

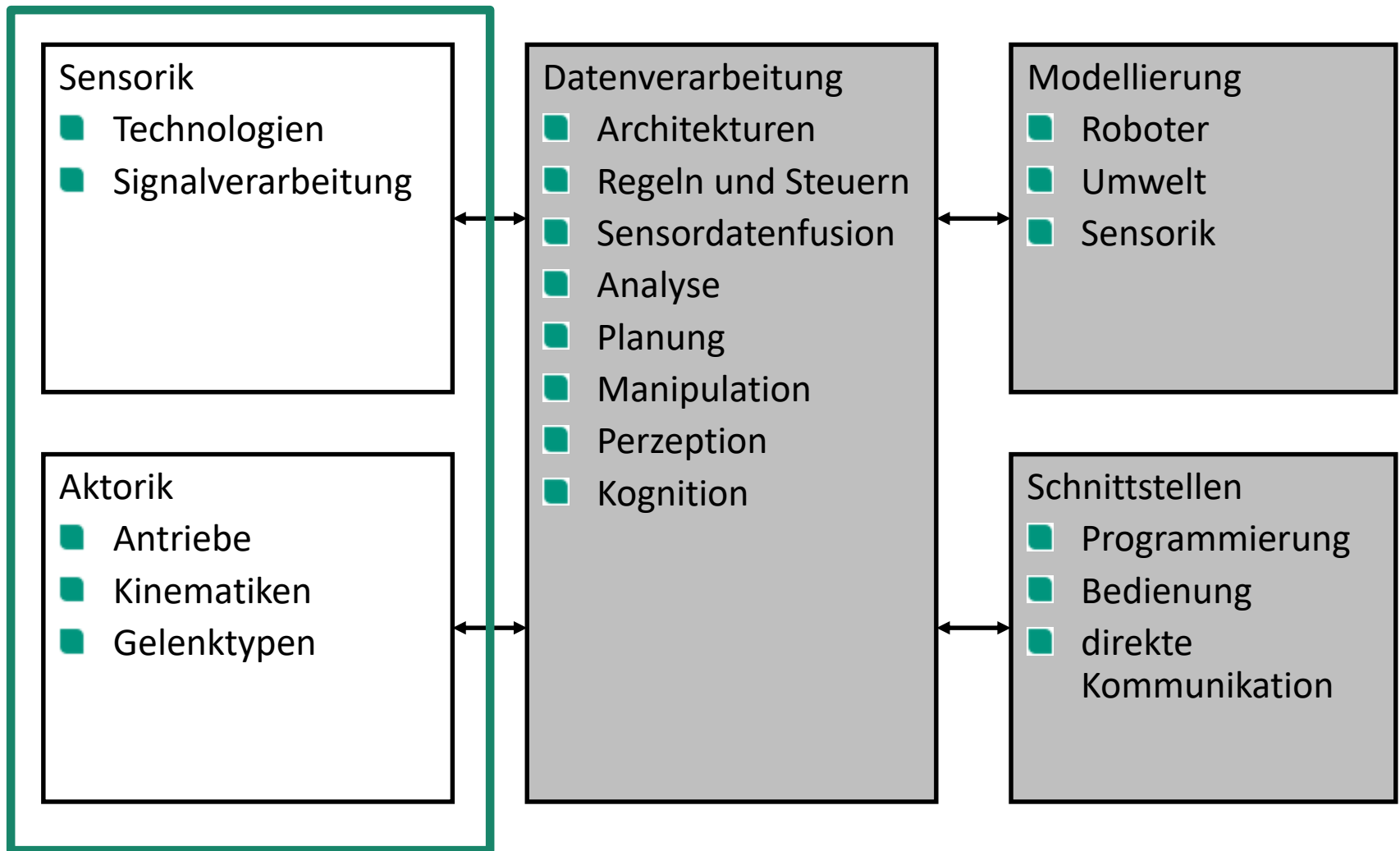
Robotik I: Einführung in die Robotik Teilsysteme

Tamim Asfour, Rüdiger Dillmann
Institut für Anthropomatik und Robotik

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



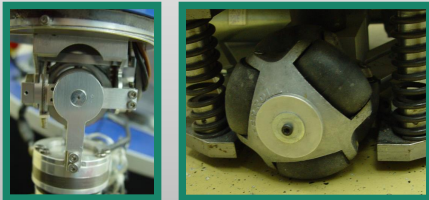
Übersicht der heutigen Vorlesung



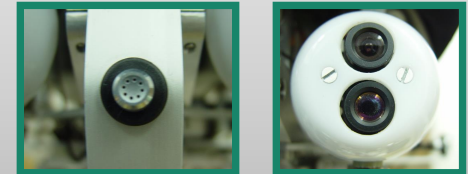
Überblick – Roboter „ARMAR-III“

- Aus welchen Komponenten besteht ein Roboter ?

