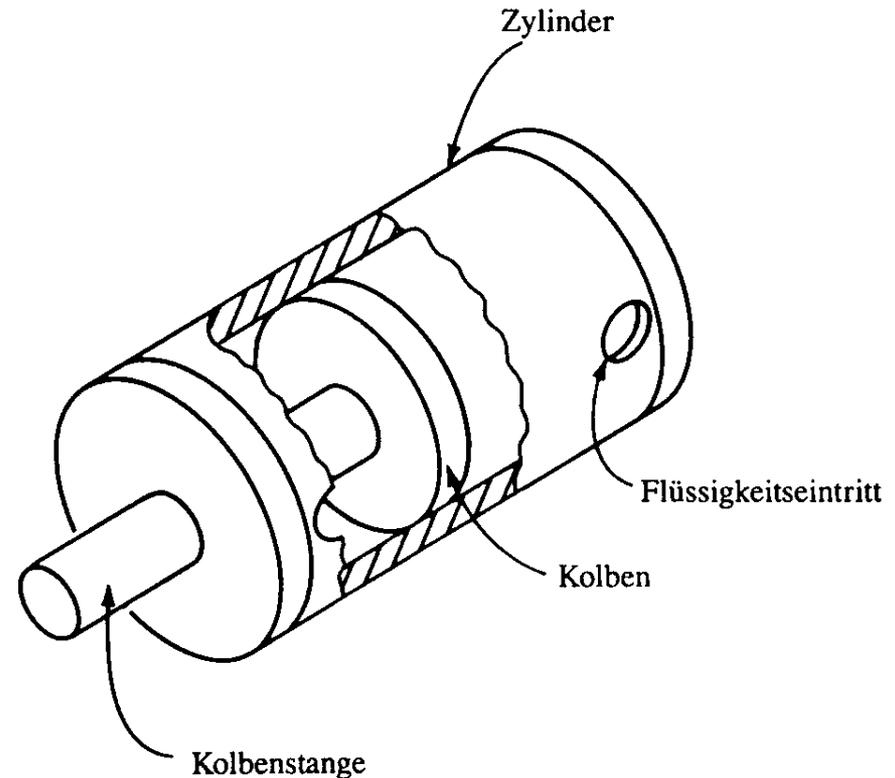
■ Kolbenkraft $F(t)$

$$F(t) = P(t) A$$

mit

$P(t)$: Druck des Mediums

A : Grundfläche des Kolbens



Fluidischer Antrieb (2)

Schaufelrad

- Winkelgeschwindigkeit des Kolbens

$$W(t) = 2 f(t) / ((R^2 - r^2)h)$$

mit

$f(t)$: Fließgeschwindigkeit des Mediums (Volumen pro Zeit)

h : Höhe des Schaufelrades

h : innerer Radius des Schaufelrades

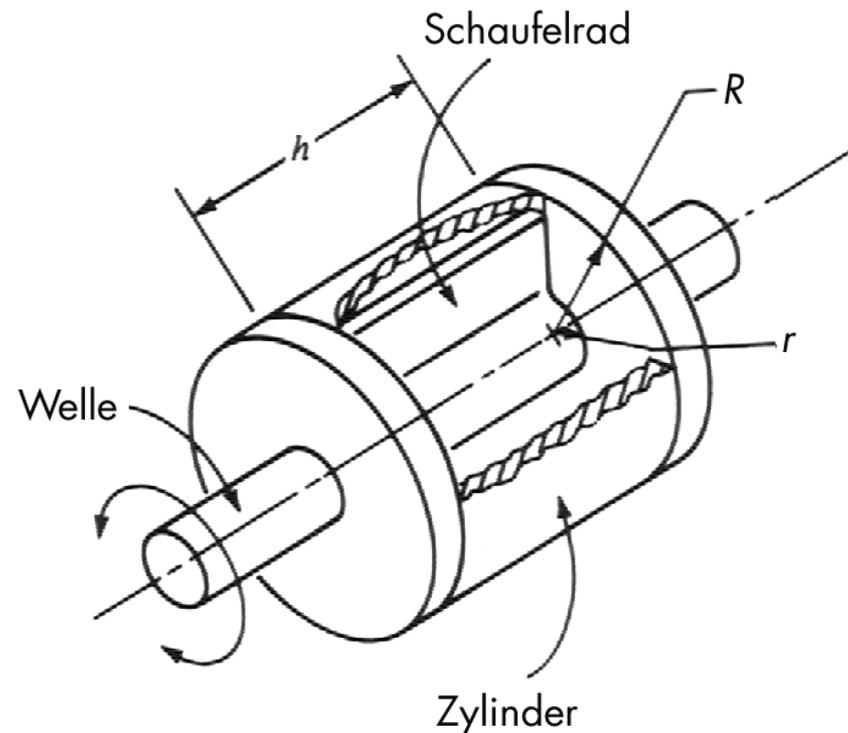
h : äußerer Radius des Schaufelrades

- Drehmoment des Kolbens $T(t)$

$$T(t) = 0.5 P(t) h(R - r) (R + r)$$

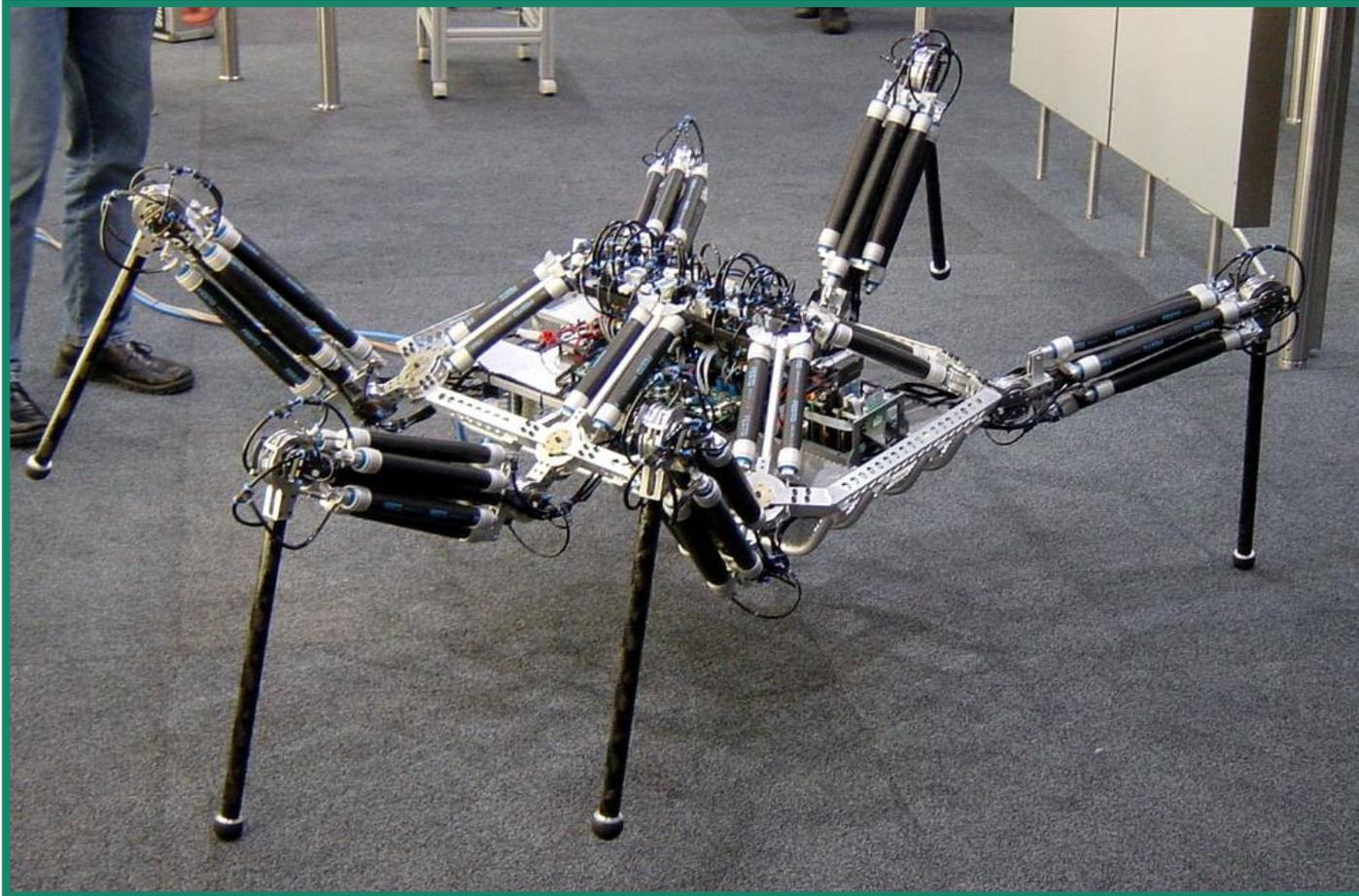
mit

$P(t)$: Druck des Mediums



Muskelartiger Antrieb (1)

- Beispiel: Pneumatischer Antrieb am Roboter Airbug



Muskelartiger Antrieb (2)

Pneumatischer Antrieb

- **Stellenergie:** Komprimierte Luft bewegt Kolben, kein Getriebe
- **Vorteile:** billig, einfacher Aufbau, schnelle Reaktionszeit, auch in ungünstigen Umgebungen brauchbar
- **Nachteile:** laut, keine Steuerung der Geschwindigkeit bei der Bewegung, nur Punkt-zu-Punkt-Betrieb, schlechte Positioniergenauigkeit, da Luft kompressibel ist
- **Einsatz:** kleinere Roboter mit schnellen Arbeitszyklen und wenig Kraft, beispielsweise zur Palettierung kleinerer Werkstücke

Muskelartiger Antrieb (3)

