

Literatur

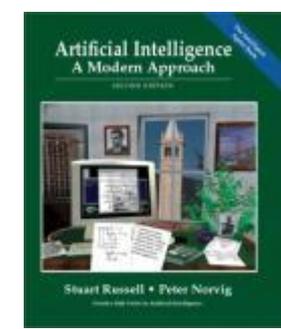
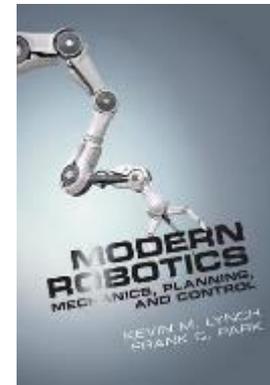
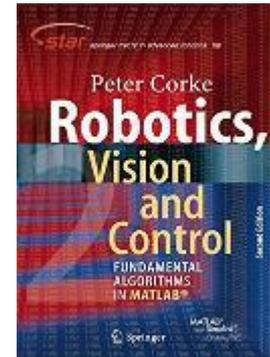
- Handbook of Robotics: **Umfassender Überblick Robotik (1600 Seiten)**
Bruno Siciliano and Oussama Khatib
PDF aus dem KIT-Netz verfügbar unter
<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-32552-1>

- Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in Matlab
Peter Corke

- Kinematik, Dynamik, Steuerung, Regelung, Planung
 - Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence
Fu, Gonzalez, Lee
 - Modern Robotics: Mechanics, Planning and Control
Kevin M. Lynch and Frank C. Park

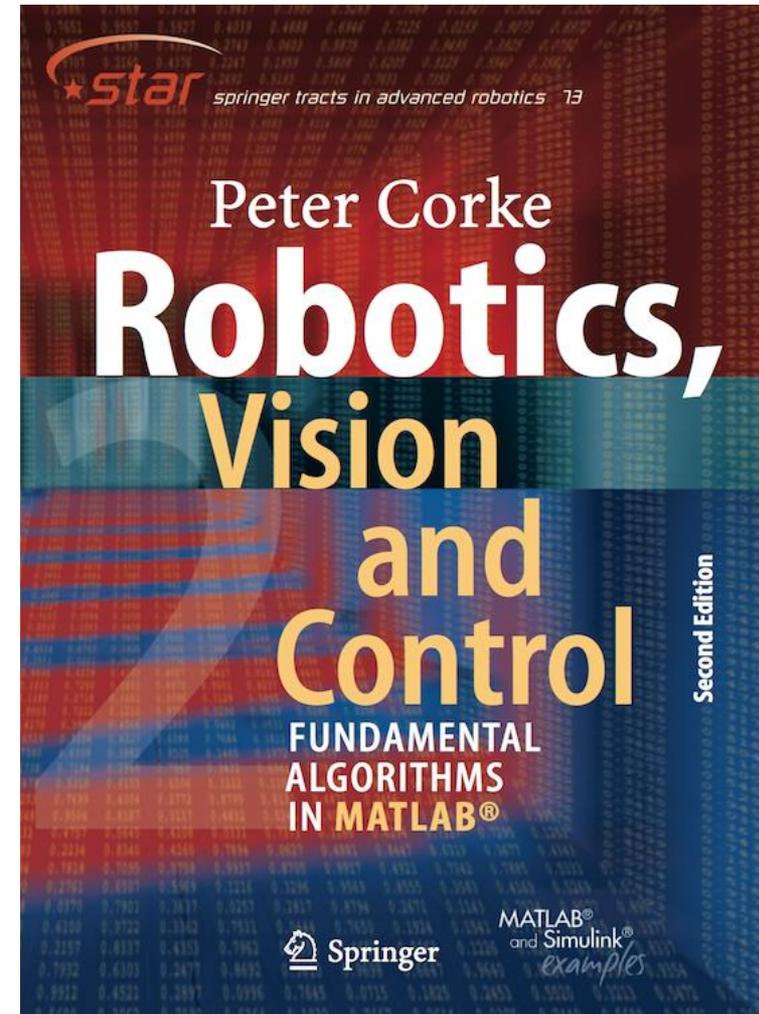
- Planung, Architektur
 - Artificial Intelligence – A Modern Approach (2nd Edition)
Russel, Norvig

- Ausgewählte Publikationen
 - Details siehe ILIAS Arbeitsbereich



Peter Corke

- Distinguished professor of robotic vision at Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
- Director of the ARC Centre of Excellence for Robotic Vision
- Author of this book “Robotics, Vision and Control” and the Robotic MATLAB Toolbox



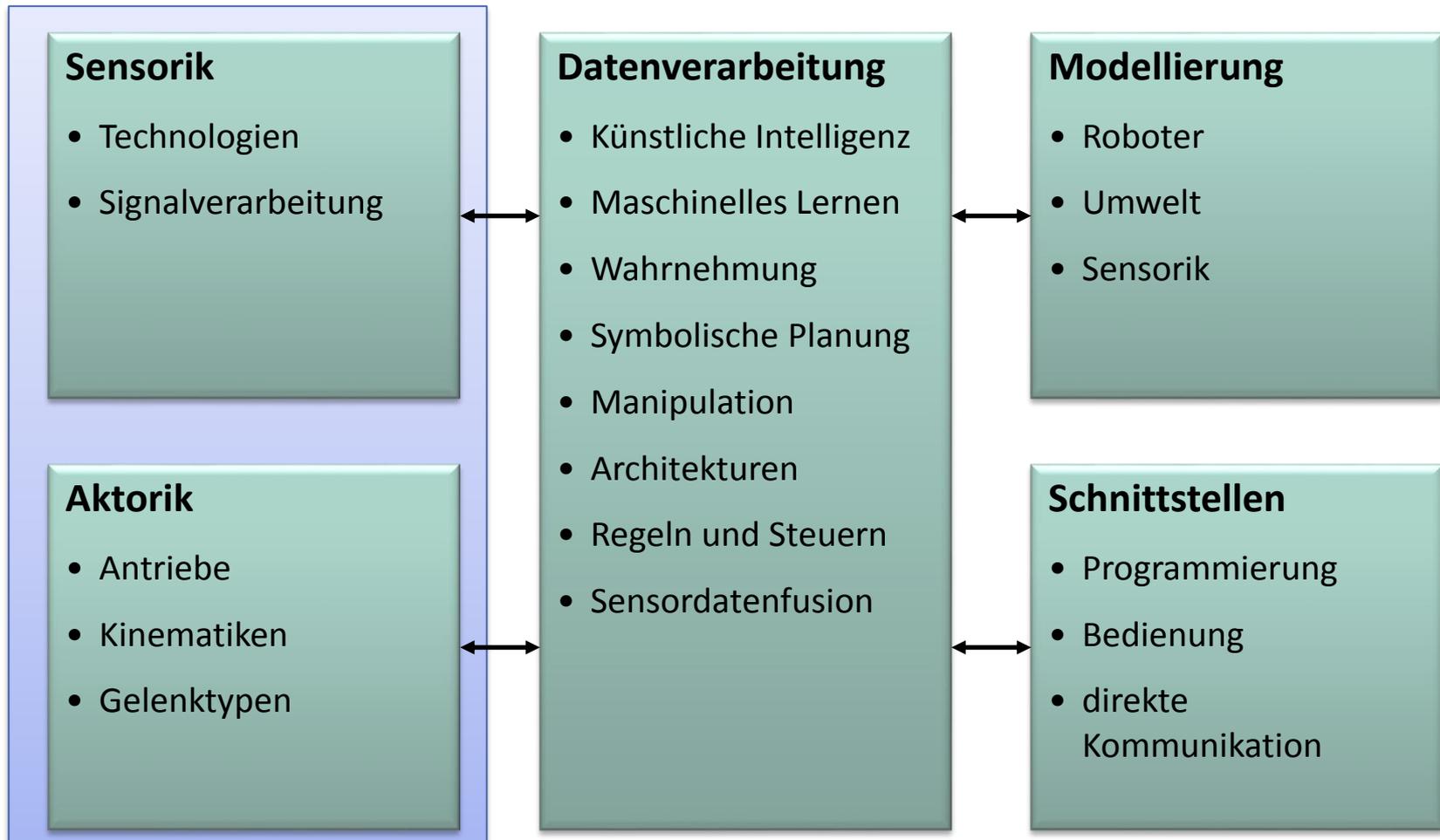
Robotik I: Einführung in die Robotik Teilsysteme

Tamim Asfour

KIT-Fakultät für Informatik, Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR)
Hochperformante Humanoide Technologien (H²T)



Heutige Vorlesung



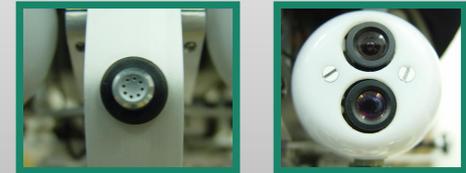
Überblick – Roboter „ARMAR-III“

- Aus welchen Komponenten besteht ein Roboter ?

Mechanische Komponenten



Sensoren



Antriebe

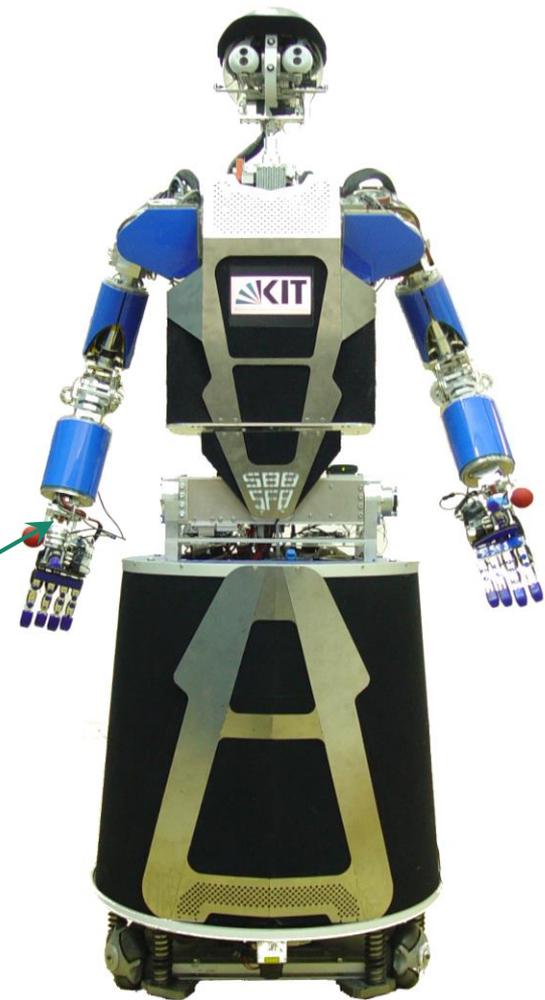
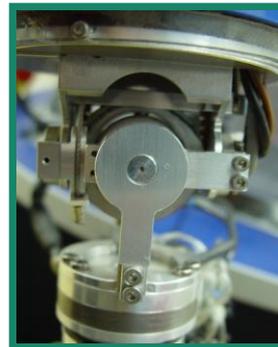