Mechanische Komponenten



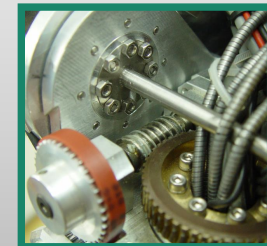
Sensoren



Antriebe

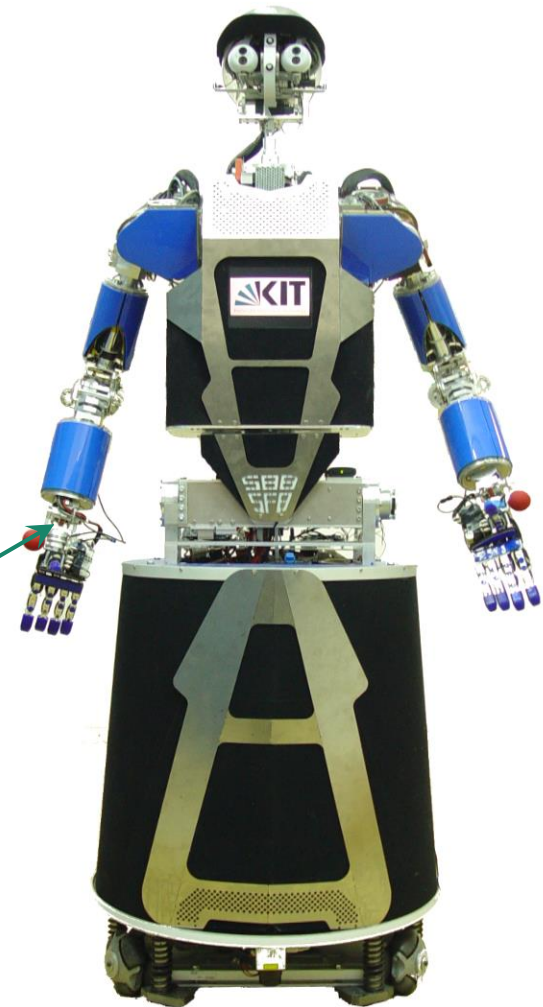


Getriebe



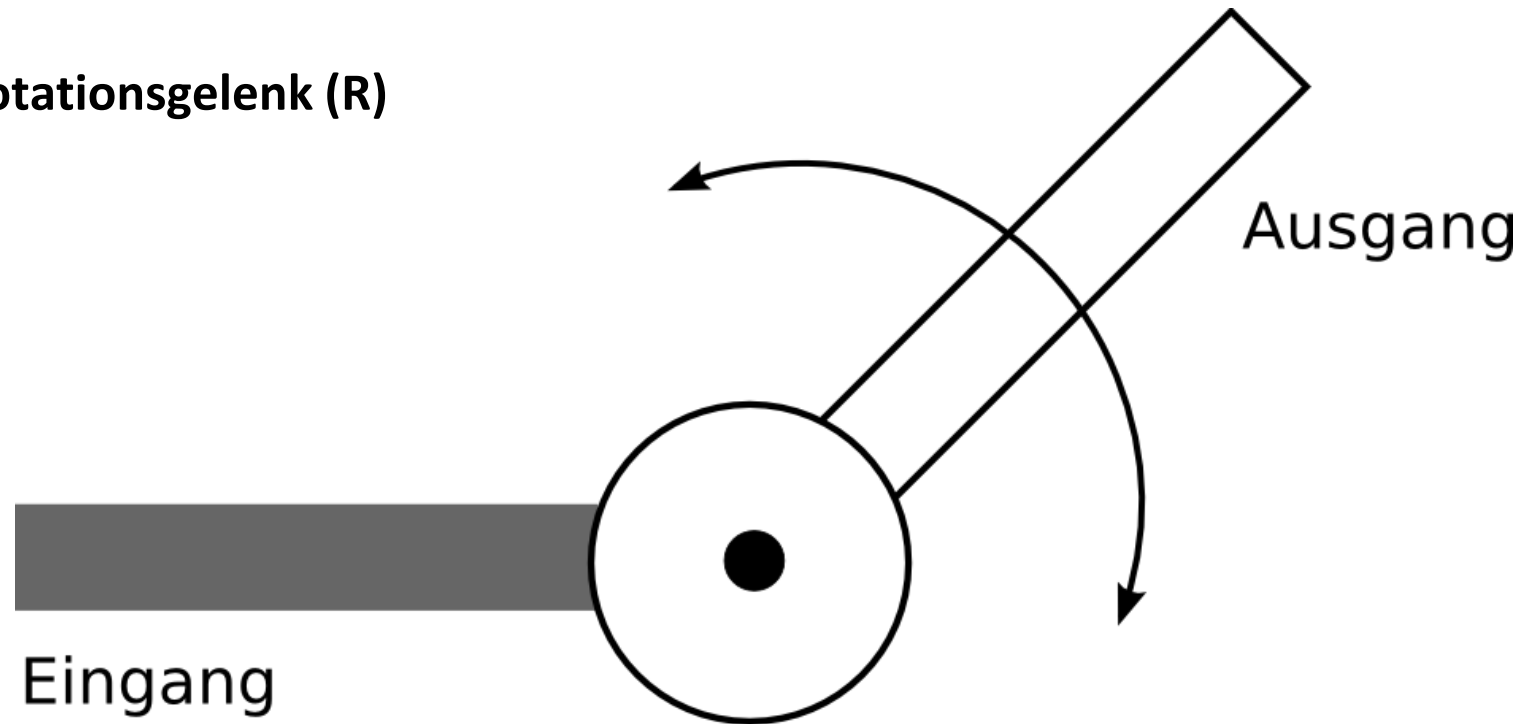