Hydraulischer Antrieb

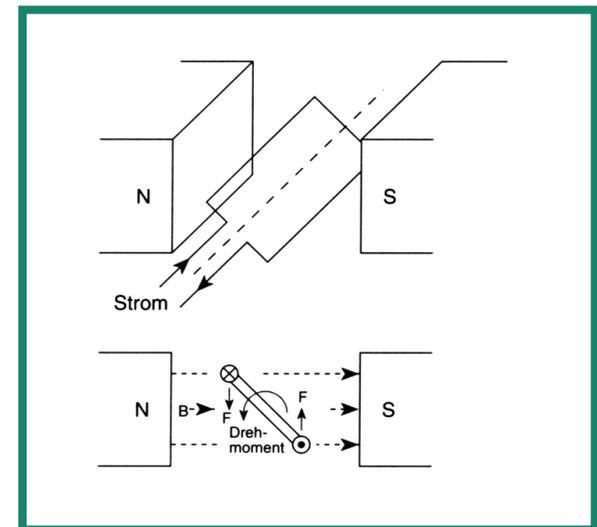
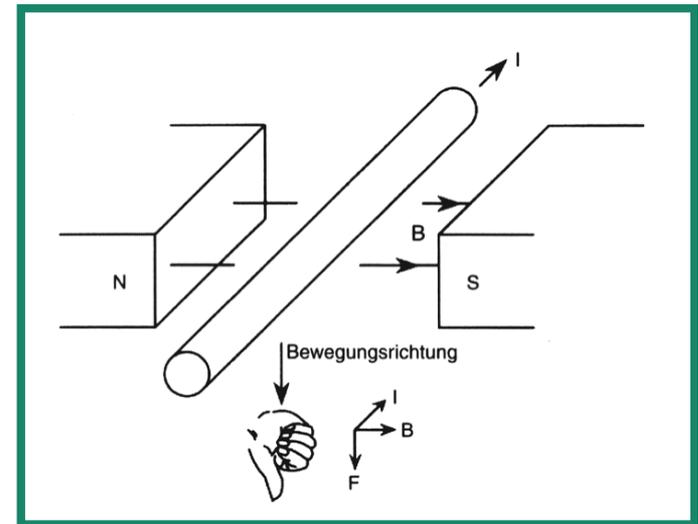
- Stellenergie: Öldruckpumpe und steuerbare Ventile
- Vorteile: sehr große Kräfte, mittlere Geschwindigkeit
- Nachteile: laut, zusätzlicher Platz für Hydraulik, Ölverlust führt zu Verunreinigung, Ölviskosität erlaubt keine guten Reaktionszeiten und keine hohen Positionier- und Wiederholgenauigkeiten
- Einsatz: große Roboter, beispielsweise zum Schweißen

Elektrischer Antrieb (1)

- **Stellenergie:** Schritt- oder Servomotoren
- **Vorteile:** wenig Platzbedarf, kompakt, ruhig, gute Regelbarkeit der Drehzahl und des Drehmoments, hohe Positionier- und Wiederholgenauigkeit, daher auch Abfahren von Flächen oder gekrümmten Bahnen präzise möglich
- **Nachteile:** wenig Kraft, keine hohen Geschwindigkeiten
- **Einsatz:** kleinere Roboter für Präzisionsarbeiten, beispielsweise zur Leiterplattenbestückung

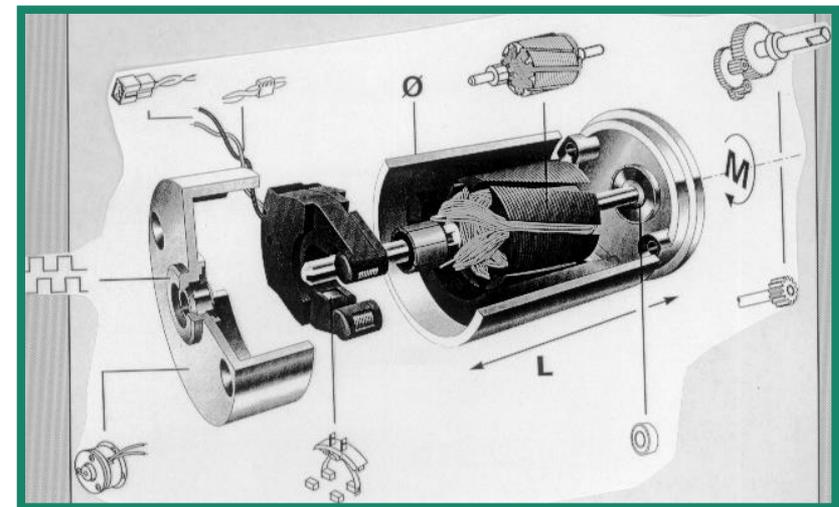
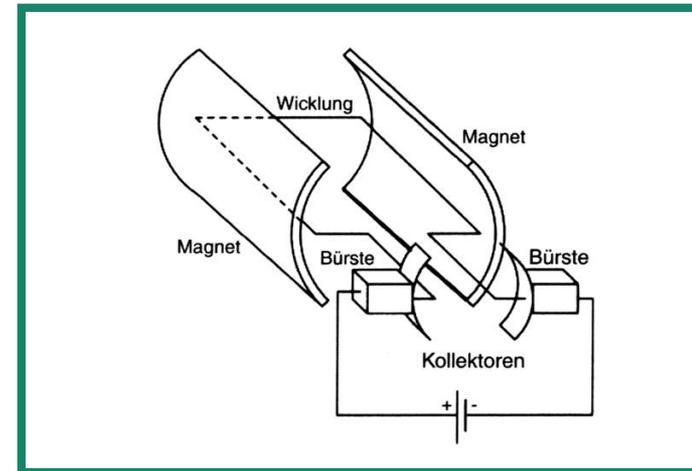
Funktionsweise Elektromotor (1)

- Umwandlung elektrische in mechanische Energie
- stromdurchflossener Leiter wird im Magnetfeld abgelenkt
- Kraft ist proportional zum Strom und zur Magnetfeldstärke



Funktionsweise Elektromotor (2)

- für Drehbewegung muss Polarität gewechselt werden
- Polaritätswechsel mechanisch (oder Wechselstrom)
- Eisenkerne bündeln das Magnetfeld



DC-Motor von Faulhaber

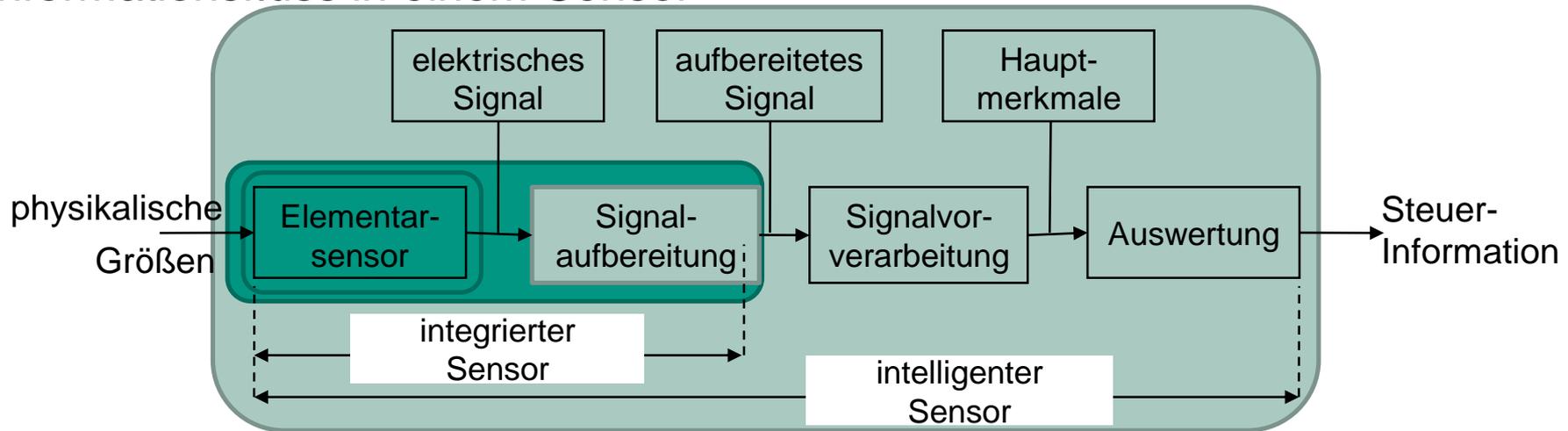
Sensoren (1)

Sensor (lat.: Sensus = Sinn)

- System zur Umwandlung physikalischer Größen und deren Änderung in geeignete elektronische Signale
- Einsatz in Systemen, in denen der Zeitverlauf der Störgröße unbekannt ist (Regelung)

Sensoren (2)

Informationsfluss in einem Sensor



- **Elementarsensor**
 - Aufnahme einer Messgröße und Abbildung auf Signal
- **Integrierter Sensor**
 - zusätzliche Signalaufbereitung: Verstärkung, Filterung, Linearisierung, Normierung
- **Intelligenter Sensor**
 - integrierter Sensor mit rechnergesteuerter Auswertung, Ausgang: verarbeitete Größe, Bsp.: Mustererkenner

Sensoren (3)

Anforderung an die Sensorik:

- Genauigkeit
- Präzision
- Betriebsbereich
- Antwortgeschwindigkeit
- Kalibrierung
- Zuverlässigkeit
- Kosten
- Installationsaufwand

Wahl eines Sensors ausgehend von Aufgabenstellung und Integrationsort

Sensoren (4)

Problemstellungen

■ Ziel

- Erfassung der Umwelt in nicht fest definierten oder sich verändernden Umgebungen

■ Probleme

- Signalverarbeitung
- Sensorik liefert nur partielle Information: Wahl der Sensorik
- Verwendung mehrerer Sensortypen in Multisensorsystemen: Fusion der Messwerte
- Modellierung: Abstraktionsstufen des Umweltmodells

Sensoren (5) - Klassifizierung

Interne Sensoren

- Kein „Kontakt“ zur Umwelt
- Bestimmung von Lage und Position durch Neigung, Orientierung, Drehrichtung, Beschleunigung, Lenkwinkel

Externe Sensoren

- Information aus der Umwelt
- Bestimmung von Position und Orientierung in Bezug auf Umwelt, Beschaffenheit der Umwelt, Kommandos

Aktive Sensoren

- Simulation der Umwelt durch Eintrag von Energie, Messen und Auswerten der Antwort

Passive Sensoren

- Umwelt vorhandene Signale werden gemessen und ausgewertet

Sensoren (6)

Aufgaben

- Interne Sensoren
 - Stellung der Gelenke
 - Geschwindigkeit, mit der sich Gelenke bewegen
 - Kräfte und Momente, die auf die Gelenke einwirken

- Externe Sensoren
 - Entfernungen
 - Lage von Positioniermarken und Objekten
 - Kontur von Objekten
 - Pixelbilder der Umwelt (CCD-Kamera)

Sensoren (7) - Beispiele

■ Interne Sensoren

- Encoder (inkrementell u. absolut)
- Tachogenerator
- Strom, Spannung, Temperatur, Feuchtigkeit
- Kräfte
- Neigungsmesser
- Orientierungsmesser
- Beschleunigungsmesser
- Inertialsystem

■ Externe Sensoren

- Aktive Sensoren
 - Ultraschall
 - Infrarot
 - Laser-Entfernungsmesser
 - Lichtschnittverfahren
- Passive Sensoren
 - Tastsensoren
 - Photodetektoren
 - Kameras
 - Mikrophone