Getriebe



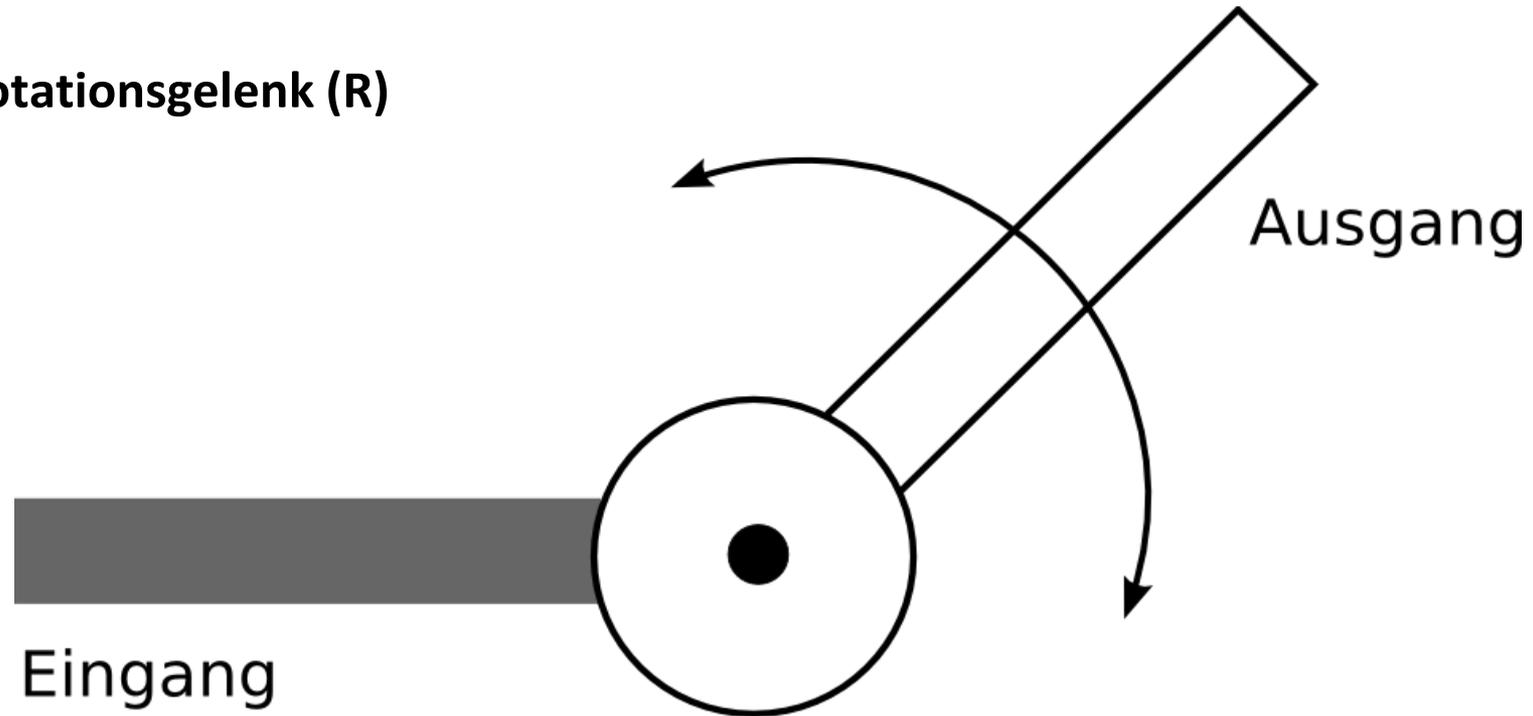
Inhalt

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



Gelenktypen (1)

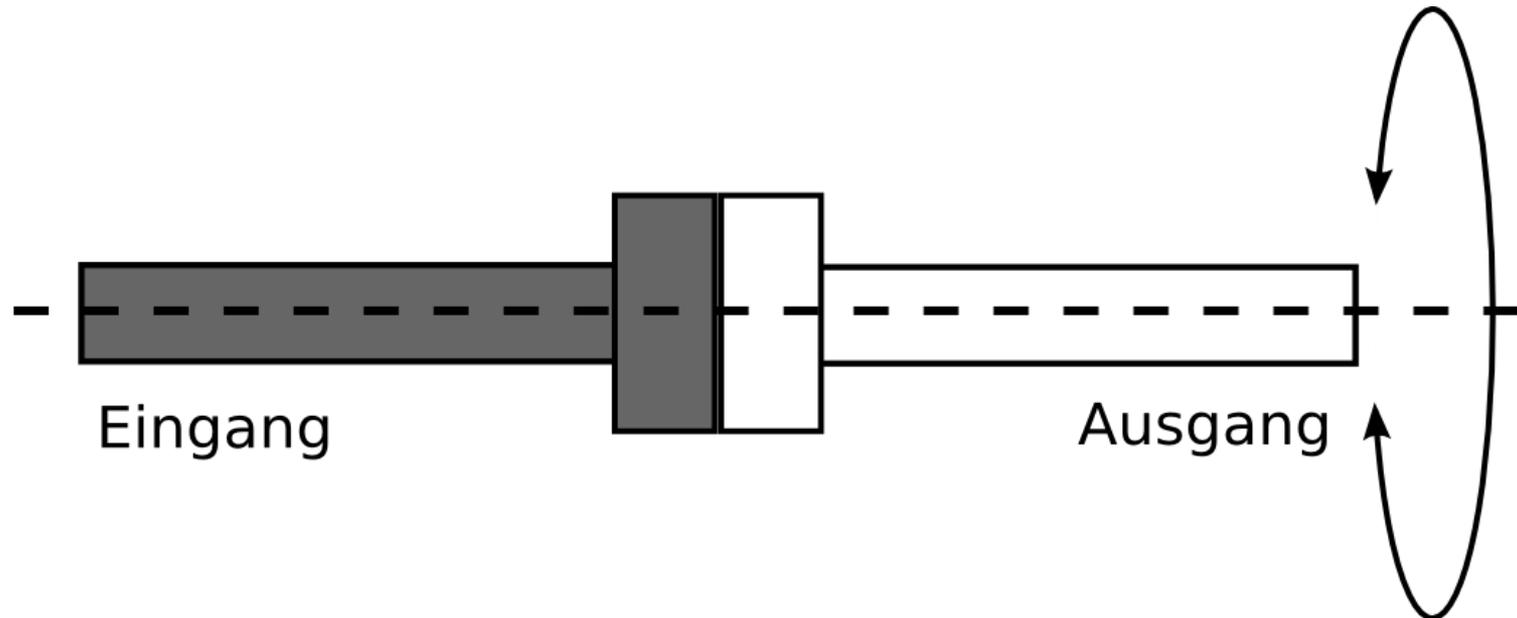
■ Rotationsgelenk (R)



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

Gelenktypen (2)

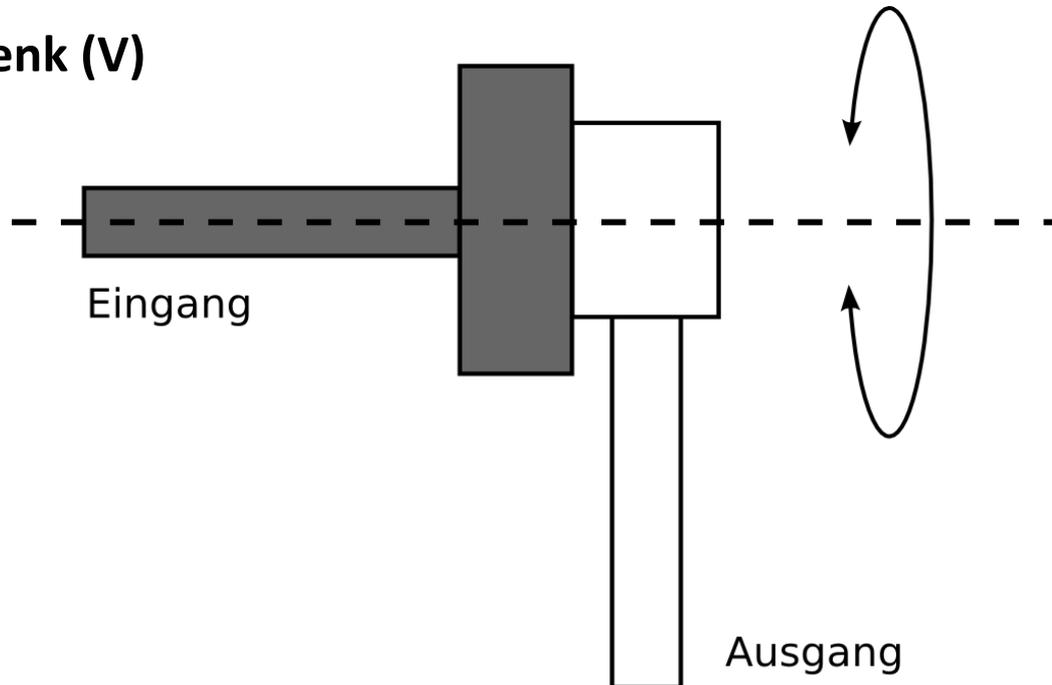
■ Torsionsgelenk (T)



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

Gelenktypen (3)

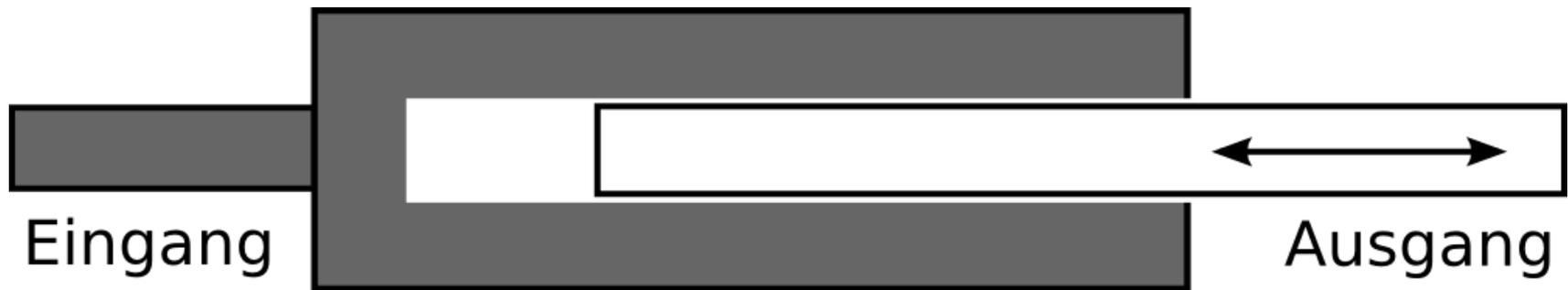
■ Revolvergelenk (V)



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

Gelenktypen (4)

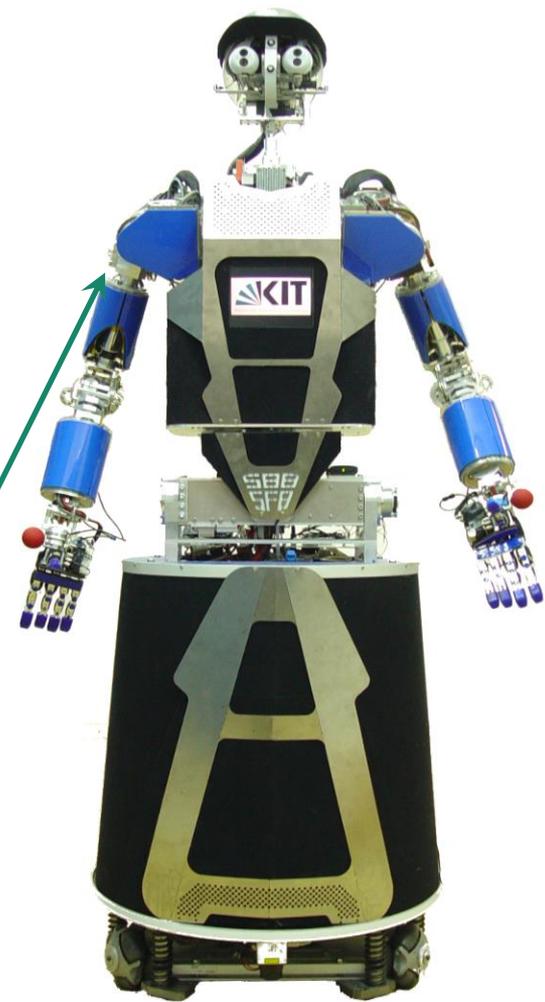
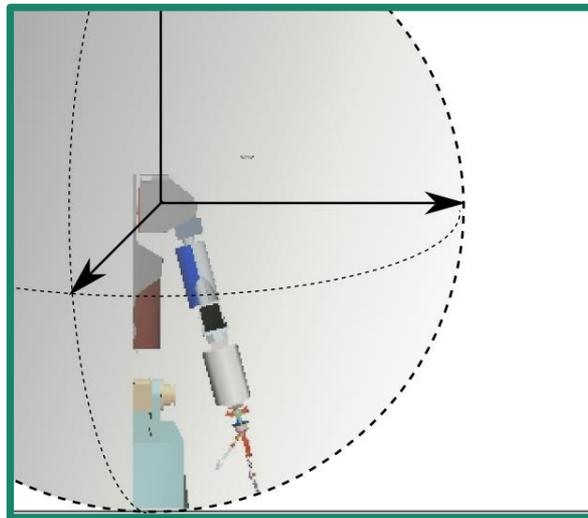
■ Lineargelenk (L)



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

Inhalt

- 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 Freiheitsgrade in der Bewegung, also mindestens drei Gelenke erforderlich.