Inhalt

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



Gelenktypen (1)

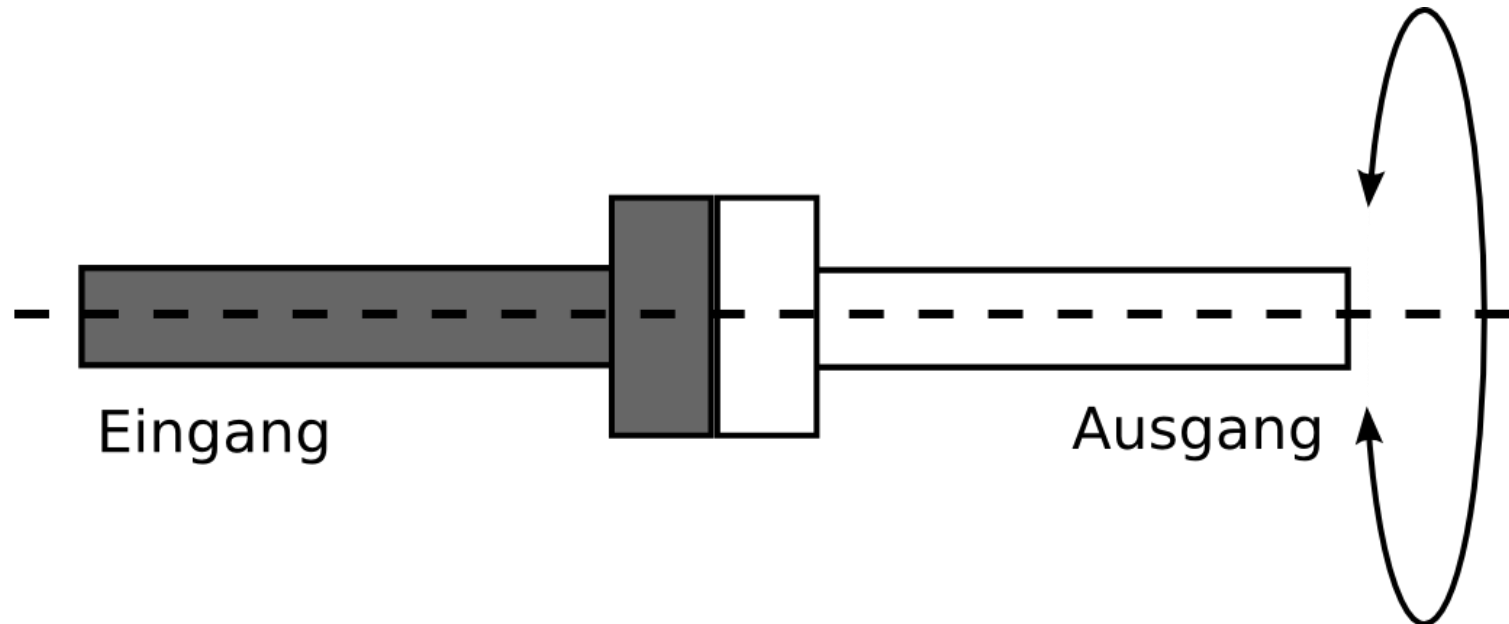
■ Rotationsgelenk (R)