Sensoren (3)

Anforderung an die Sensorik:

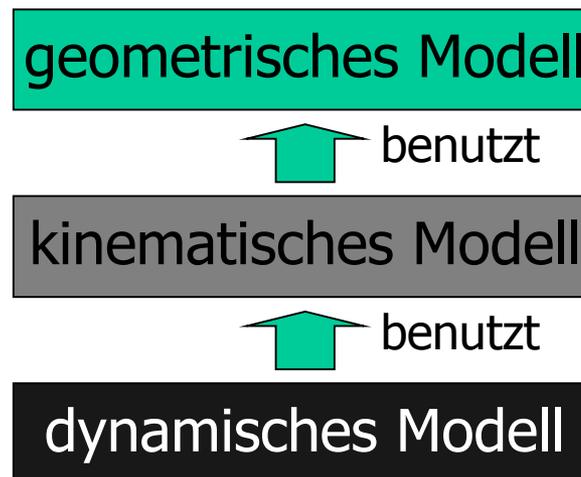
- Genauigkeit
- Präzision
- Betriebsbereich
- Antwortgeschwindigkeit
- Kalibrierung
- Zuverlässigkeit
- Kosten
- Installationsaufwand

Wahl eines Sensors ausgehend von Aufgabenstellung und Integrationsort

Zum Lösen der Probleme der Robotik

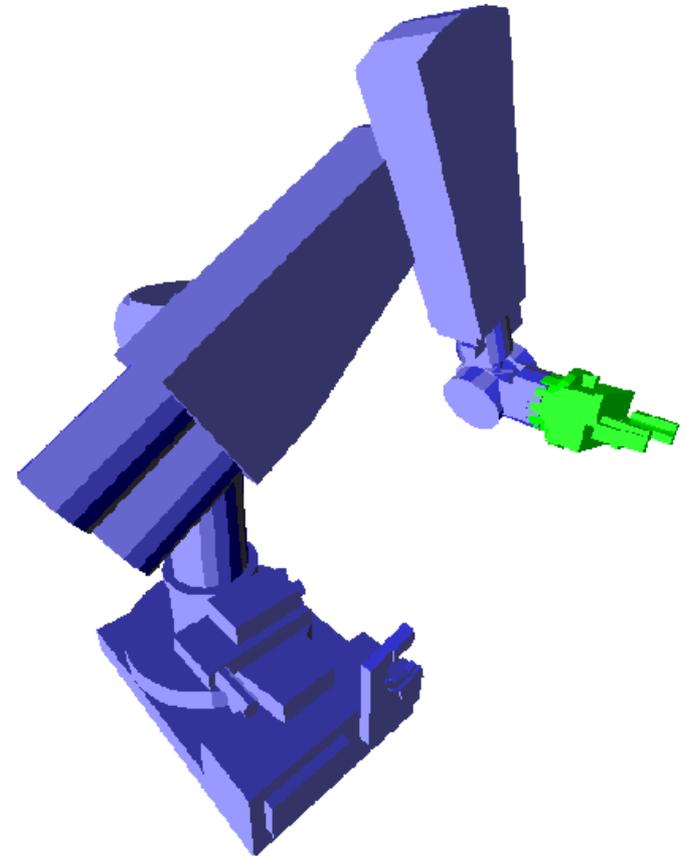
- Kinematik
- Dynamik
- Bahnplanung

stellt man verschiedene Modelle für den Roboter auf:



Geometrisches Modell

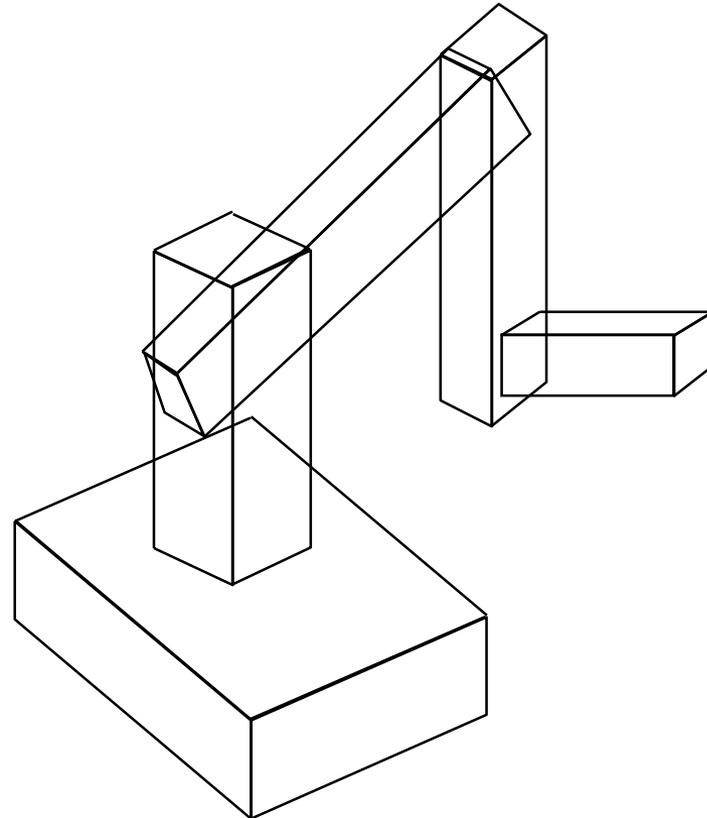
- dient als Grundlage zur Berechnung der Bewegungen
- wird benutzt zur Ermittlung der wirkenden Kräfte und Momente
- stellt den Körper graphisch dar
- ist Ausgangspunkt der Abstandsmessung und Kollisionserkennung



Komplexitätsstufen des geometrischen Modells:

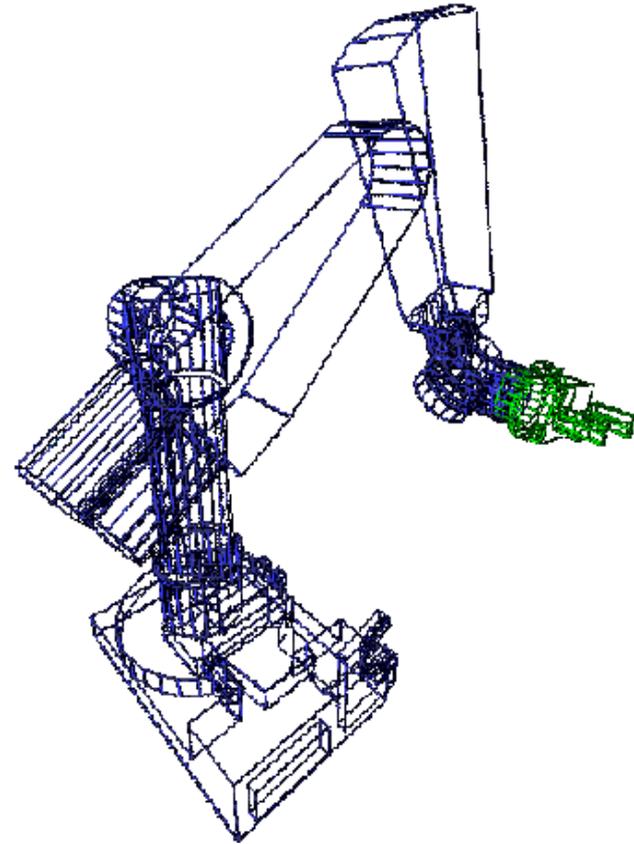
1. Bounding-Box-Modell

- die Körper werden durch einhüllende Quader dargestellt
- wird in den ersten Schritten der Kollisionsvermeidung benutzt



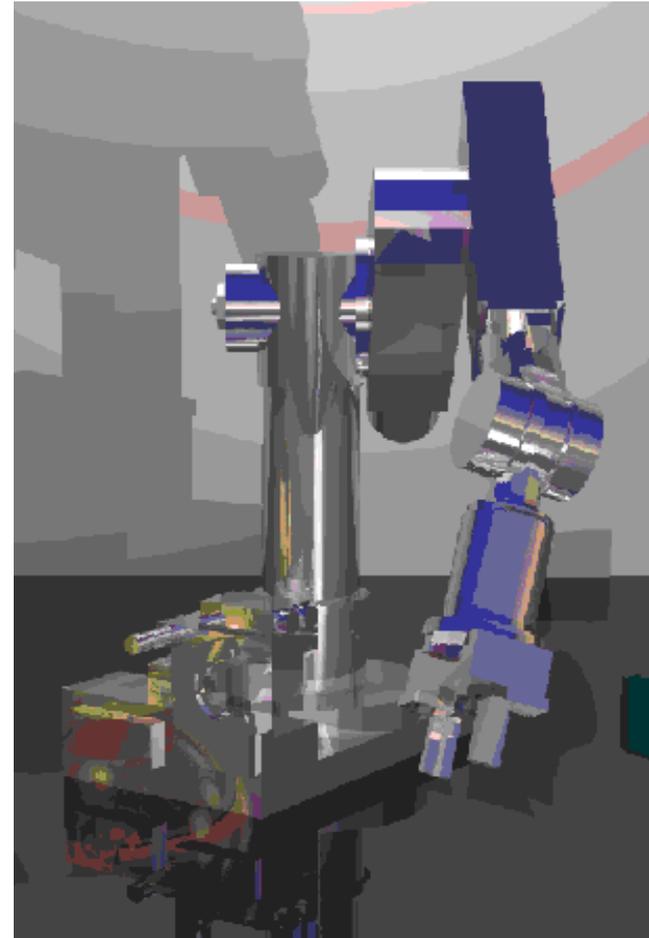
2. Kantenmodell

- die Körper werden durch Polygonzüge (Kanten) dargestellt
- wird zur schnellen Visualisierung (Rechenleistung für Grafik) benutzt



3. Volumenmodell

- die Körper werden genau dargestellt
- wird für die Kollisionserkennung genutzt
- Photorealistische Darstellung (Ray-Tracing)



- Kinematisches Modell
 - Ermittelt mit Hilfe des geometrischen Modells die Stellung (Position und Orientierung) von Körpern im Raum
 - Eine **kinematische Kette** wird von mehreren Körpern gebildet, die durch Gelenke kinematisch verbunden sind (z.B. Roboterarm)