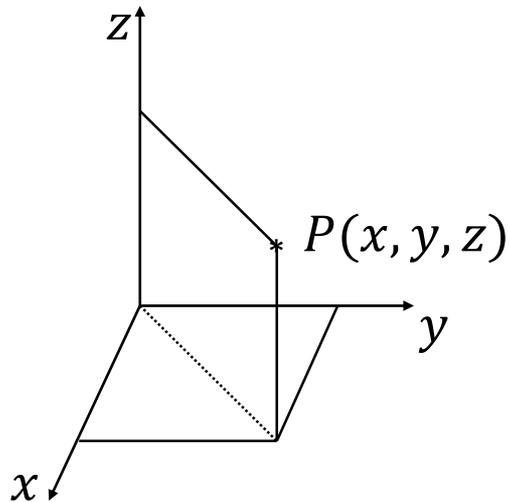
■ Grundform des Arbeitsraums

Die Grundform des Arbeitsraums ist der Arbeitsraum, der sich ergeben würde, wenn man die gegenseitige Behinderung der Arme des Roboters und die Begrenzung der Gelenkwinkel nicht berücksichtigt.

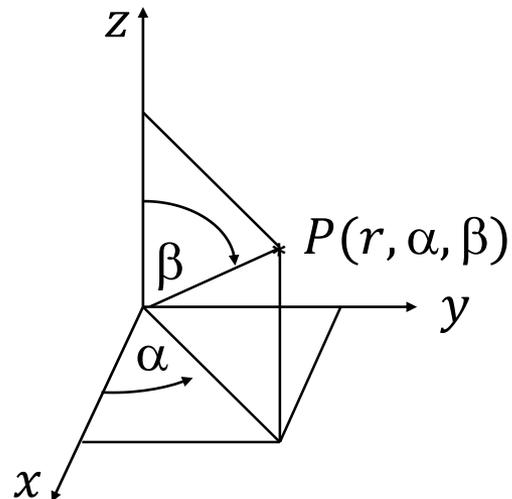
Arbeitsraum (2)

■ Räumliche Koordinatensysteme

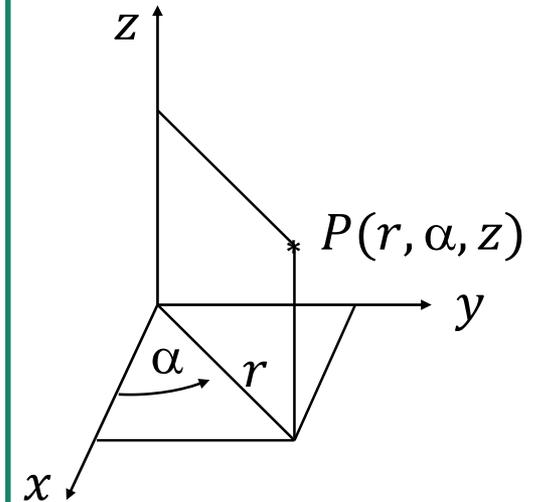
Kartesische Koordinaten



Kugelkoordinaten



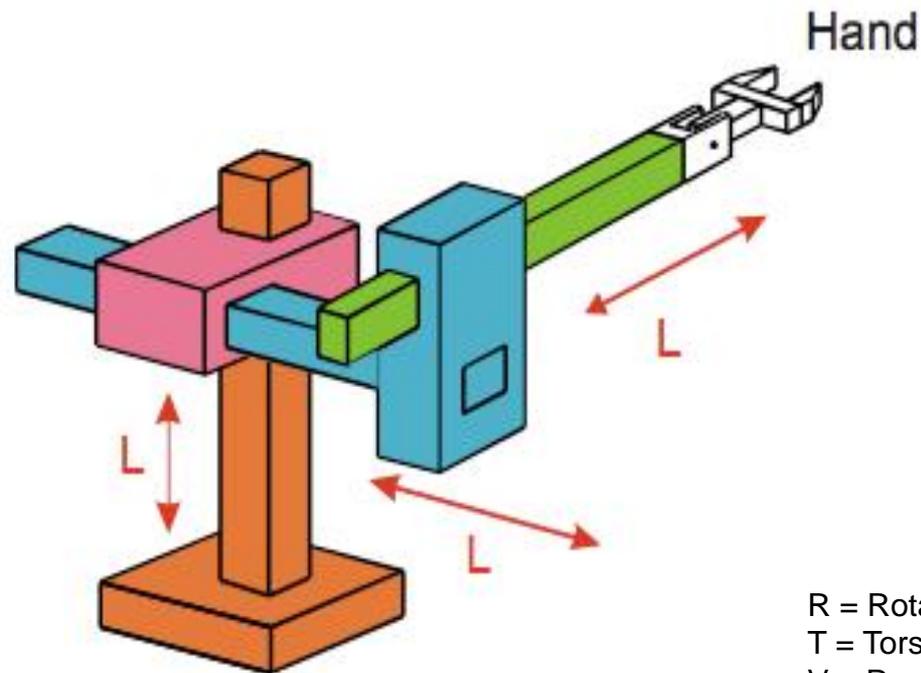
Zylinderkoordinaten



Arbeitsraum (3)

Arbeitsraum im kartesischen Koordinatensystem

■ Beispiel 1:



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

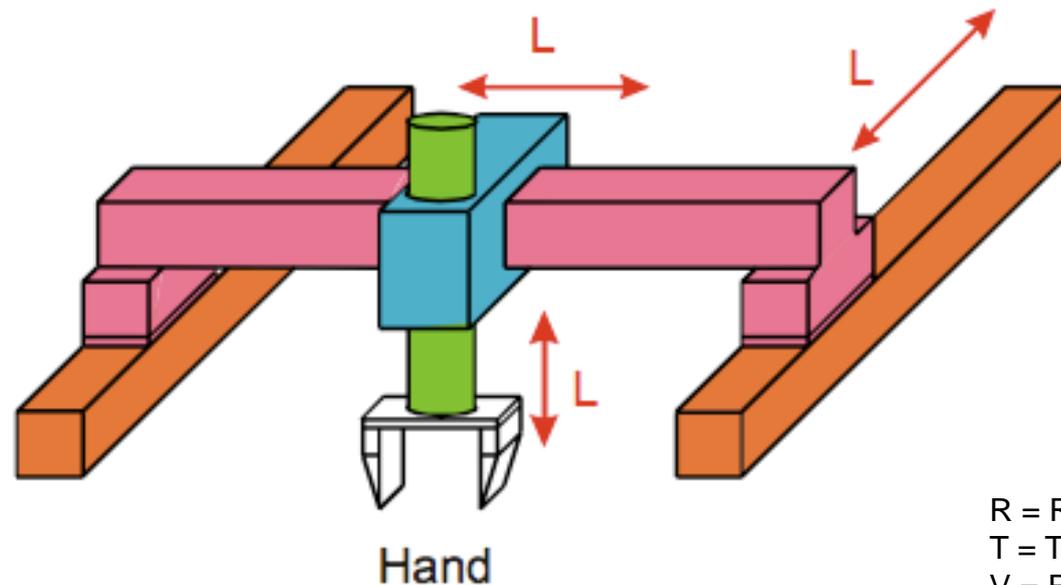
Arbeitsraum: Quader

Typ: LLL

Arbeitsraum (4)

Arbeitsraum im kartesischen Koordinatensystem

■ Beispiel 2:



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

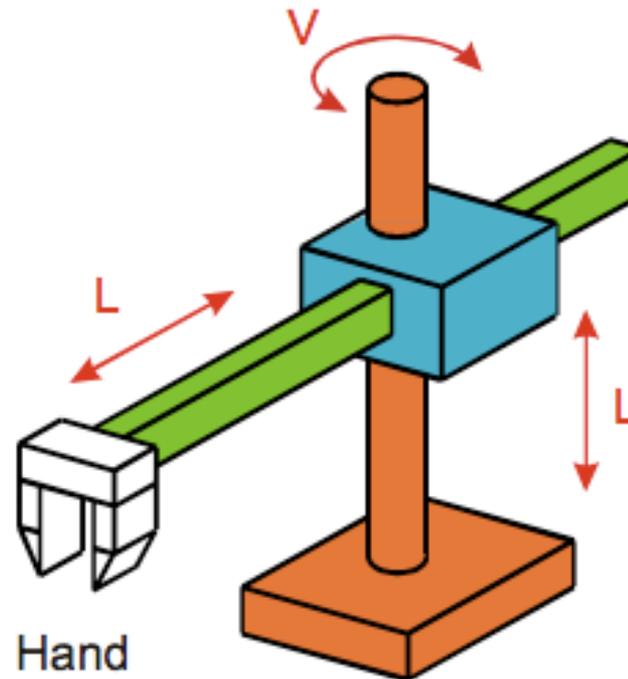
Arbeitsraum: Quader

Typ: LLL

Arbeitsraum (5)

Arbeitsraum im Zylinderkoordinatensystem

■ Beispiel 1:



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

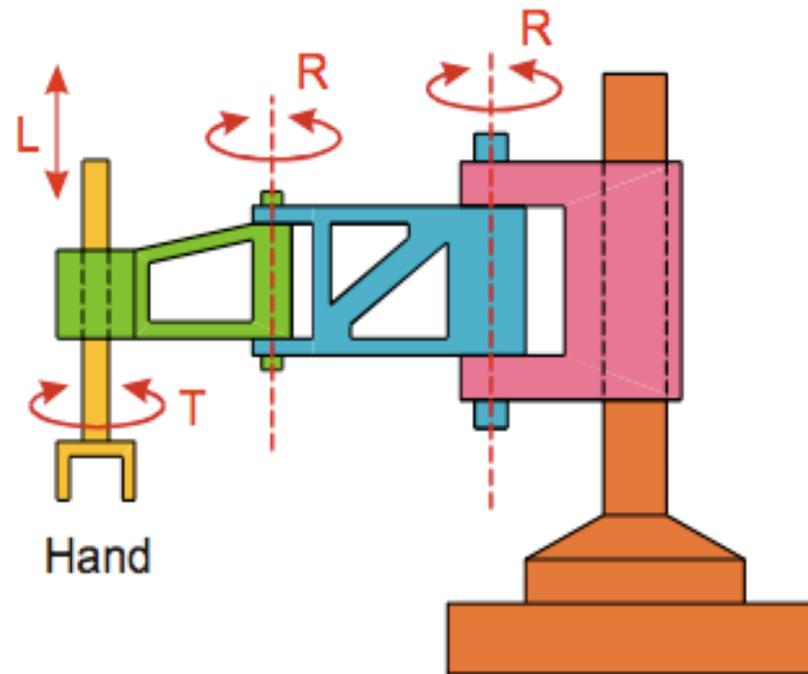
Arbeitsraum: Hohlzylinder

Typ: LVL
 Andere Typen: TLL, LTL

Arbeitsraum (6)

Arbeitsraum im Zylinderkoordinatensystem

- Beispiel 2: Roboter vom Typ „SCARA“



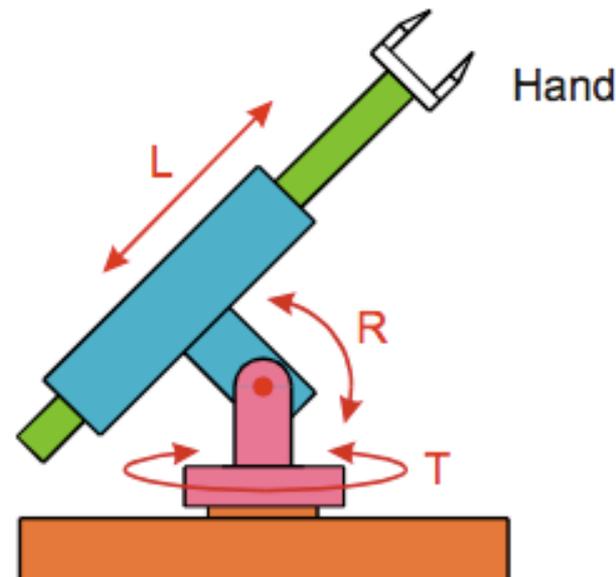
Arbeitsraum: Hohlzylinder

Typ: RRLT

Arbeitsraum (7)

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

■ Beispiel 1:



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

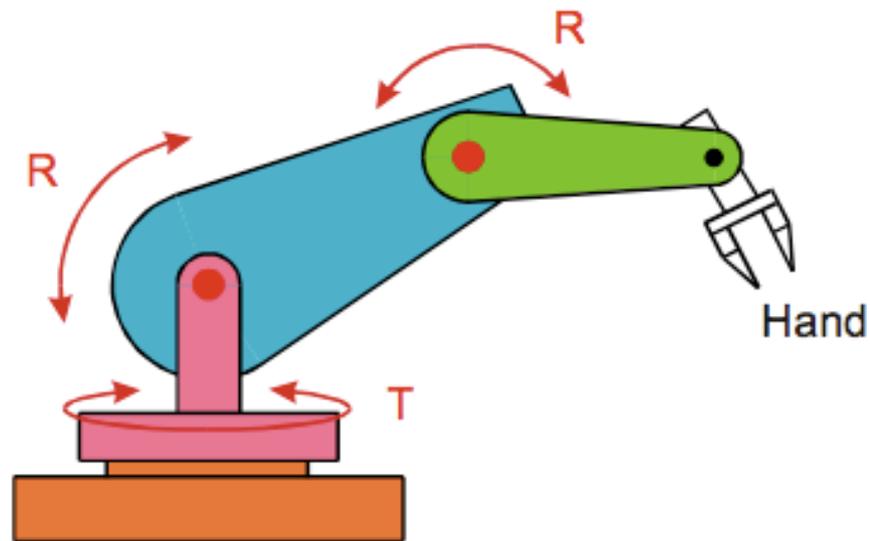
Arbeitsraum: Hohlkugel

Typ: TRL

Arbeitsraum (8)

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

■ Beispiel 2: Gelenkarm-Roboter



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

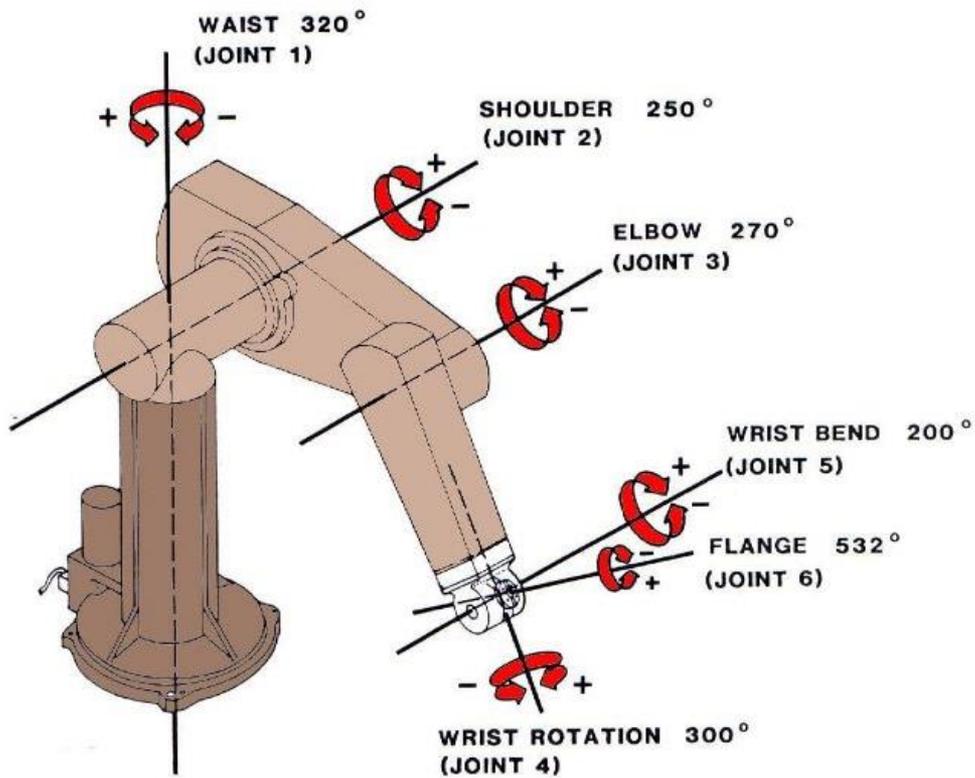
Arbeitsraum: Hohlkugel

Typ: TRR
Andere Typen: VVR

Arbeitsraum (9)

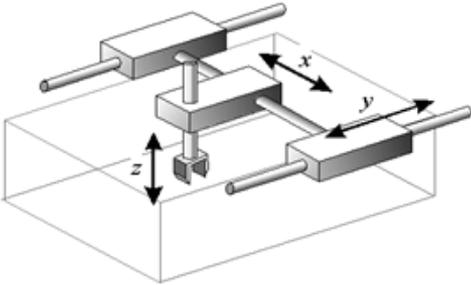
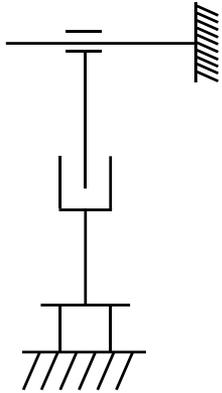
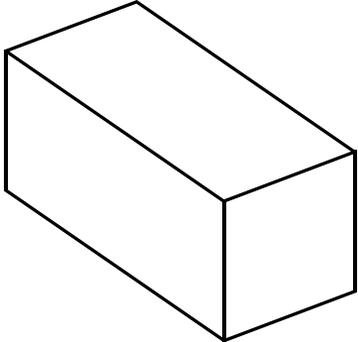
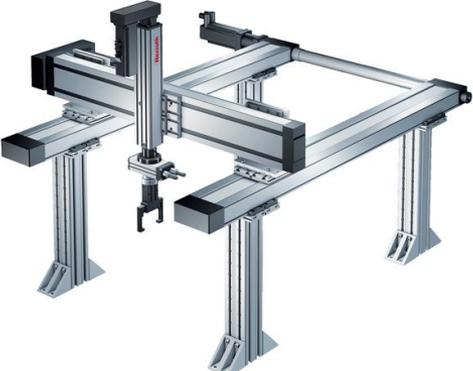
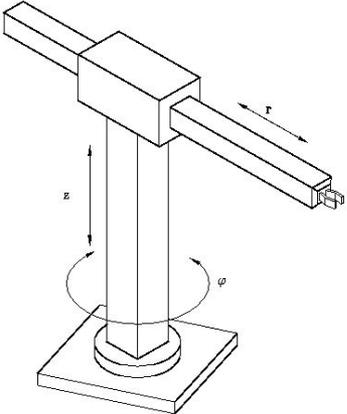
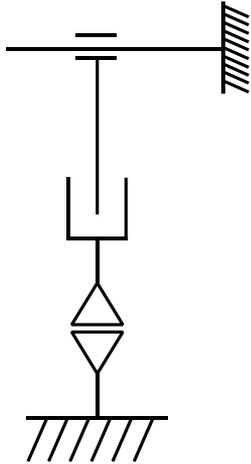
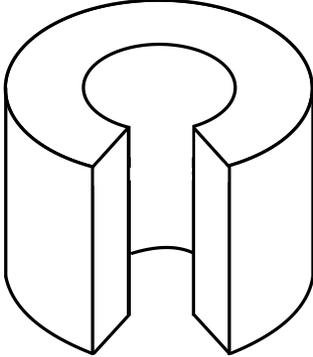
Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

- Roboter vom Typ „PUMA“

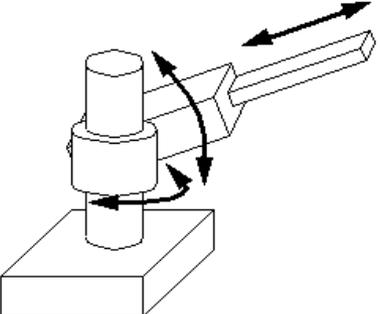
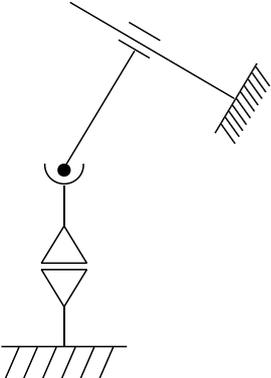
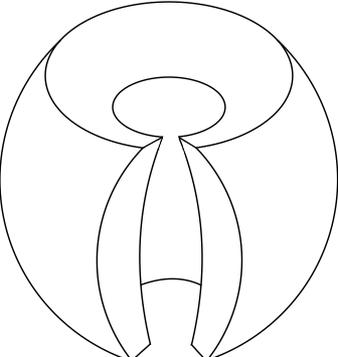
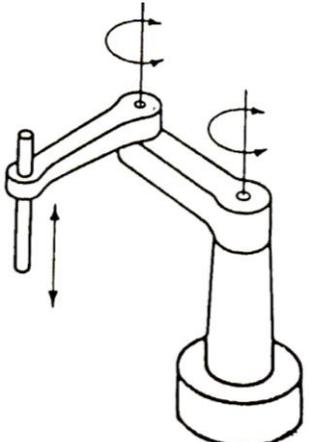
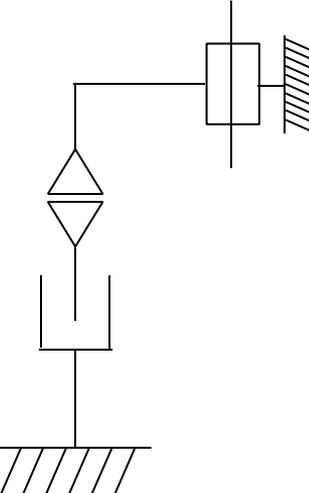
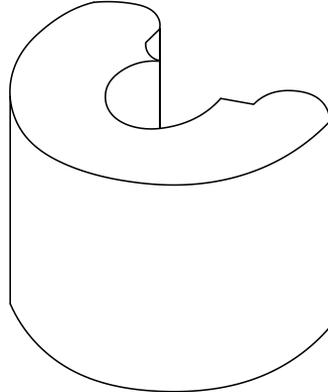


http://rutherford-robotics.com/PUMA/images/PUMA_limits.JPG

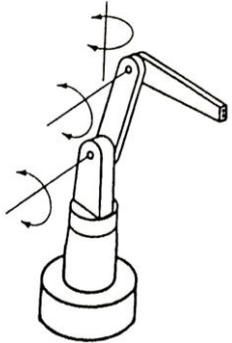
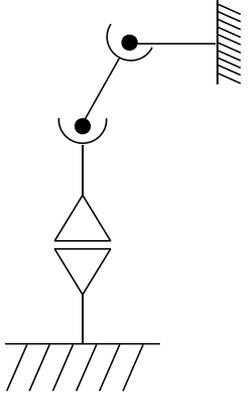
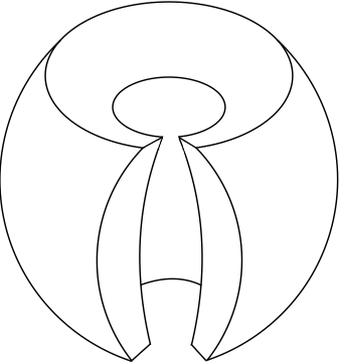
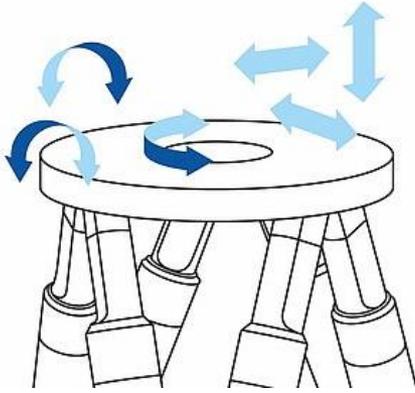
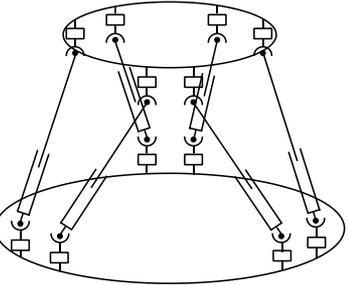
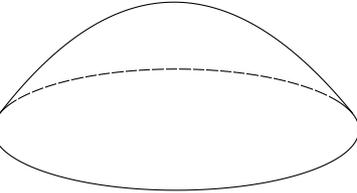
Beispiele für Arbeitsräume (1)

Principle	Kinematic structure	Workspace	Photo
 <p data-bbox="156 696 465 739">Cartesian robot</p>			
 <p data-bbox="146 1228 475 1270">Cylindrical robot</p>			

Beispiele für Arbeitsräume (2)

Principle	Kinematic structure	Workspace	Photo
 <p data-bbox="164 692 473 735">Spherical robot</p>			
 <p data-bbox="183 1228 434 1270">SCARA robot</p>			