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

Gelenktypen (2)

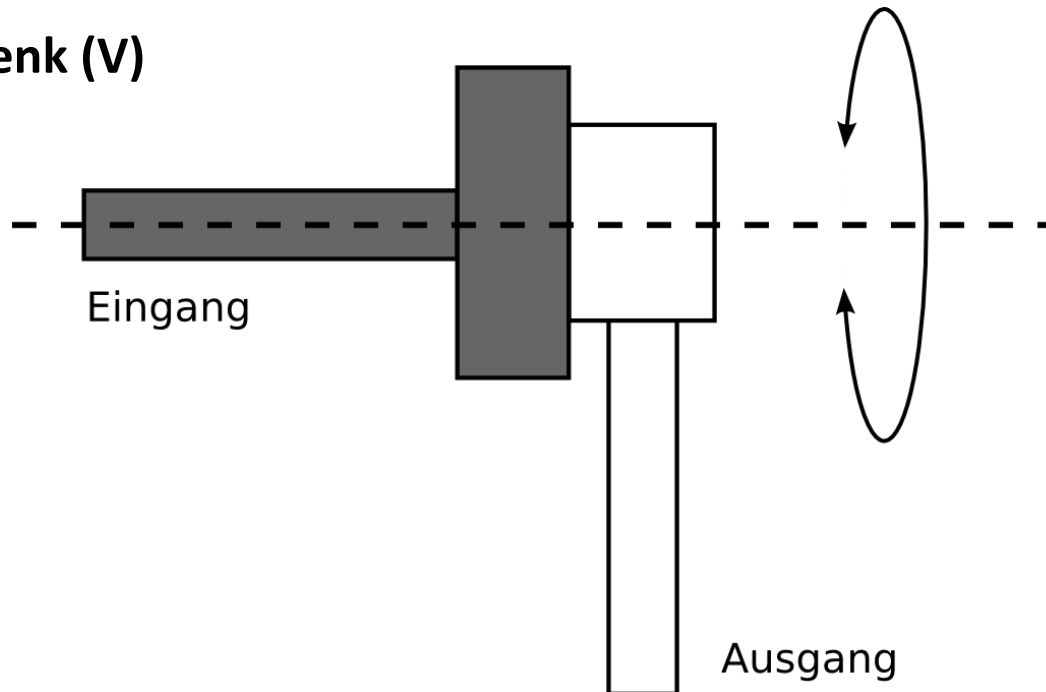
■ Torsionsgelenk (T)



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

Gelenktypen (3)

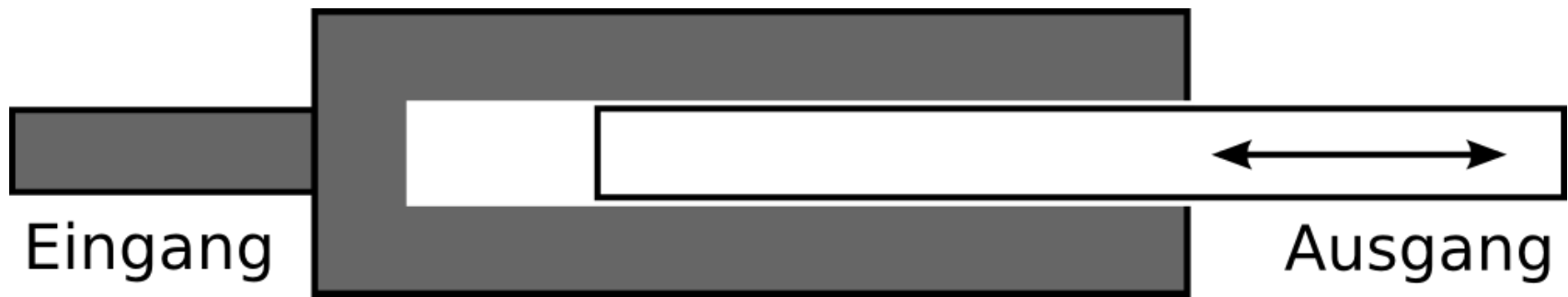
■ Revolvergelenk (V)