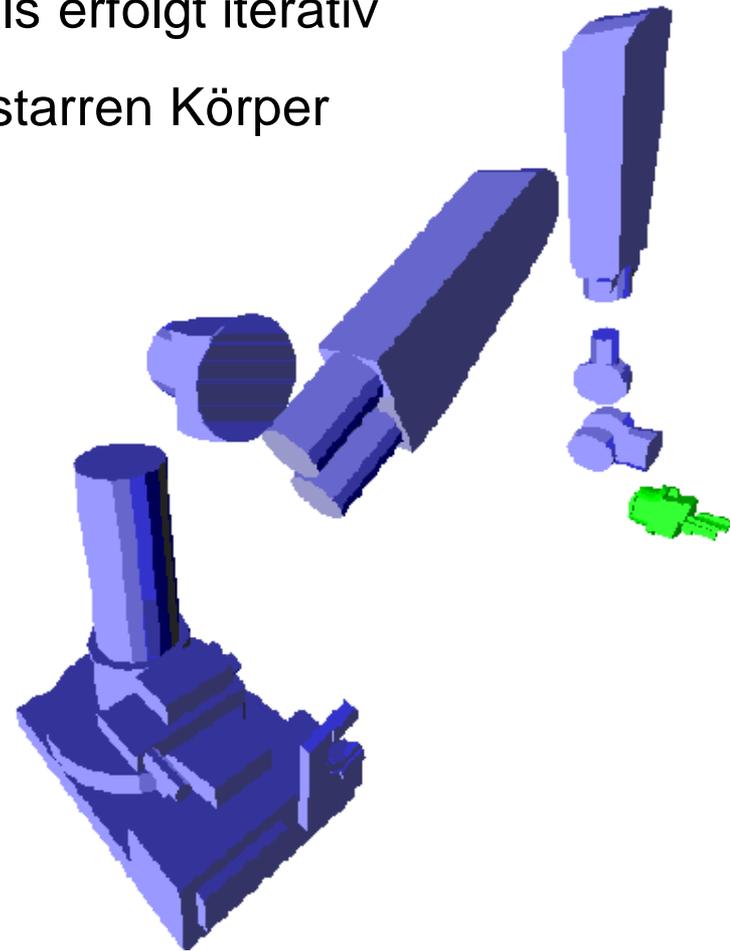
- Zweck des kinematischen Modells
 - Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Gelenkwinkeln und Stellungen
 - Erreichbarkeitsanalyse: Welche Punkte sind erreichbar, ohne dass innere oder äußere Kollisionen auftreten?

Kinematisches Modell

- Aufstellung des kinematischen Modells erfolgt iterativ
- Jedes Armelement entspricht einem starren Körper

- Bsp.: **Puma 260**

- 6-achsiger Roboter
- Basis und 6 Armelemente



Kinematisches Modell

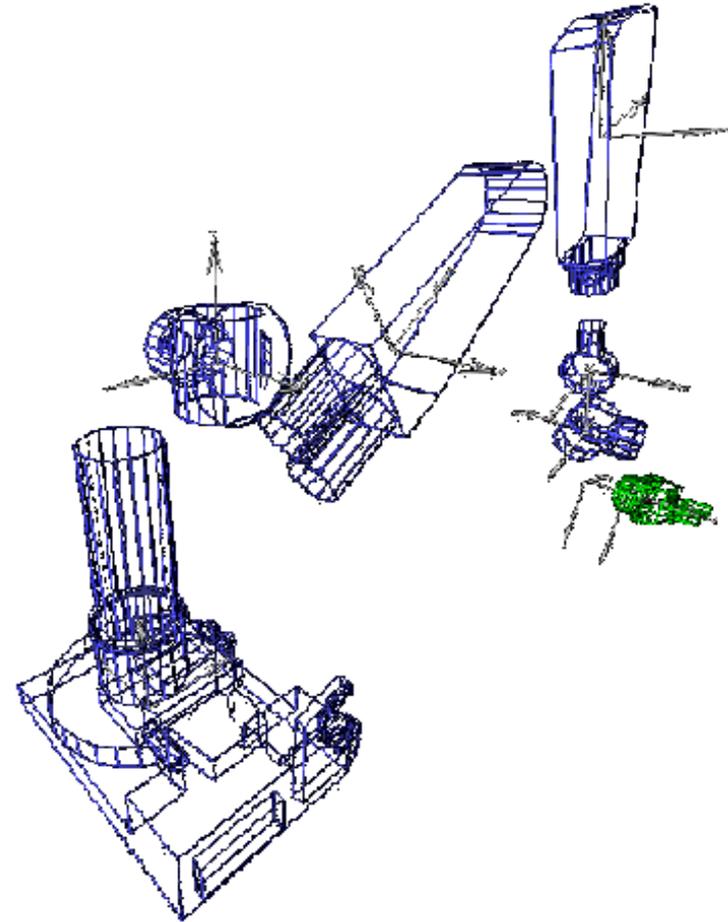
Zu jedem Körper existiert ein Objekt-Koordinatensystem (OKS)

Roboterbasis	$\text{OKS}_{\text{Basis}}$
Armelement 1	OKS_{Arm1}
⋮	⋮
⋮	⋮
Armelement 6	OKS_{Arm6}

Koordinatensysteme werden durch *homogene Transformationen* miteinander verknüpft

Beschreibung durch die sog. *Denavit-Hartenberg-Transformation*

➤ Details in der Vorlesung Robotik 1



Dynamisches Modell

„Berechnet den Zusammenhang von Kräften, Momenten und Bewegungen, welche in einem mechanischen Mehrkörpersystem auftreten.“

Zweck des dynamischen Modells:

- Analyse der Dynamik
- Synthese mechanischer Strukturen
- Modellierung elastischer Strukturen
- Reglerentwurf

⇒ Details in der Vorlesung Robotik 1

Die Transformation vom
*OKS des **i-ten** Armelements* auf das
*OKS des **(i-1)-ten** Armelements* erfolgt nach der
Denavit-Hartenberg-(DH-)Konvention:

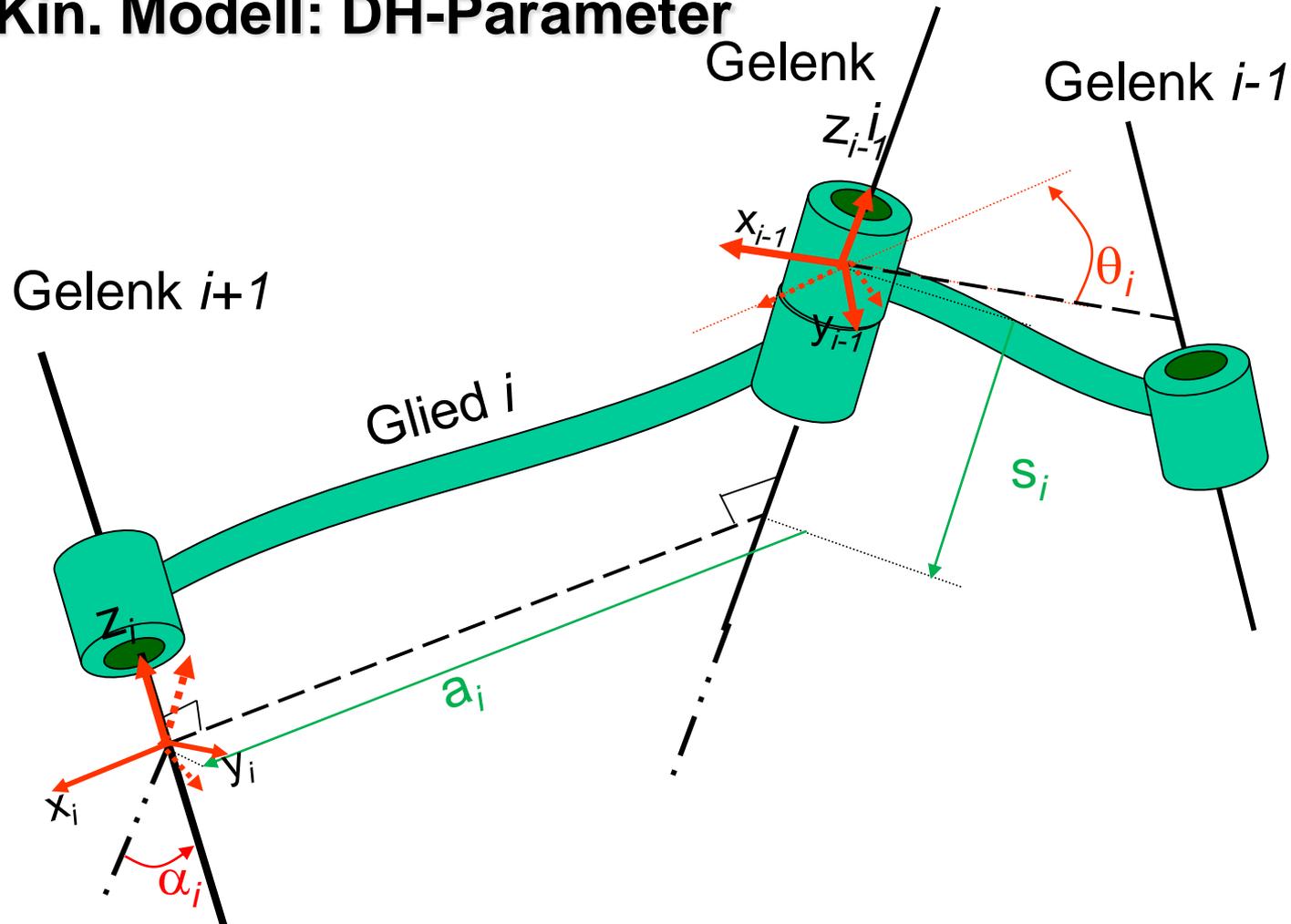
- die Koordinatensysteme liegen in den Bewegungsachsen
- die z_{i-1} -Achse liegt entlang der Drehachse des i -ten Gelenks
- die x_{i-1} -Achse steht senkrecht zur z_{i-1} -Achse und zeigt von ihr weg
- die y_{i-1} -Achse bildet mit den anderen ein rechtshändiges Koordinatensystem

$i \in \{ \text{Basis}, 1, \dots, n \}$

Kinematisches Modell: DH-Parameter

- Basiswechsellmatrix von OKS_i nach OKS_{i-1} ist die Inverse zu der Matrix, die einen in OKS_i gegebenen Punkt zu den selben Koordinaten in OKS_{i-1} verschiebt
- Also gesucht: Die Matrix, die einen in OKS_{i-1} gegebenen Punkt zu den entsprechenden Koordinaten in OKS_i bewegt
- Dank DH-Konvention sind das nur vier sequentielle Schritte, die jeweils einen Parameter haben

Kin. Modell: DH-Parameter



Basiswechsel von OKS_i nach OKS_{i-1}

(entspricht Bewegung von OKS_{i-1} nach OKS_i)