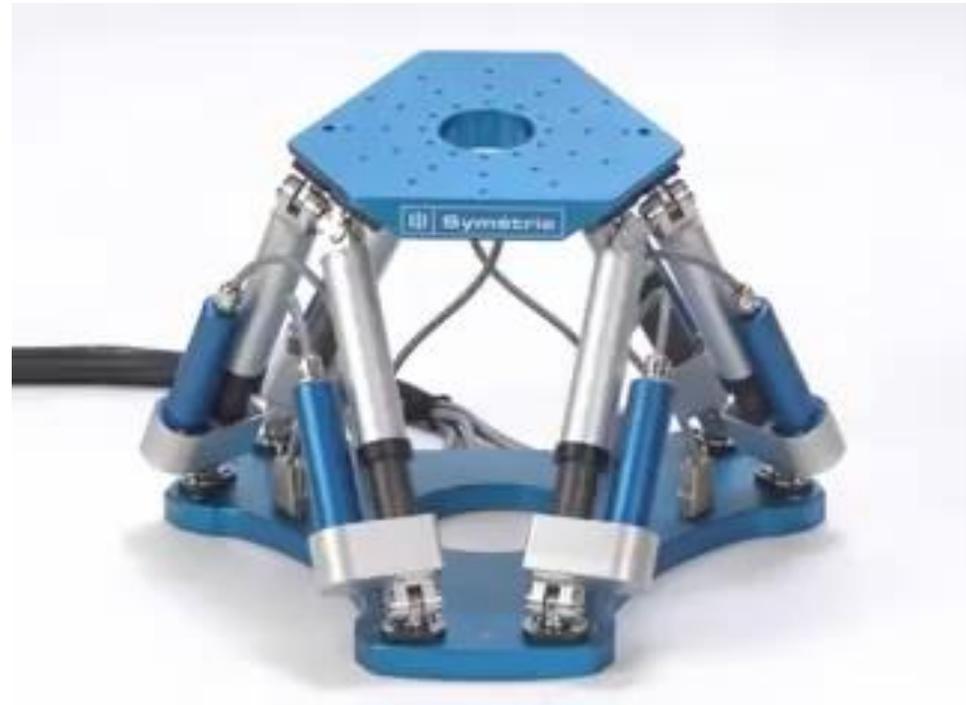
Beispiele für Arbeitsräume (3)

Principle	Kinematic structure	Workspace	Photo
 <p data-bbox="150 699 492 742">Articulated robot</p>			
 <p data-bbox="183 1228 454 1278">Parallel robot</p>			

Paralleler Roboter

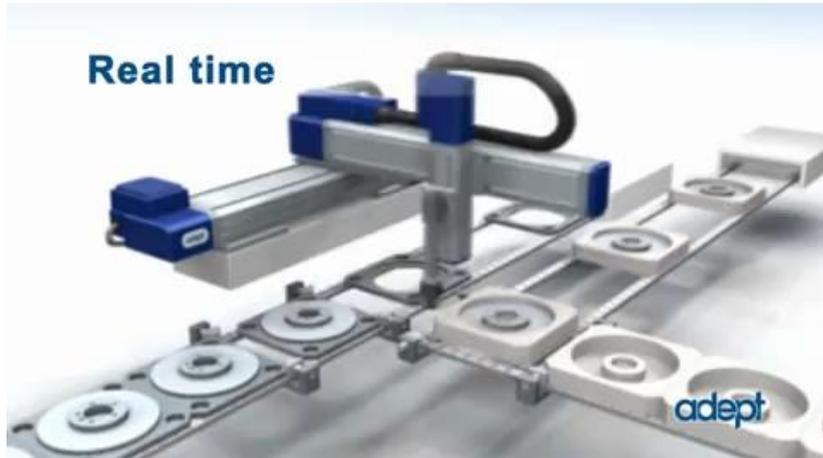
Stewart-Plattform

- 6 Freiheitsgrade
 - 3 rotatorisch
 - 3 translatorisch
- Anwendungsfelder:
 - Fahr- und Flugsimulatoren
 - Krantechnologie
 - Medizin
 - Teleskope



Kommerzielle Robotertypen

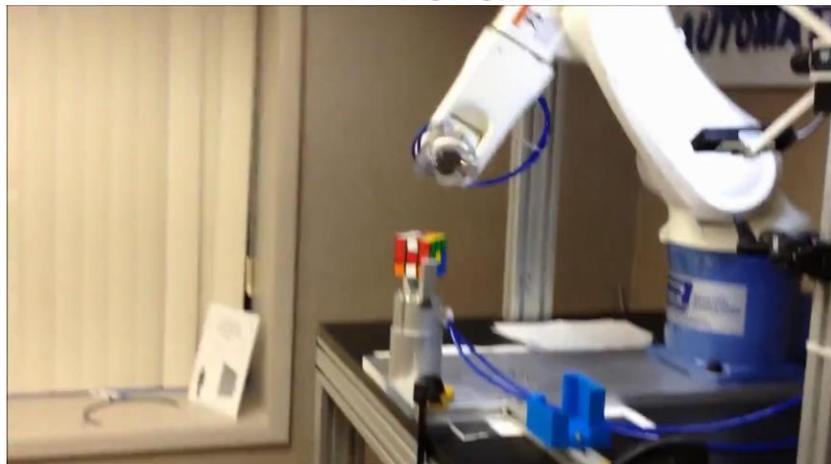
Linear



SCARA



Knickarm

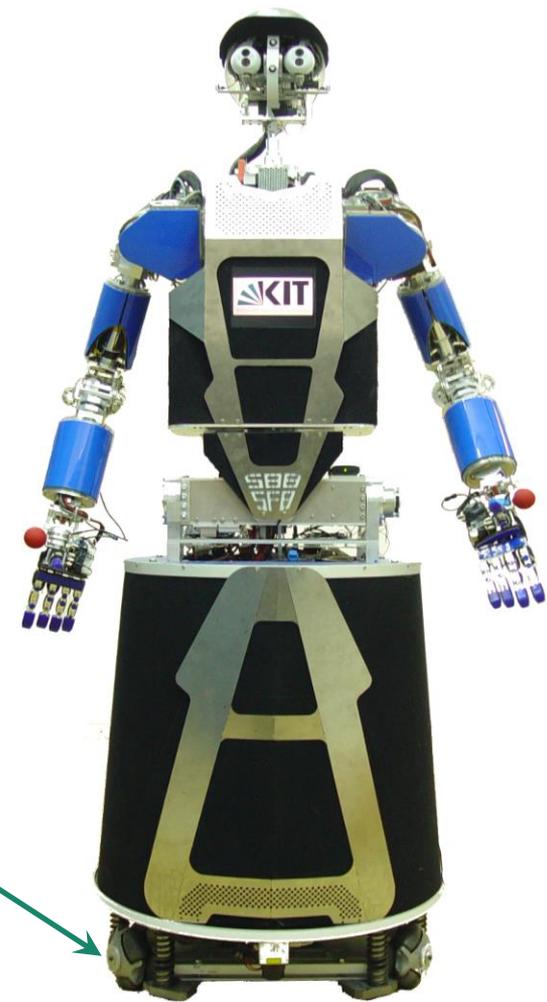
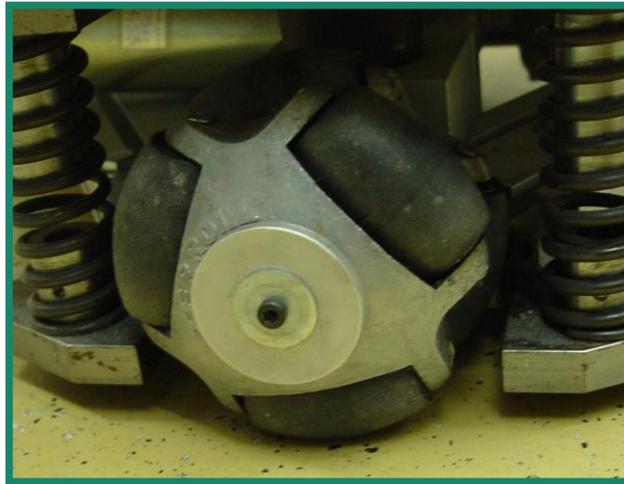


Delta (Parallel)



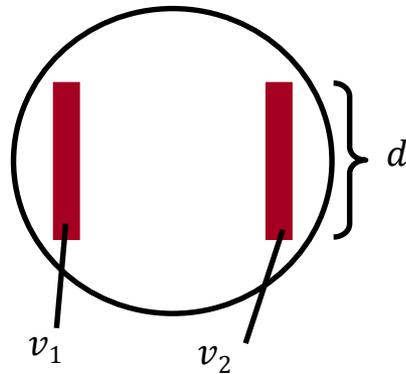
Inhalt

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

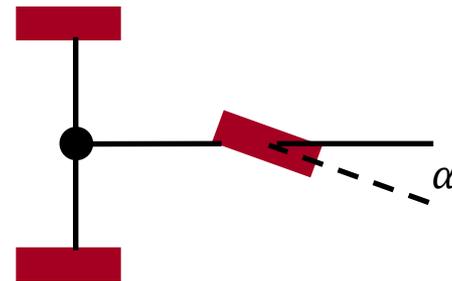


Radkonfigurationen (1) - Übersicht

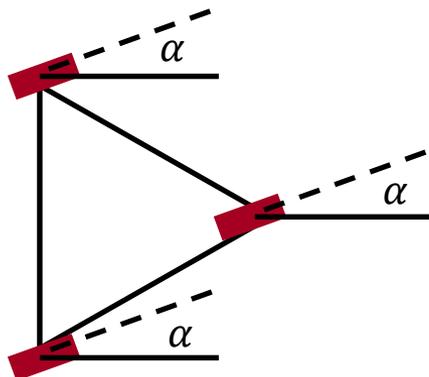
Differentialantrieb



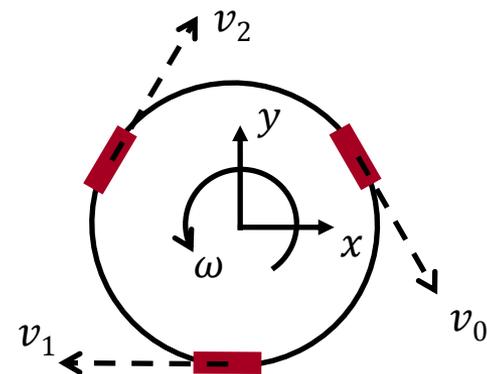
Dreirad-Antrieb



Synchro-Antrieb



Mecanum-Antrieb



Radkonfigurationen (2)

Differentialantrieb

■ Eigenschaften

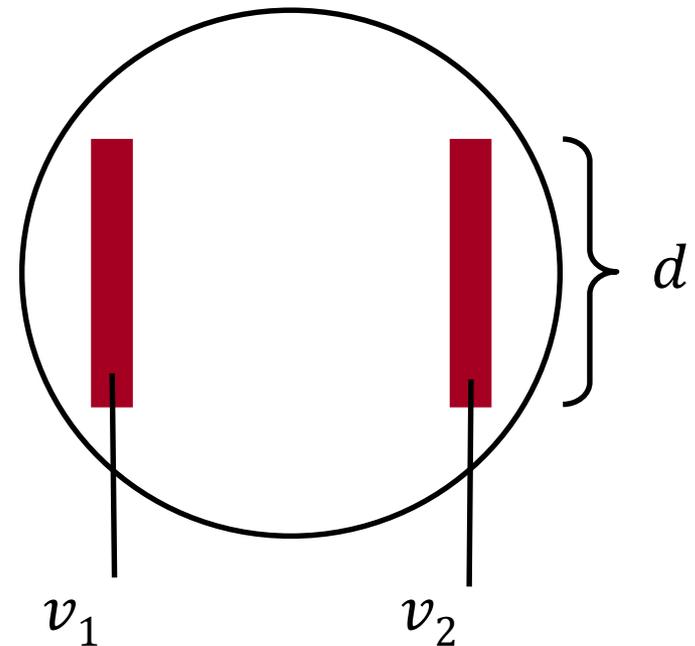
- Geradeaus-und Kurvenfahrten
- Drehen auf der Stelle
- Vorwärts-und Rückwärtsfahrten
identisch

■ Vorteile

- einfache Mechanik

■ Nachteile

- Radregelung in Echtzeit



Radkonfigurationen (3)