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

Gelenktypen (4)

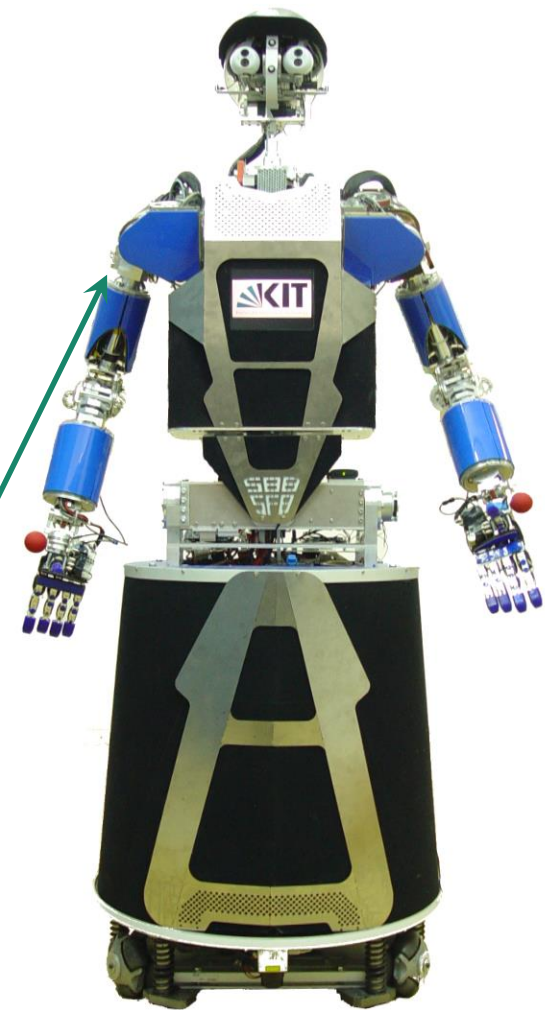
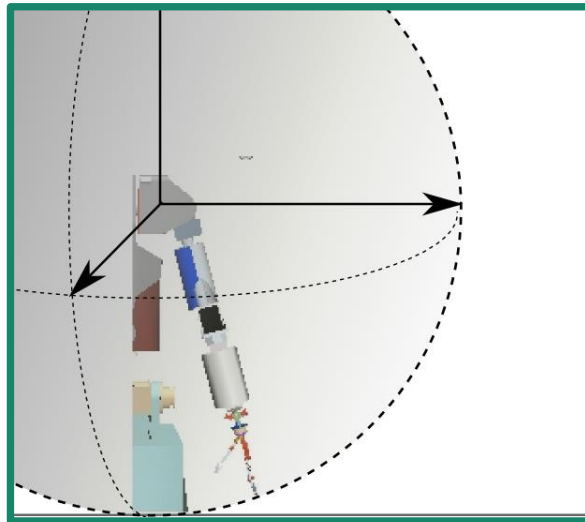
■ Lineargelenk (L)



- 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.

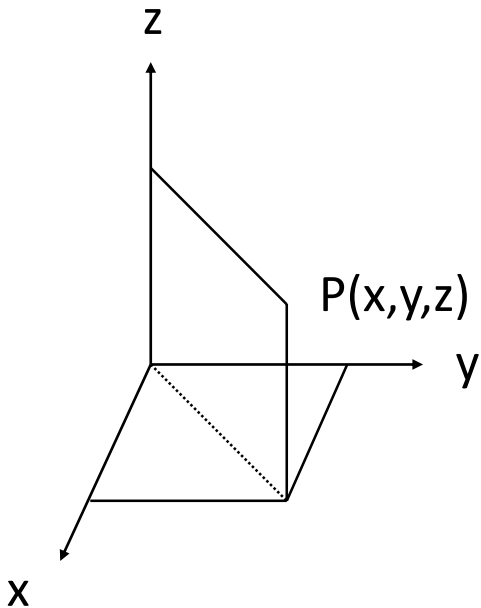
■ Grundform des Arbeitsraums

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.