- 1) Eine Rotation θ_i um die z_{i-1} -Achse, damit die x_{i-1} -Achse parallel zur x_i -Achse verläuft (wegen Voraussetzung c)

$$R_{z_{i-1}}(\theta_i) = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 2) Eine Translation s_i entlang der z_{i-1} -Achse zu dem Punkt, an dem sich z_{i-1} und x_i schneiden (wegen Voraussetzungen b, c)

$$T_{z_{i-1}}(s_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 3) Eine Translation a_i entlang der x_i -Achse, um die Ursprünge in Deckung zu bringen (wegen Voraussetzung c)

$$T_{x_i}(a_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 4) Eine Rotation α_i um die x_i -Achse um die y - und z -Achse in Übereinstimmung zu bringen

$$R_{x_i}(\alpha_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

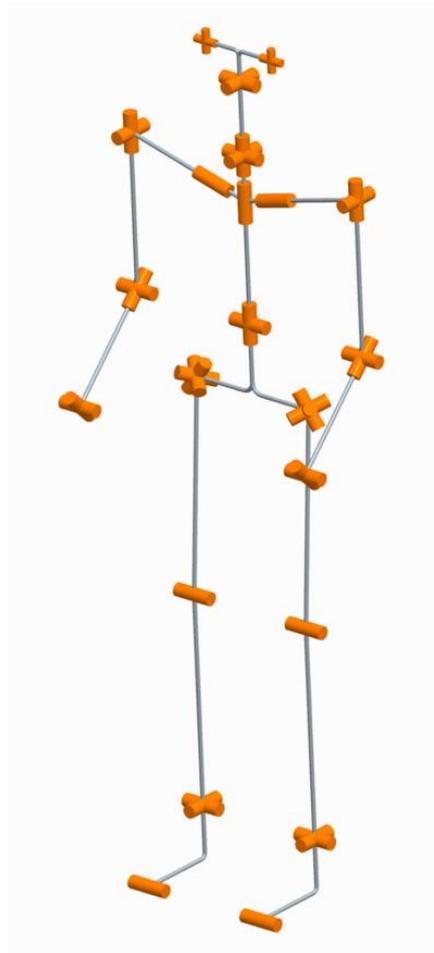
Kin. Modell: DH-Parameter

In Matrixschreibweise lautet die Denavit-Hartenberg (DH) Koordinatentransformation vom Koordinatensystem des Gelenks i (OKS_i) in das Koordinatensystem des Gelenks $i-1$ (OKS_{i-1}):

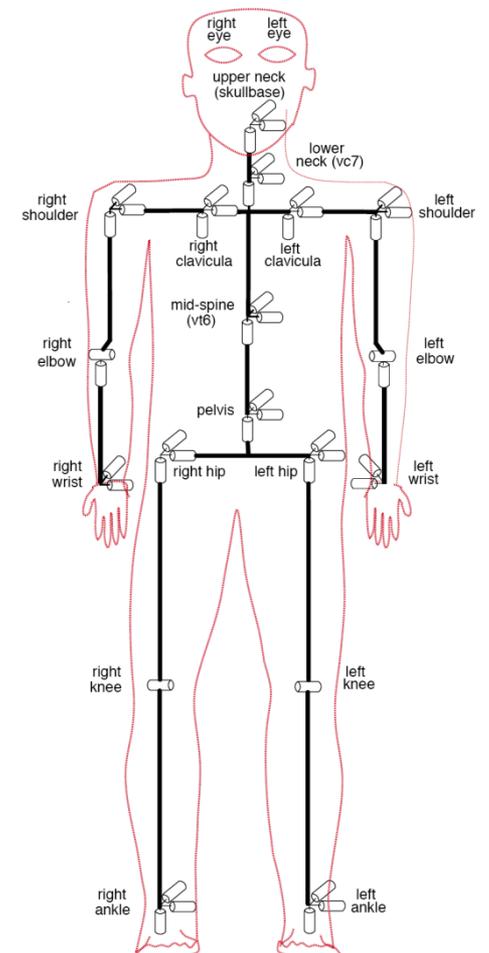
$${}^{i-1}A_i = R_{z_{i-1}}(\theta_i) \cdot T_{z_{i-1}}(s_i) \cdot T_{x_i}(a_i) \cdot R_{x_i}(\alpha_i)$$
$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cdot \cos \alpha_i & \sin \theta_i \cdot \sin \alpha_i & a_i \cdot \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cdot \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \cdot \sin \alpha_i & a_i \cdot \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Mit $\vec{x}_{i-1} = {}^{i-1}A_i \cdot \vec{x}_i$

Kin. Modell: Armar-IV

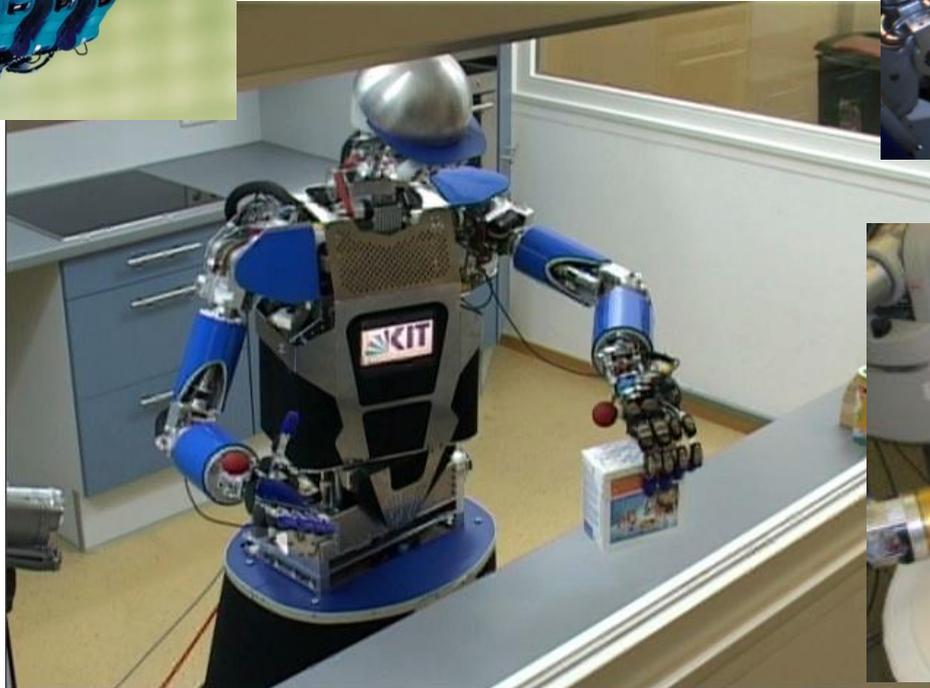
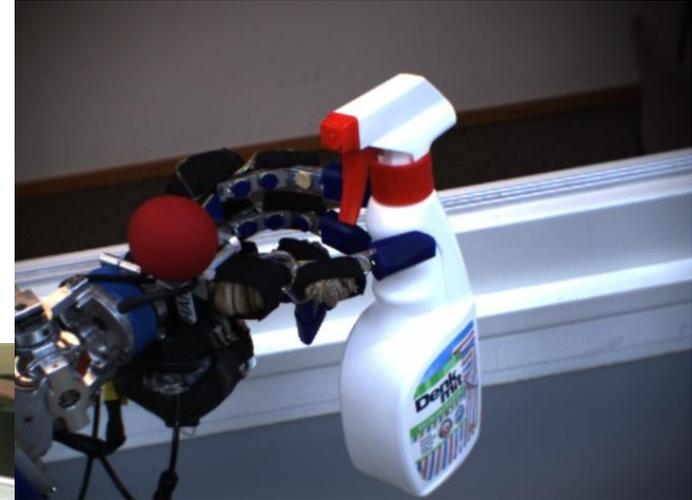
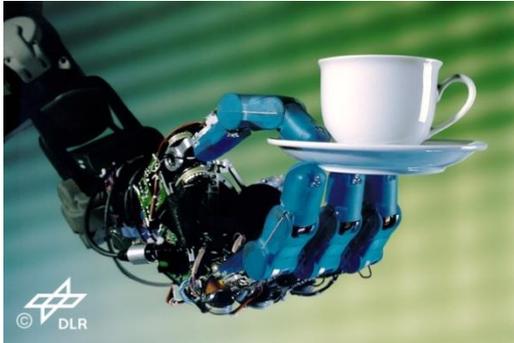