Synchro-Drive

■ Eigenschaften

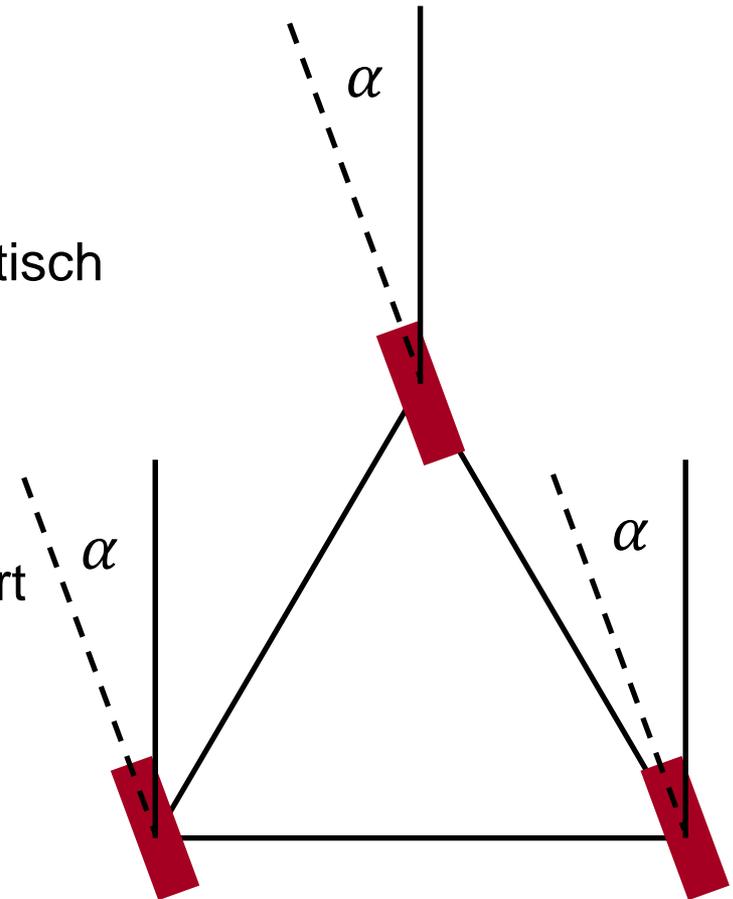
- Geradeaus- und Kurvenfahrten
- Vorwärts- und Rückwärtsfahrten identisch
- Plattform dreht nicht mit

■ Vorteile

- Einfache Regelung
- Geradeausfahrt mechanisch garantiert

■ Nachteile

- Mechanische Komplexität



Radkonfigurationen (4)

Dreirad-Antrieb

■ Eigenschaften

- Geradeaus- und Kurvenfahrten
- Vorwärts- und Rückwärtsfahrten unterschiedlich

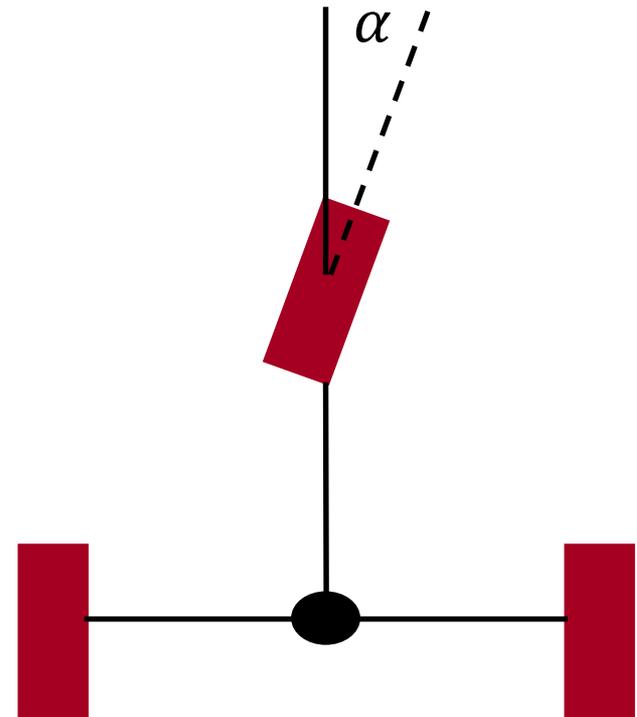
(Anmerkung: Für das Abfahren der selben Trajektorie sind für die Vorwärts- / Rückwärtsfahrt unterschiedliche Stellsignale $\alpha(t)$ zu verwenden.)

■ Vorteile

- Einfache Mechanik

■ Nachteile

- Eingeschränkte Manövrierfähigkeit



Radkonfigurationen (5)

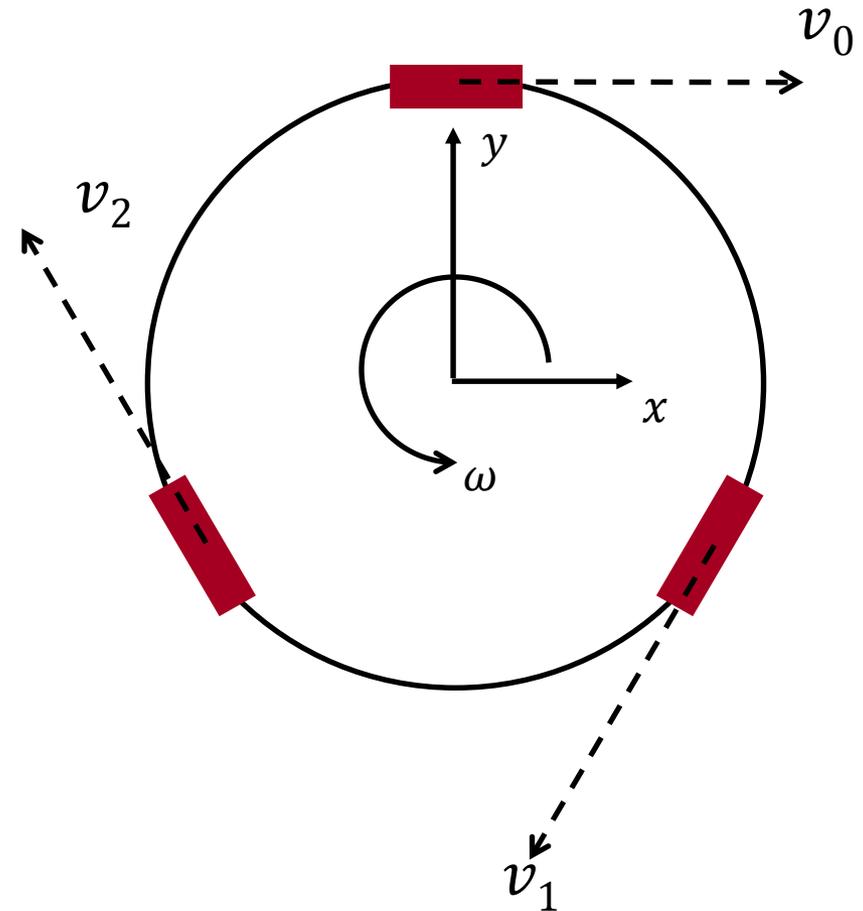
Mecanum-Antrieb

■ Eigenschaften / Vorteile

- Uneingeschränkte Beweglichkeit in Richtungen x , y und ω

■ Nachteile

- Mechanische Komplexität
- Aufwendige Regelung



Mecanum-Antrieb (1)



Mecanum-Antrieb (2)



Inhalt

- Mechanische Komponenten
- Antriebe
 - Fluidische Antriebe
 - Muskelartige Antriebe
 - Elektrische Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



Fluidischer Antrieb (1)

Linearantrieb

■ Kolbengeschwindigkeit

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

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

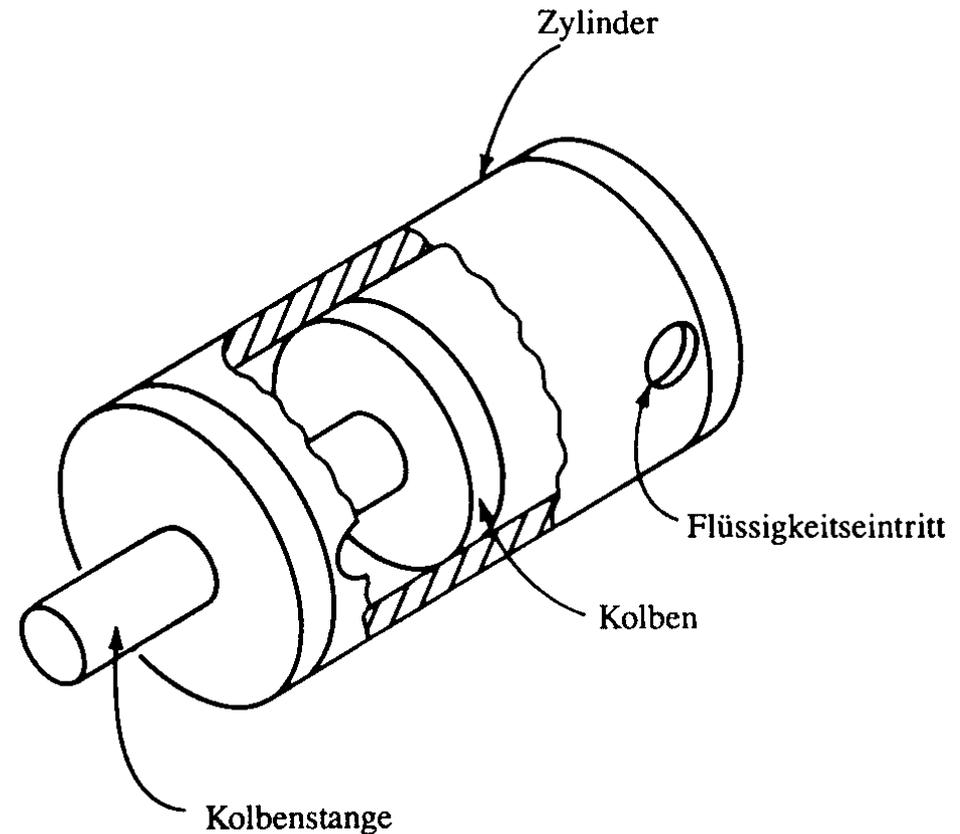
A : Grundfläche des Kolbens

■ Kolbenkraft $F(t)$

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

$P(t)$: Druck des Mediums

A : Grundfläche des Kolbens



Fluidischer Antrieb (2)

Schaufelrad

- Winkelgeschwindigkeit des Kolbens

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

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

h : Höhe des Schaufelrades

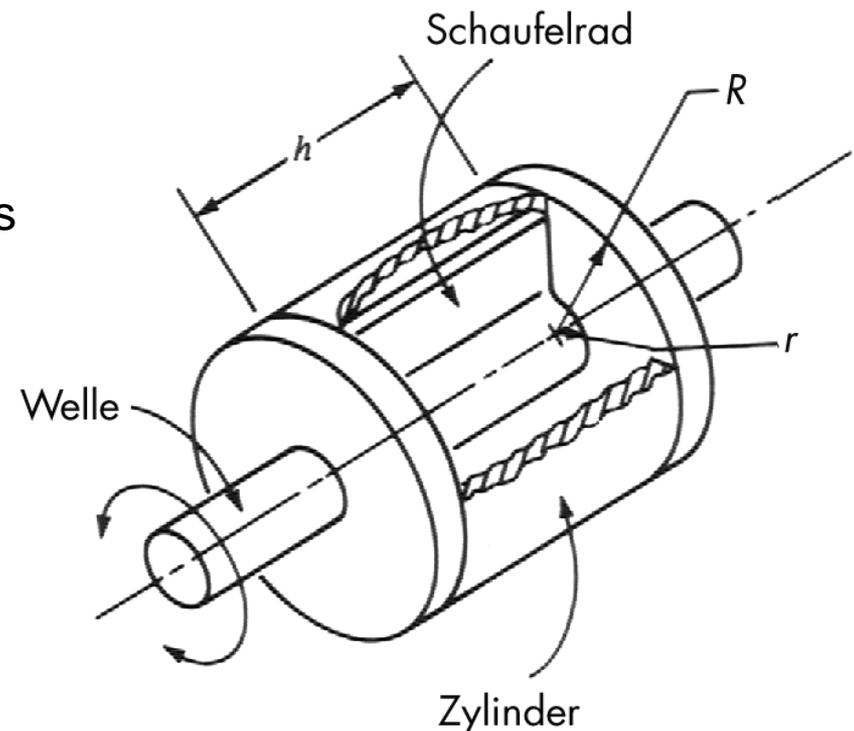
r : innerer Radius des Schaufelrades

R : äußerer Radius des Schaufelrades

- Drehmoment des Kolbens $T(t)$

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

$P(t)$: Druck des Mediums



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, Roboterhände

Muskelartiger Antrieb (3)