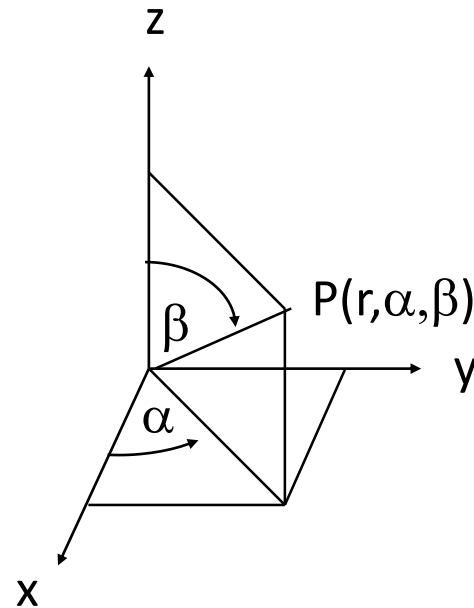
Arbeitsraum (2)

■ Räumliche Koordinatensysteme

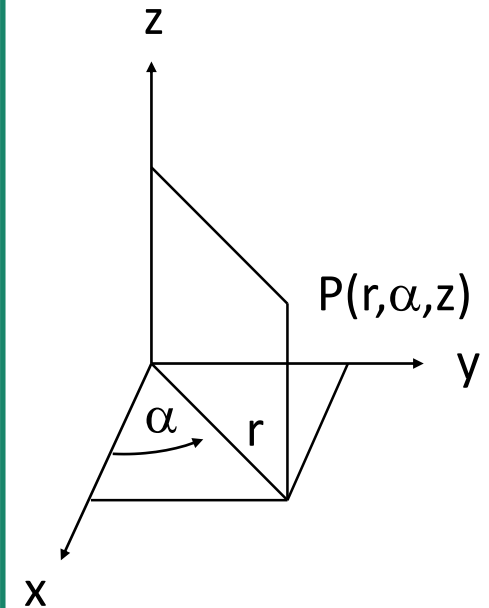
Kartesische Koordinaten



Kugelkoordinaten



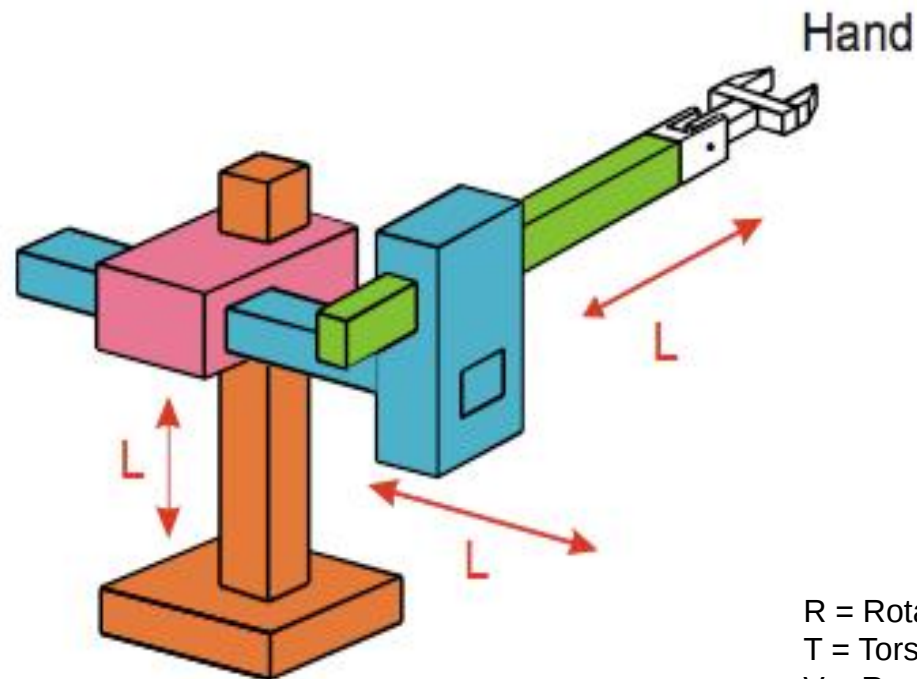
Zylinderkoordinaten



Arbeitsraum (3)