Kinematisches Modell
von ARMAR-IV

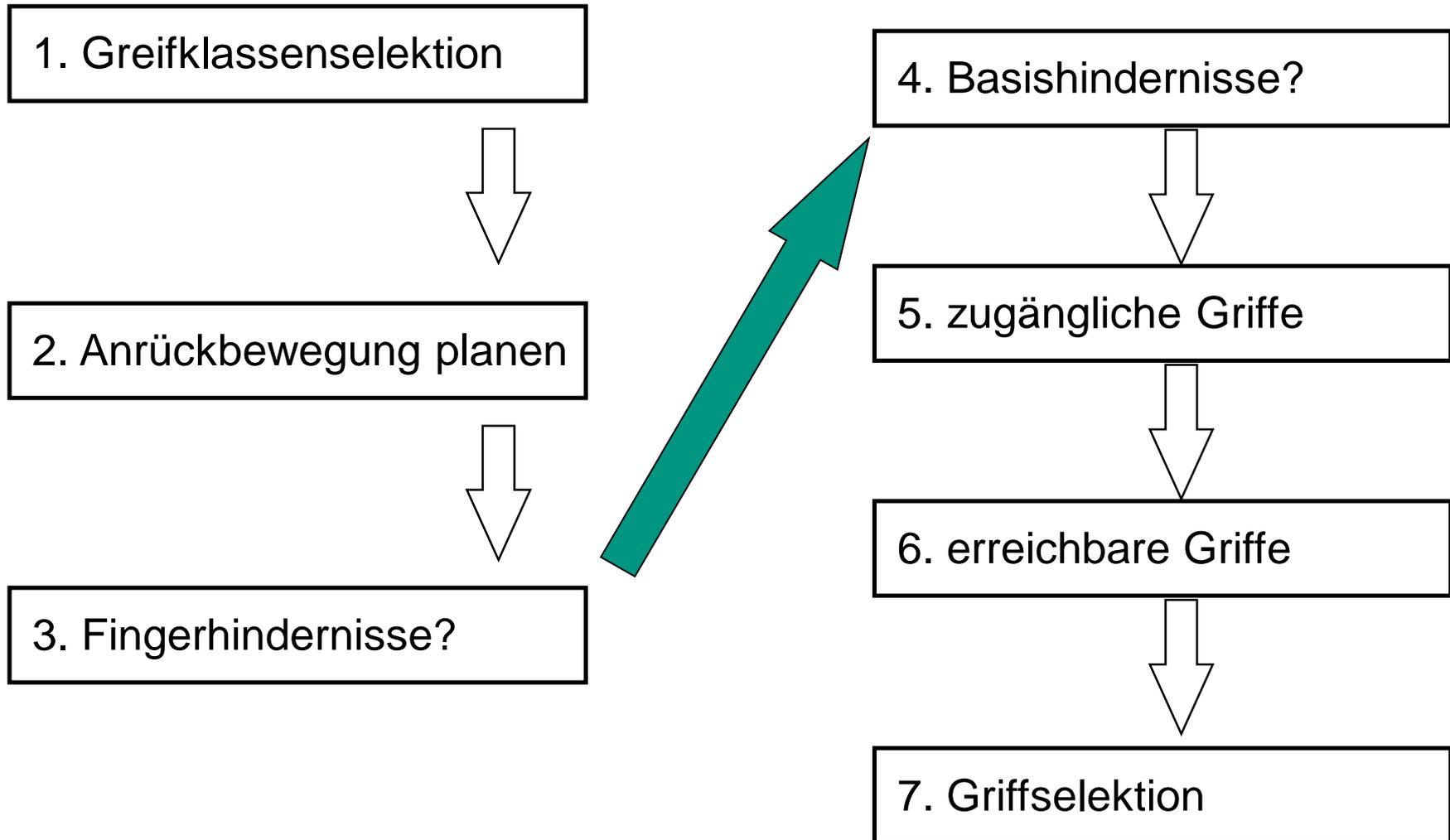


Vereinfachtes kinematisches
Modell des Menschen

Greifen von Alltagsobjekten



Planung von Greifoperationen

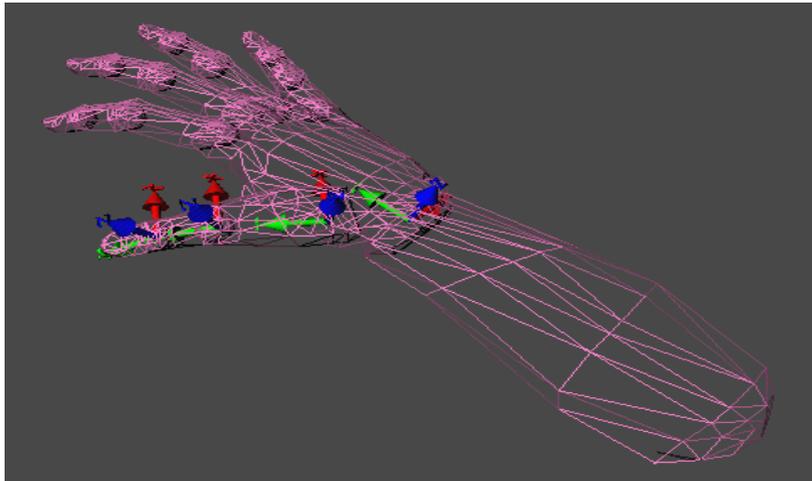


Griffklassen

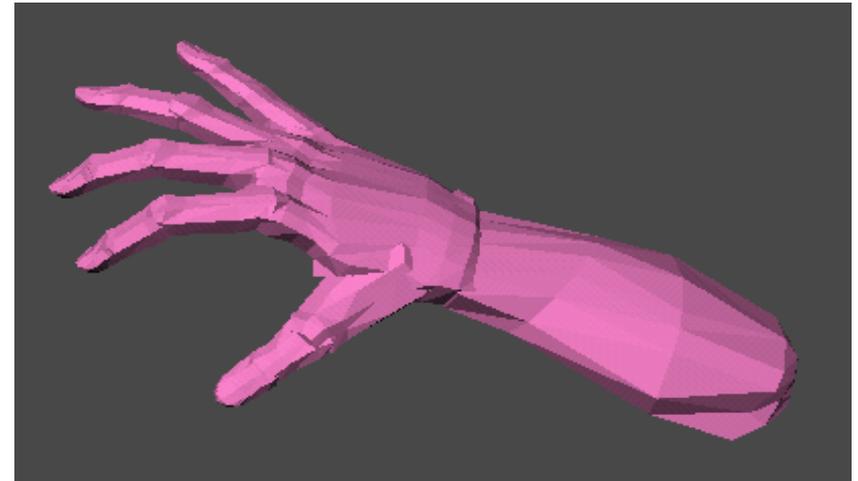
Die menschliche Hand

- 16 Gelenke
- 22 Freiheitsgrade

Zur Modellierung:



kinematisches Modell



Oberflächenmodell

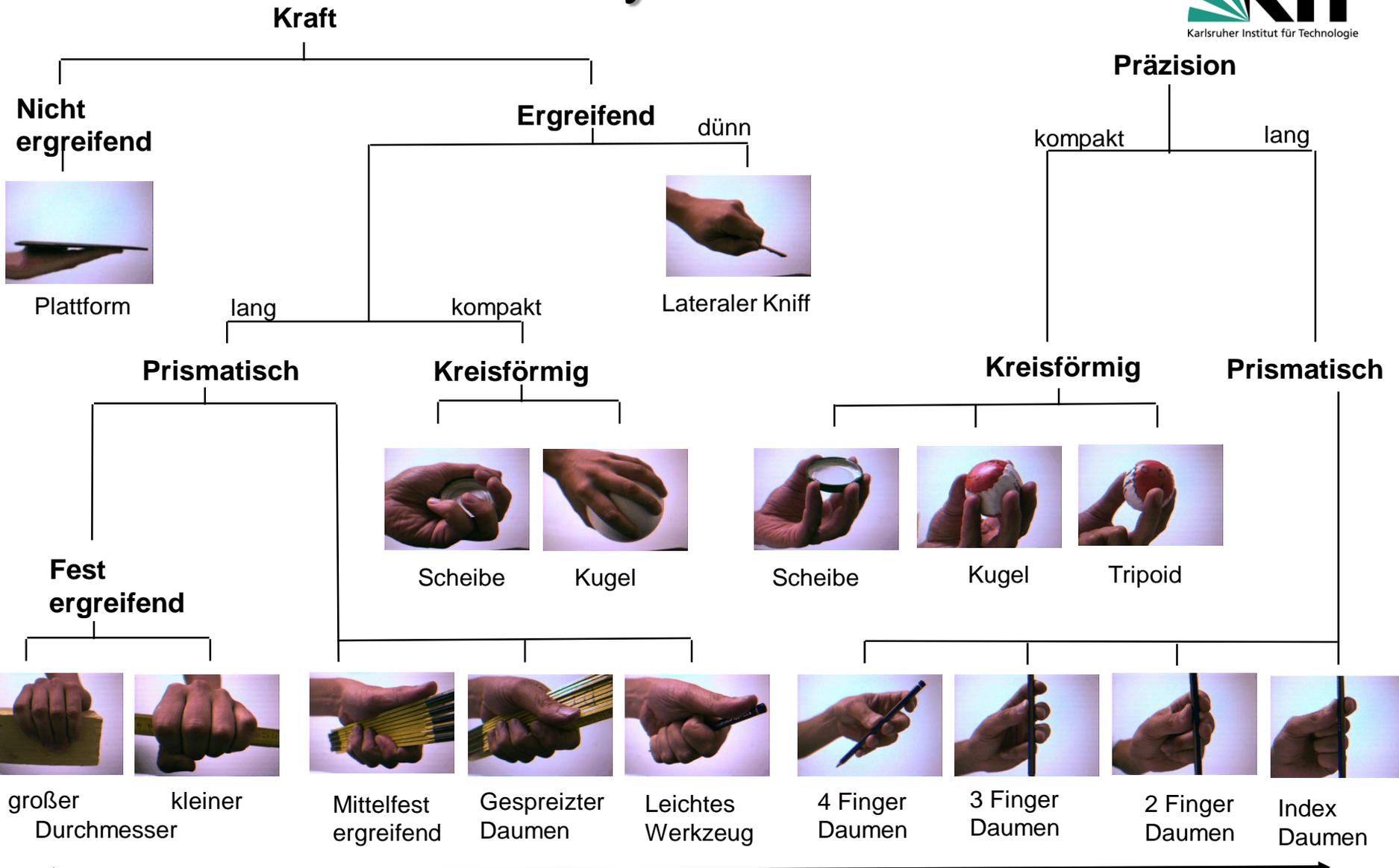
Griffarten sind kategorisierbar

- nach Anwendungsgebiet: Kraftgriffe, Präzisionsgriffe
- nach Objektform: sphärisch, prismatisch...
- nach Form- oder Kraftgeschlossenheit

Bekannte Kategorisierung: Cutkosky-Hierarchie

- unterscheidet 16 einzelne Griffarten
- auf mehreren Ebenen zu Gruppen zusammengefaßt
--> Hierarchiebaum
- auf erster Ebene lediglich Unterscheidung Kraft-/
Präzisionsgriffe

Cutkosky-Griffhierarchie



← Zunehmende Kraft und Objektgröße Zunehmende Geschicklichkeit; abnehmende Objektgröße →

Im Hinblick auf Greifen sind folgende Bewegungstypen unterscheidbar:

1. Greifen / Loslassen eines Objektes mit montiertem Greifer

- Auswahl eines sicheren Griffes
- Kollisionen zw. Greifer, Objekt, Umwelt vermeiden

2. An- / Abrückbewegung des Greifers

- Bewegungsplanung
- Kollisionen zw. Greifer, Objekt, Roboterarm, Umwelt vermeiden

3. An- / Abrückbewegung mit gegriffenem Objekt

- Bewegungsplanung des Greifers
- Kollisionen zw. Greifer, Objekt, Roboterarm, Umwelt vermeiden