Hydraulischer Antrieb

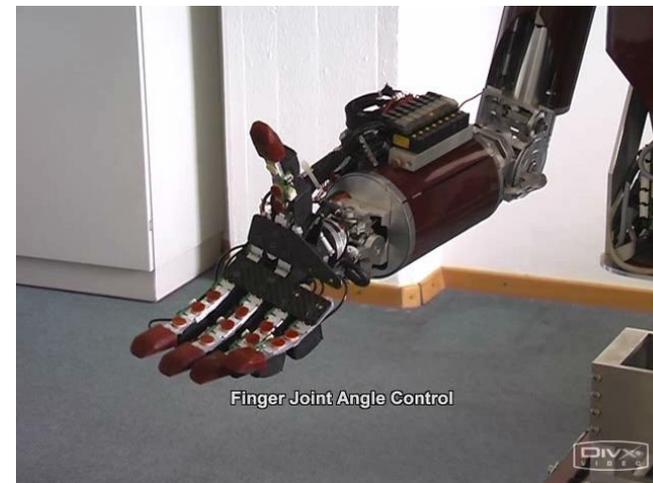
- **Stellenergie:** Öldruckpumpe und steuerbare Ventile
- **Vorteile:** sehr große Kräfte, mittlere Geschwindigkeit
- **Nachteile:** laut, zusätzlicher Platz für Hydraulik, Ölverlust führt zu Verunreinigung, Ölviskosität erlaubt keine guten Reaktionszeiten und keine hohen Positionier- und Wiederholgenauigkeiten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

Beispiel pneumatischer Antriebe

Roboter AirBug (FZI)



Karlsruher Fluidhand und ARMAR-III Hand

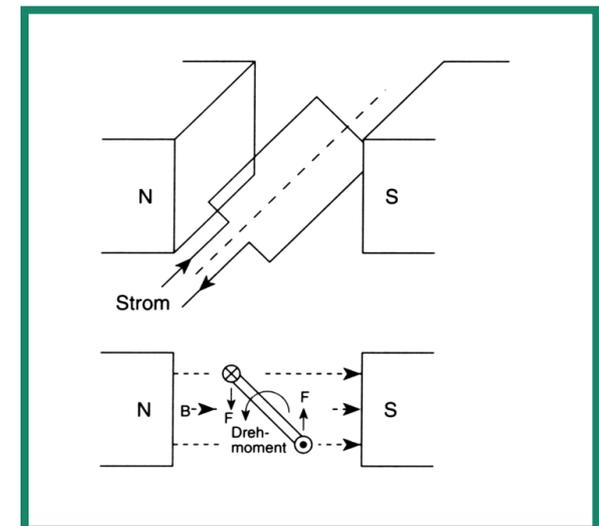
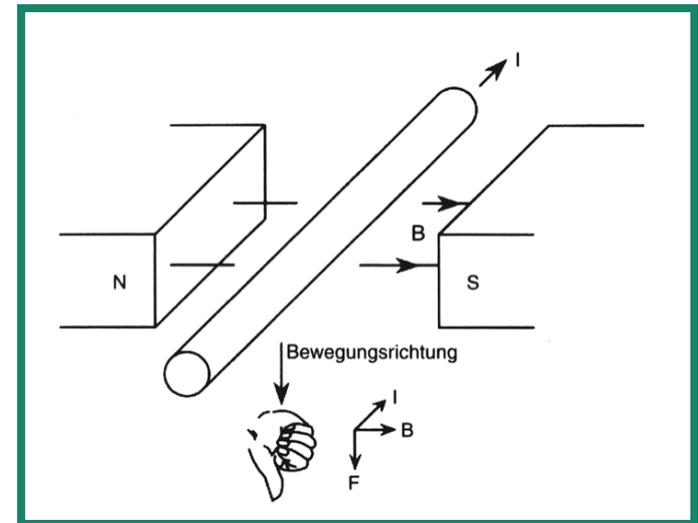


Elektrischer Antrieb (1)

- **Stellenergie:** Schritt- oder Servomotoren
- **Vorteile:** wenig Platzbedarf, kompakt, leise, 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

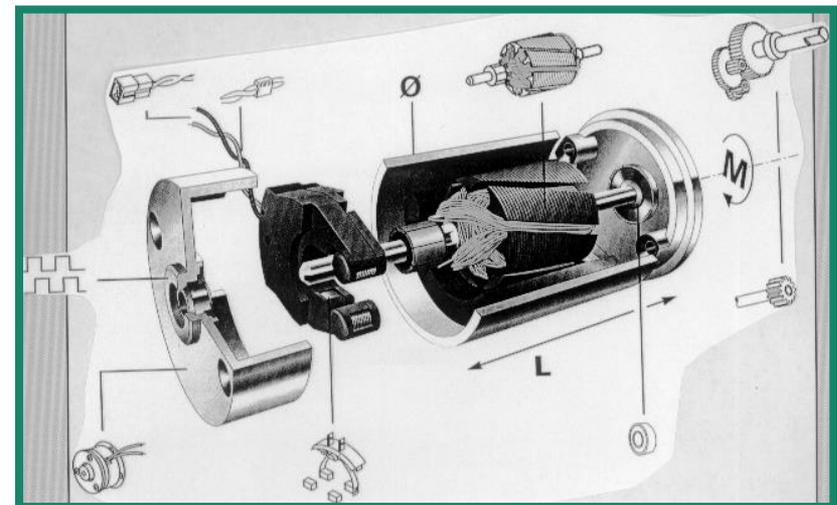
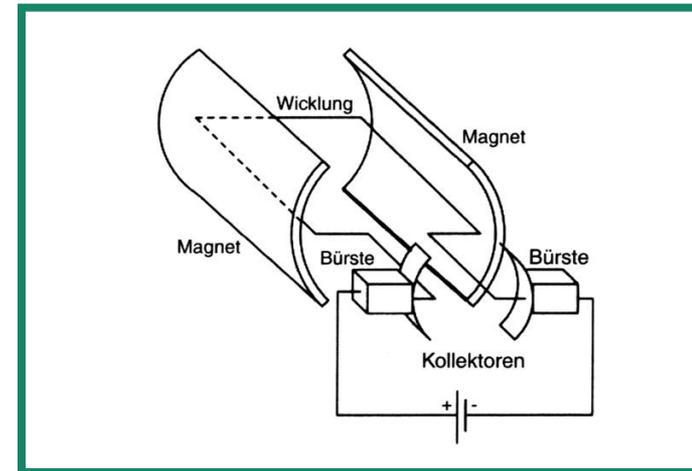


Funktionsweise Elektromotor (2)

- für Drehbewegung muss Polarität gewechselt werden

- Polaritätswechsel mechanisch (oder Wechselstrom)

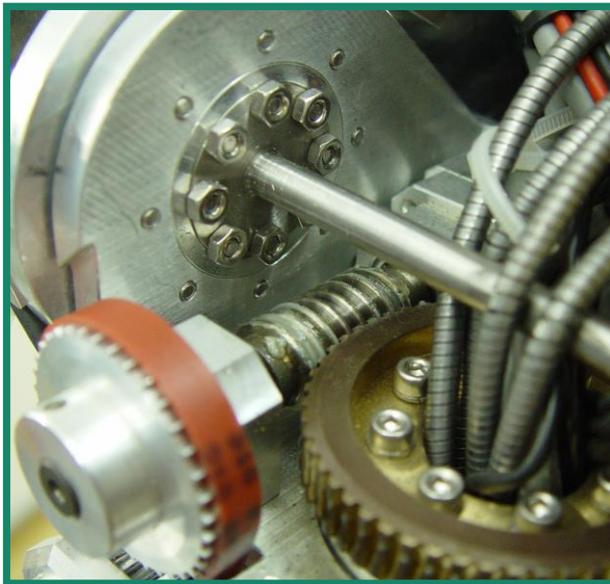
- Eisenkerne bündeln das Magnetfeld



DC-Motor von Faulhaber

Inhalt

- Mechanische Komponenten
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



Getriebe: Übersicht

- Zur Übertragung und Umwandlung von Drehbewegungen und Kräften
- Beispiele
 - Stirnradgetriebe
 - Planetengetriebe
 - Schneckenradgetriebe
 - Leitspindel und Mutter
 - Zahnstangengetriebe
 - Riemenscheibenantrieb
 - Seilzug
 - Harmonic Drive

Stirnradgetriebe

■ Untersetzung

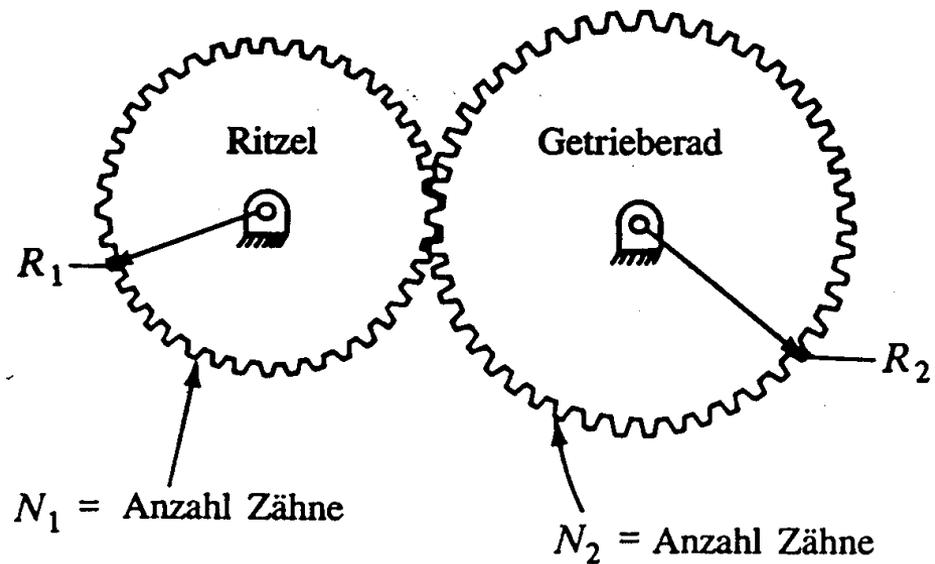
$$n = N_1/N_2$$

■ Winkelgeschwindigkeit

$$W_2 = nW_1$$

■ Drehmoment

$$T_2 = T_1/n$$



Schrauben- & Spindelgetriebe

- Lineargeschwindigkeit $v(t)$

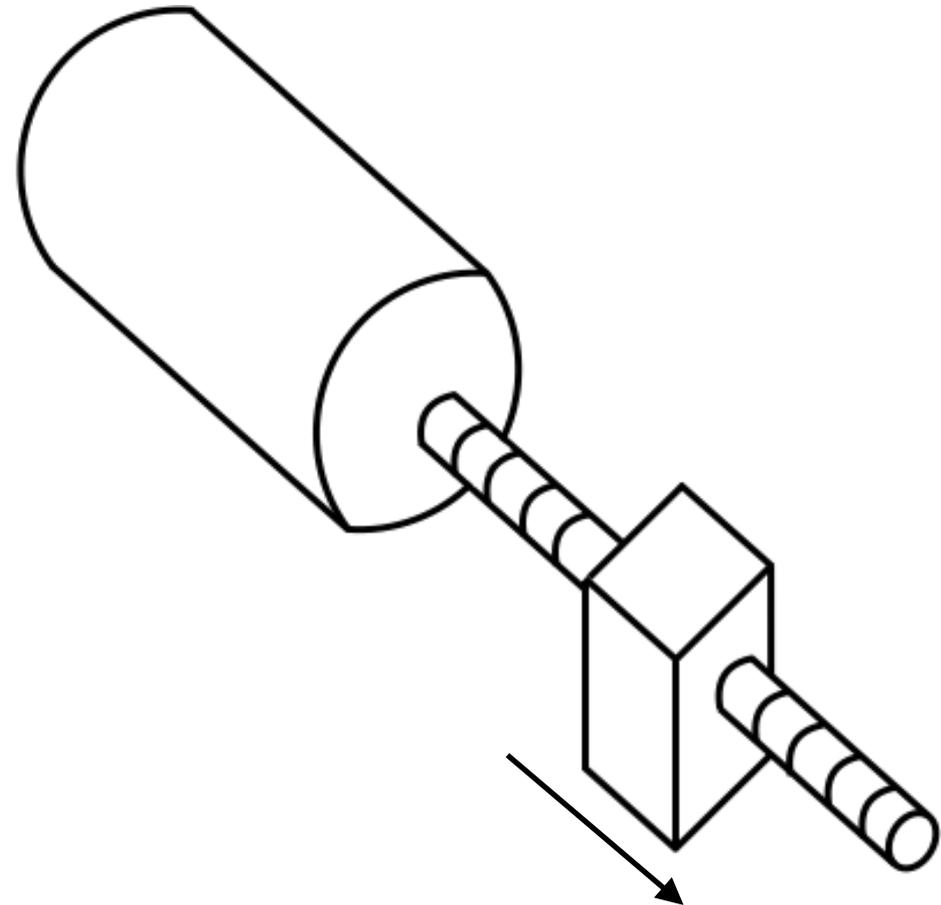
$$v(t) = p * W(t)$$

p : Steigungskonstante (Ganghöhe)
 Entfernung, welche die Schraube
 bei einer Umdrehung zurücklegt
 $W(t)$: Winkelgeschwindigkeit