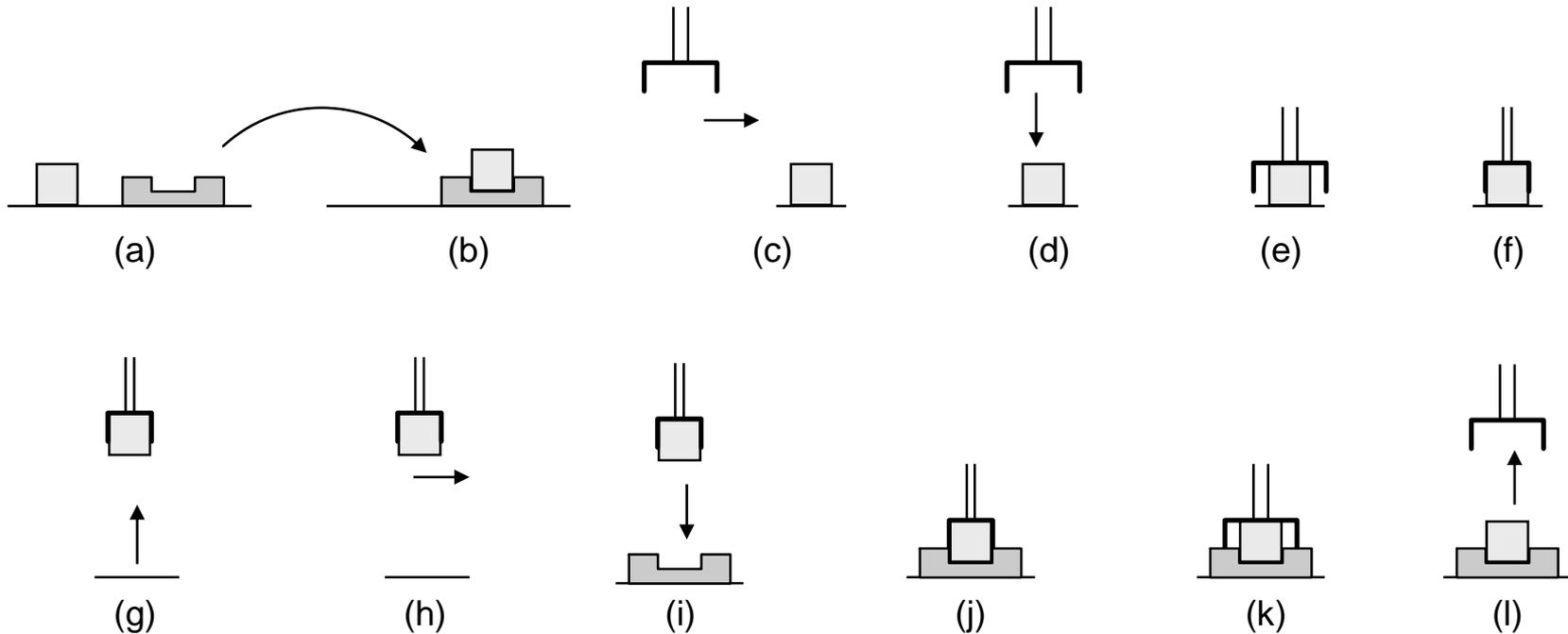
4. Verbinden des gegriffenen Objektes mit anderen Objekten

- sensorüberwachte und/oder sensorgeführte Bewegungen

5. Transferbewegung des Greifers ohne/mit Objekt

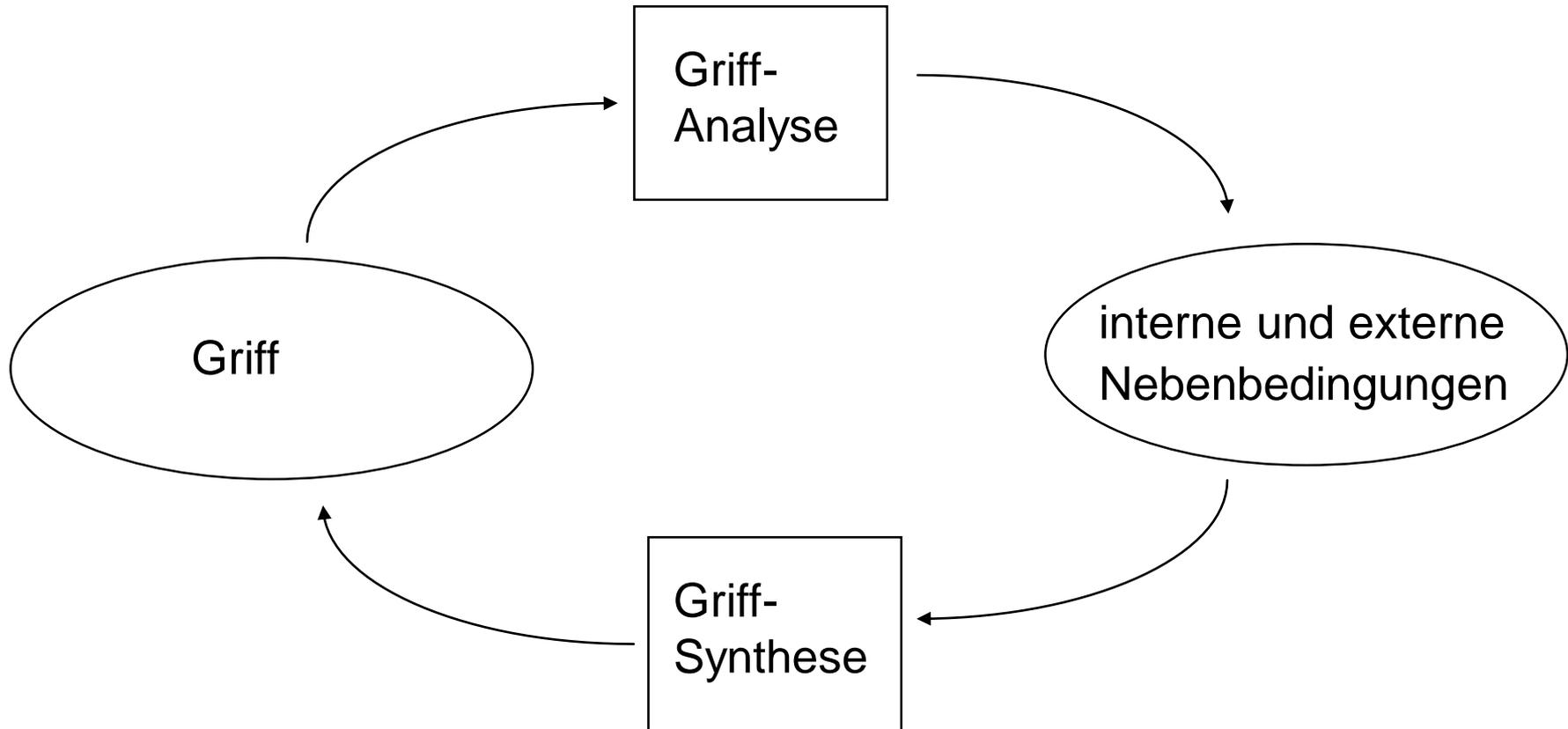
- höhere Ausführgeschwindigkeiten
- geringere Genauigkeitsanforderungen

Bewegungstypen



(a) Aufnahmeconfiguration, (b) Ablageconfiguration, (c) Transferbewegung, (d) Anrückbewegung, (e) Erreichen der Aufnahmeconfiguration, (f) Greifen des Objektes, (g) Abrückbewegung mit Objekt, (h) Transferbewegung mit Objekt, (i) Anrückbewegung mit Objekt, (j) Erreichen der Ablageconfiguration, (k) Loslassen des Objektes, (l) Abrückbewegung.

Griffgenerierung: Planungsschritte



Interne Nebenbedingungen eines Griiffs:

1. **Gültigkeit:** Überlappung zwischen Greifmerkmalen des Objektes und der Finger
2. **Kollisionsfreiheit:** keine Kollisionen zwischen Greifer und gegriffenem Objekt
3. **Zugänglichkeit:** kollisionsfrei erreichbar

Externe Nebenbedingungen:

1. **Kollisionsfreie Anrückbewegung des Greifers:** Keine Kollisionen zwischen Roboterarm, Greifer, benachbarten Objekten und der Arbeitsebene
2. **Kollisionsfreie Abrückbewegung mit gegriffenem Objekt**
3. **Berücksichtigung der Roboterkinematik:** Selektierter Griff liegt im Arbeitsraum des Roboters, An-/Abrücktrajektorien können abgefahren werden.

4. **Stabilität eines Griffes:** relative Lage / Orientierung des Objektes zum Greifer verändert sich nicht
5. **Stabilität der Szene:** Abrückbewegung des Greifers mit Objekt sollte die Stabilität der Szene nicht beeinflussen
6. **Aufgabenabhängigkeit:** zur Aufnahme- und Ablagekonfiguration des Objektes kompatiblen Griff wählen
 - Wenn ein Griff bestimmt werden kann
--> bestimme Umgreifsequenz
 - Ausübung von Kräften / Momenten erforderlich
--> wähle Griff dementsprechend

Wie generiert man „gute“ Griffe?

Problem der Dimensionalität:

- Bsp.: Menschliche Hand: 21 Freiheitsgrade (Gelenke)
- Pose der Hand relativ zum Objekt: 6 Freiheitsgrade
- Insgesamt: Problem der Dimension 27
- Zusätzlich zu berücksichtigen:
 - Stabilität: Objekt sicher halten, nicht fallenlassen
 - Ausregelung eines Griffes: Wieviel Kraft anwenden?
Rohes Ei mit gleicher Kraft greifen wie Kaffeetasse?
 - Task-Spezifität: Welcher Griff für welche Aufgabe?
 - Griff kinematisch erreichbar? (Inverse Kinematik)
 - Hindernisse im Weg?