- Kraft F

$$F = \frac{2T\pi \cdot d_m - \mu \cdot p \sec\beta}{d_m \cdot p + \mu\pi d_m \cdot \sec\beta}$$

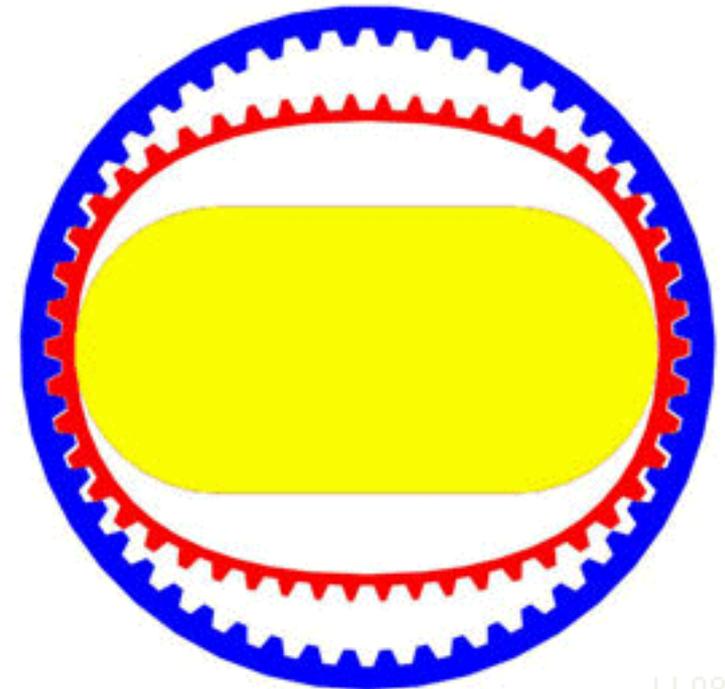
T : Drehmoment
 d_m : Gewindewinkel
 \sec : mittlere Durchmesser der Schraube
 μ : Reibungskoeffizient



Getriebe: Harmonic Drive (1)

Harmonic Drive

- Gutes Übersetzungsverhältnis
- Sehr genaue Bewegung
- Hohe Positioniergenauigkeit
- Das Getriebe für Leichtbauroboter



Wavegenerator

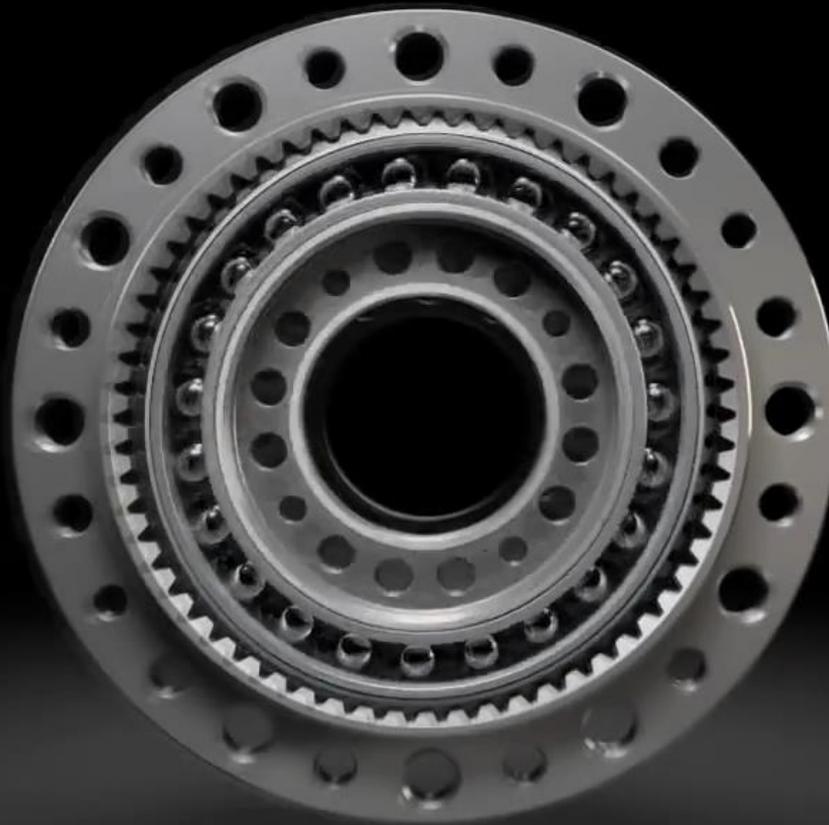
Flexible Spline

Circular Spline

LL08

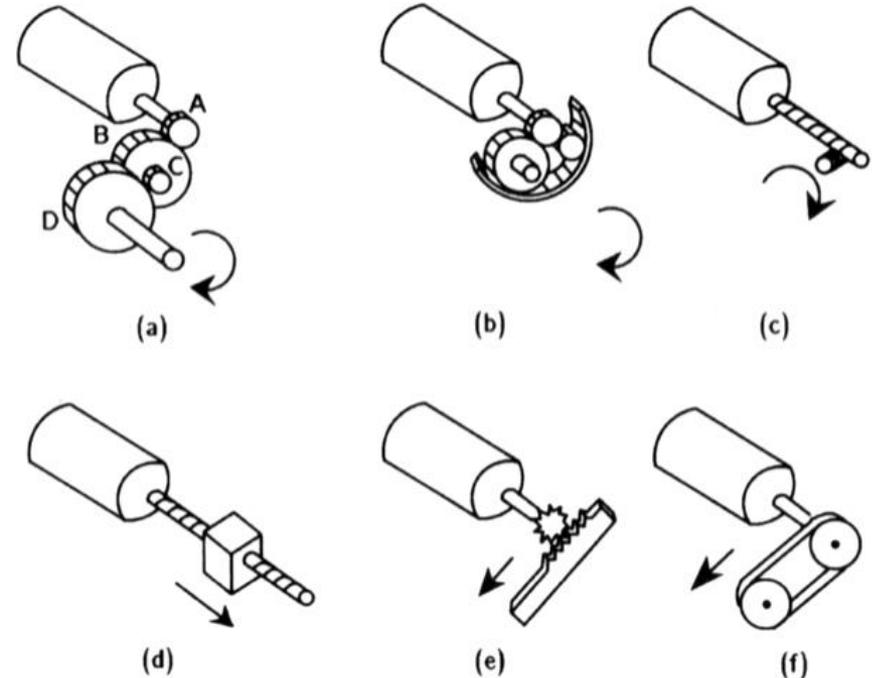


Getriebe: Harmonic Drive (2)



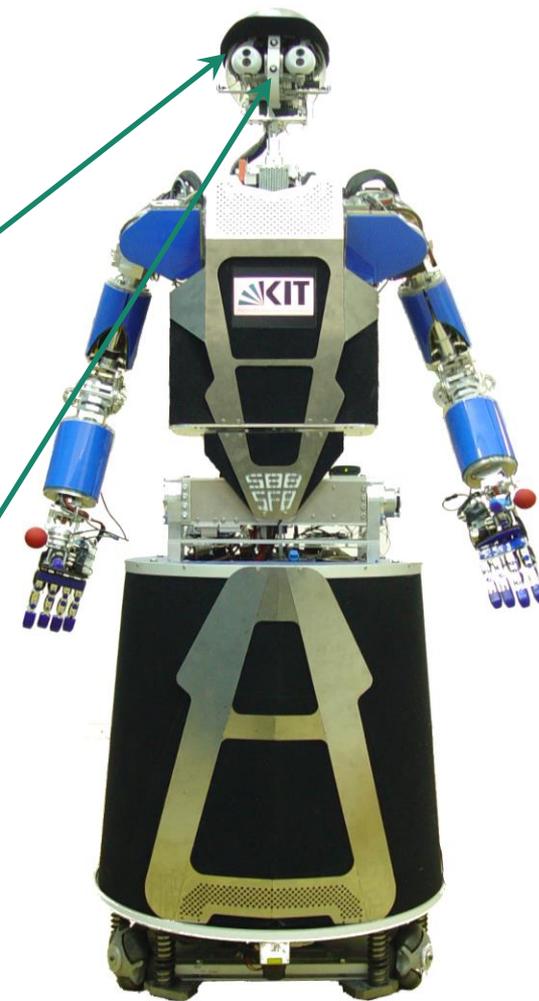
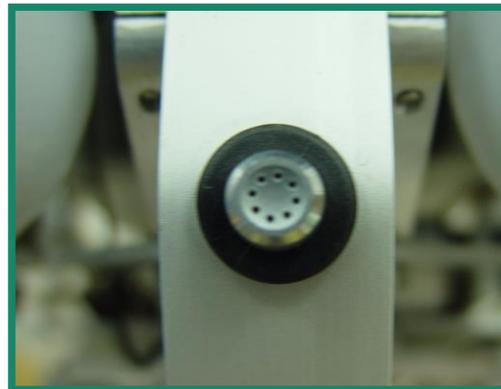
Getriebe (5) - Übersicht

- Stirnradgetriebe (a)
- Planetengetriebe (b)
- Schneckenradgetriebe (c)
- Leitspindel und Mutter (d)
- Zahnstangengetriebe (e)
- Riemenscheibenantrieb (f)
- Seilzug
- Harmonic Drive



Inhalt

- Mechanische Komponenten
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



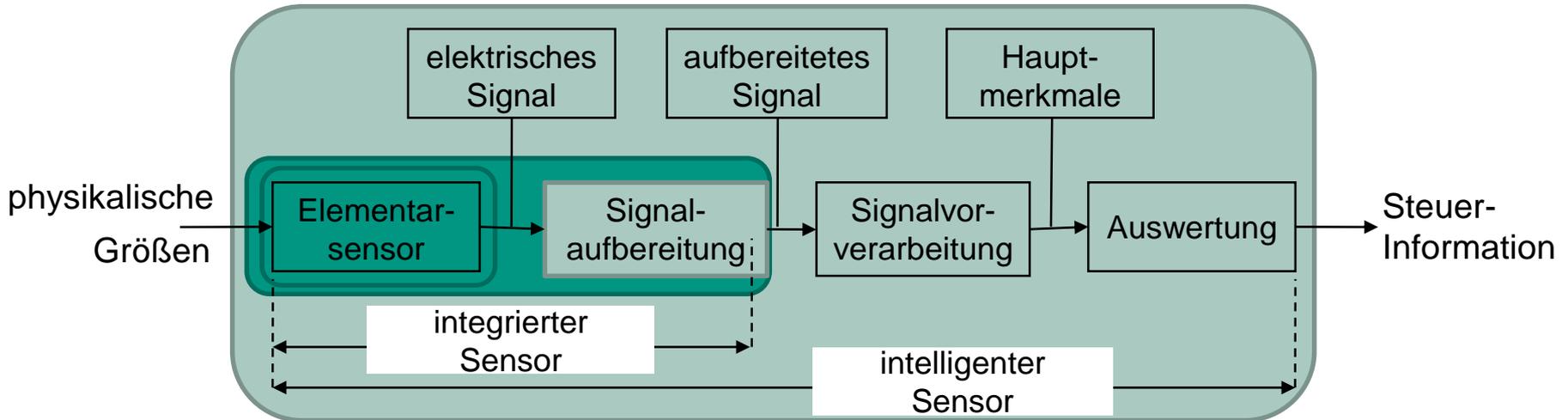
Sensoren (1)

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