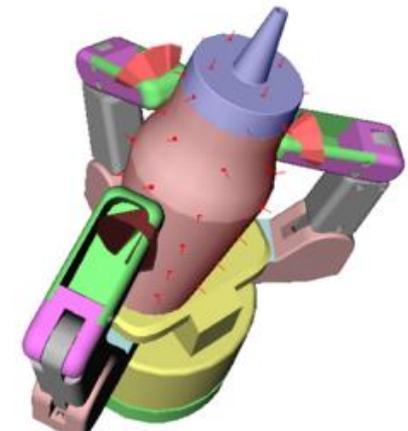
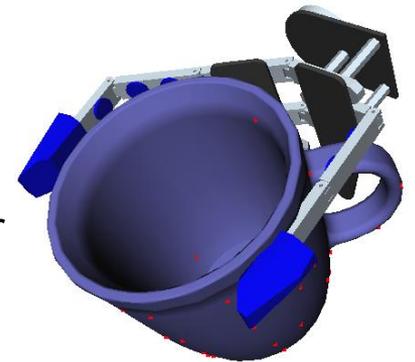
Fazit:

- Greifen als hochdimensionales Problem
- Analytisch kaum zu lösen

Ausweg: Simulation (GraspIt!, OpenRAVE, OpenGRASP)

Ausweg: Griffe im Greifsimulator generieren

- **Genereller Ansatz: „Generiere-und-Teste“**
- **Algorithmus:**
 1. Handmodell und Objektmodell in Simulationsumgebung laden
 2. Griffkandidaten generieren:
 - Anrückvektor der Hand an das Objekt
 - Zielpunkt auf der Objektoberfläche
 - Rollwinkel der Hand um den Anrückvektor
 - „Preshape“ der Hand: Konfiguration (Gelenkwinkelvektor) der geöffneten Hand z.B.:
 - Sphärisch, parallel, ...
 - Verschiedene Heuristiken für die Kandidatenerzeugung, um Suchraum zu verkleinern
 3. Für jeden Griffkandidaten:
 - Bewege Hand (entlang des Anrückvektors) auf Zielpunkt auf dem Objekt zu, bis Kollision
 - Schließe Finger, bis Kontakt
 - Bestimme Kontaktpunkte
 - Werte Gütekriterium für Stabilität aus (meist: Force closure, d.h. Kraftschluss)

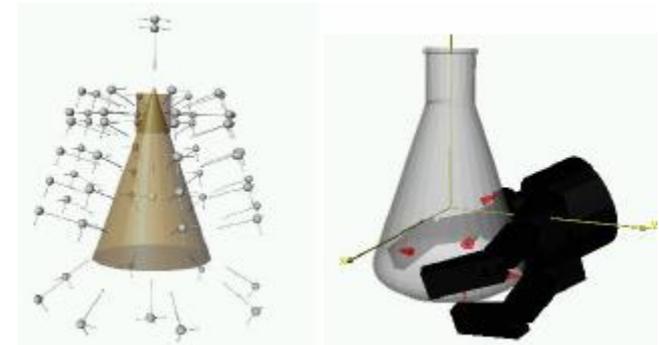


Heuristiken für Griffkandidatenerzeugung I

- **Ansatz:** Approximation des Objektes durch Formprimitiven (Boxen, Kugeln, Zylinder, Kegel)

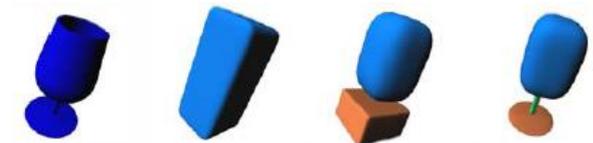
- **Vorgehensweise:**
 - Nachbau eines vereinfachten Objektmodells aus Formprimitiven
 - Generiere Griffkandidaten für die einzelnen Teile des Primitiven-Modells nach bestimmten Regeln, z.B.:
 - Anrückrichtungen senkrecht zu Zylindermantel / Kegelmantel, senkrecht zu Flächen einer Box
 - alle vordefinierten Preshapes durchprobieren

- **Nachteil:**
 - Zerlegung von Objekten in Formprimitiven nur von Hand möglich



Heuristiken für Griffkandidatenerzeugung II

- **Ansatz:** Approximation des Objektes durch Superquadriken
- **Vorgehensweise:**
 - Zerlegung des Modells in einen Baum aus Superquadriken (Decomposition Tree)
 - Generiere Griffkandidaten auf den einzelnen Superquadriken
- **Vorteil:**
 - Automatische Zerlegung möglich

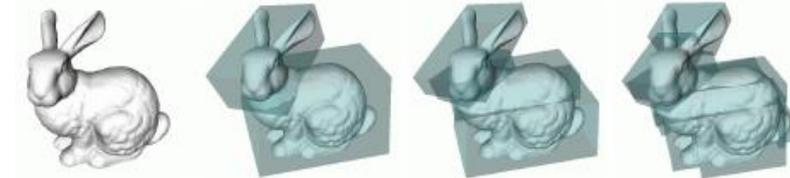


Heuristiken für Griffkandidatenerzeugung III

- **Ansatz:** Box Decomposition

- **Vorgehensweise:**

- Stelle Objekt dar durch eine Menge von Minimum Volume Bounding Boxes
- Generiere Griffkandidaten auf den einzelnen Boxen (Anrückrichtungen immer senkrecht zu Flächen der Boxen)

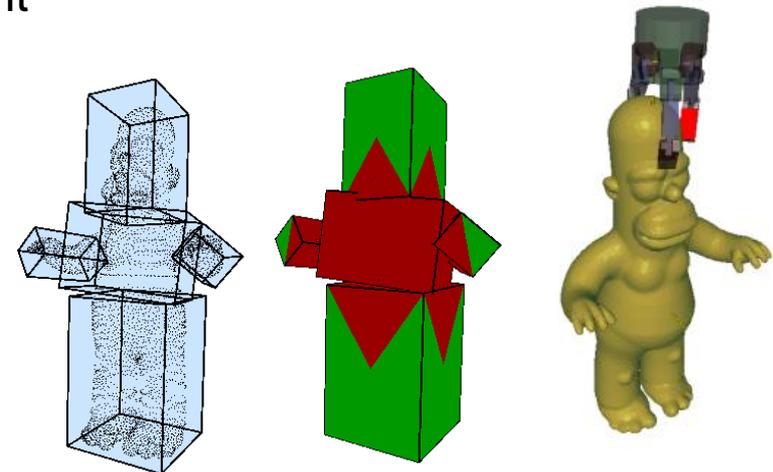


- **Vorteile:**

- Automatische Zerlegung möglich
- Auch auf unbekanntem Objekten möglich (Daten aus Stereokamera oder Laserscanner)

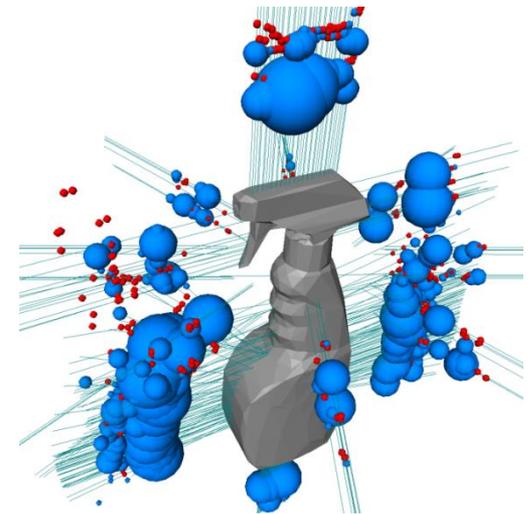
- **Nachteile:**

- Sehr grobe Approximation der Geometrie
- Liefert daher wenige Griffkandidaten



Heuristiken für Griffkandidatenerzeugung IV

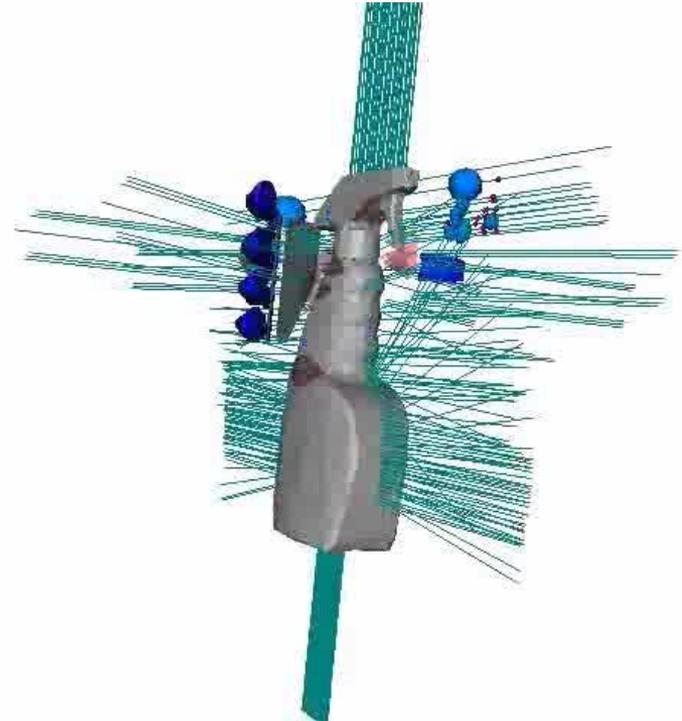
- **Ansatz:** Mediale-Achse-Transformation
- **Idee:** Schreibe Kugeln maximalen Durchmessers in das Objekt ein. Die Vereinigung all dieser Kugelmittelpunkte ist die sog. Mediale Achse (im Bild: grün)
- **Vorgehensweise:**
 - Werte Schnittebenen der Medialen Achse aus (im Bild: ganz rechts)
 - Erzeuge mittels Hauptkomponentenanalyse der Kugelmittelpunkte Griffkandidaten
- **Vorteil:**
 - Sehr genaue Approximation der Geometrie
 - Kugelradien liefern Information über lokale Dicke (Greifbarkeit des Objektes!)



Greifplanung im Simulator

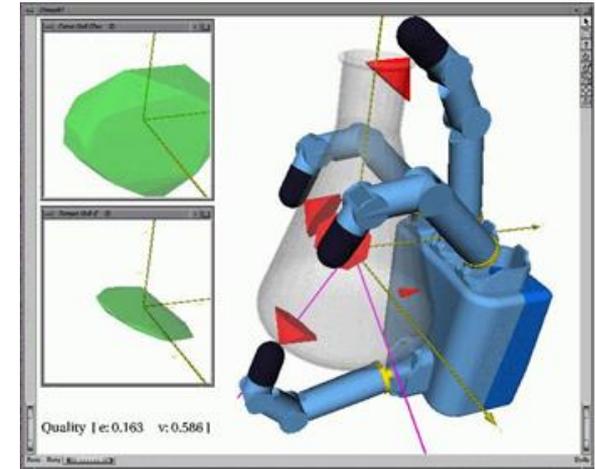
Visualisierung

- **Grüne Linien:** Anrückrichtungen der Hand an das Objekt
- **Kugeln:** Position des Handgelenks während eines Griffes
- **Blaue Kugeln:** Stabile Griffe
- **Rote Kugeln:** Instabile Griffe
- **Kugeldurchmesser:** proportional zur Force Closure Bewertung (größere Kugeln entsprechen stabileren Griffen)



Gütemaß für Stabilität: Kraftschluss

- **Anschaulich:** „Wie gut widersteht ein Griff extern einwirkenden Kräften?“
- **Berechnung:**
 - Bestimme **Kontaktpunkte** und –normalen zwischen Hand und Objekt.
 - Berechne sog. **Reibungskegel** an den Kontakten (Breite der Reibungskegel abh. vom Haftreibungskoeffizient).
 - Berechne **Grasp Wrench Space GWS** (in 6D) als konvexe Hülle über den Reibungskegeln.
 - Minimale Distanz vom Ursprung des GWS zu einer Facette des GWS ist ein Maß für die Stabilität eines Griffes.



Rot: Reibungskegel
 Grün: Projektionen des Grasp Wrench Space