Arbeitsraum im kartesischen Koordinatensystem

■ Beispiel 1:



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

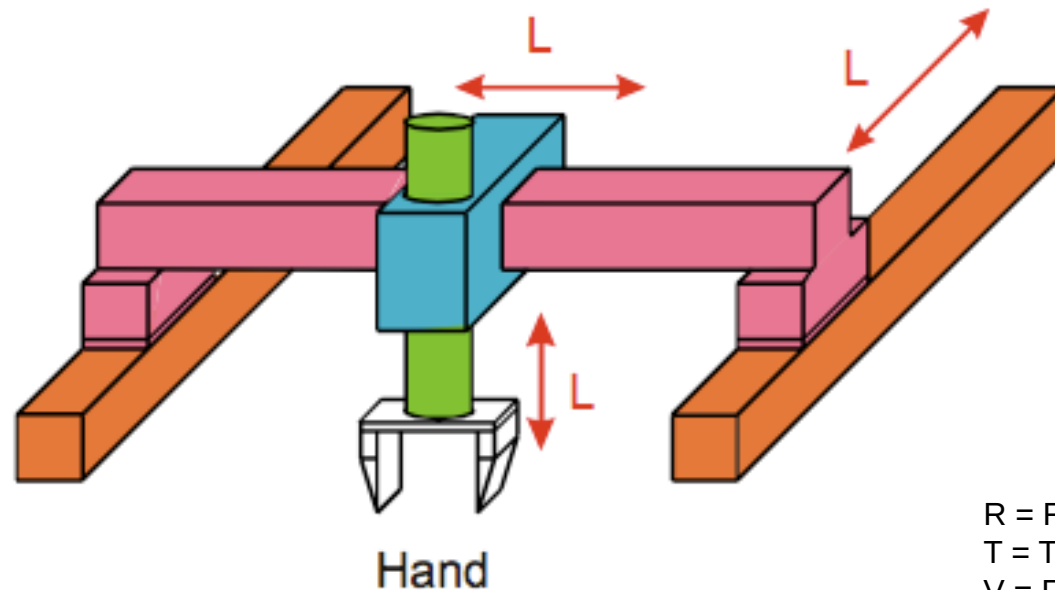
Arbeitsraum: Quader

Typ: LLL

Arbeitsraum (4)

Arbeitsraum im kartesischen Koordinatensystem

■ Beispiel 2:



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

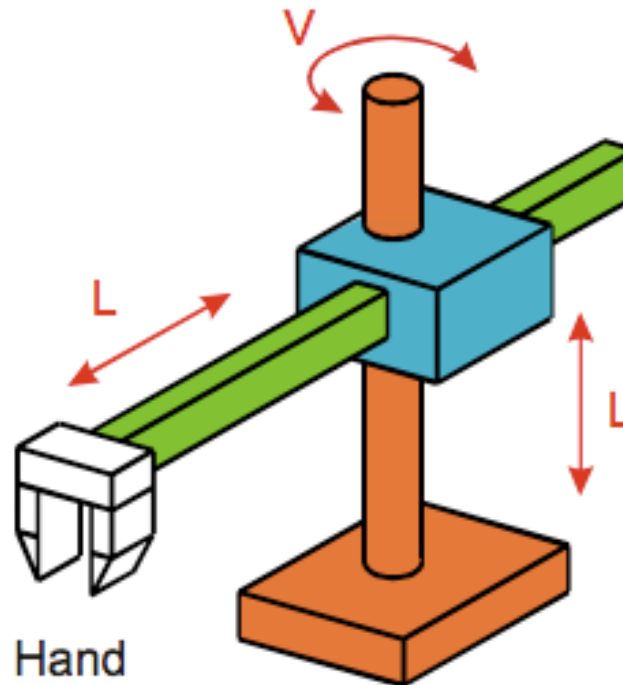
Arbeitsraum: Quader

Typ: LLL

Arbeitsraum (5)

Arbeitsraum im Zylinderkoordinatensystem

■ Beispiel 1:



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

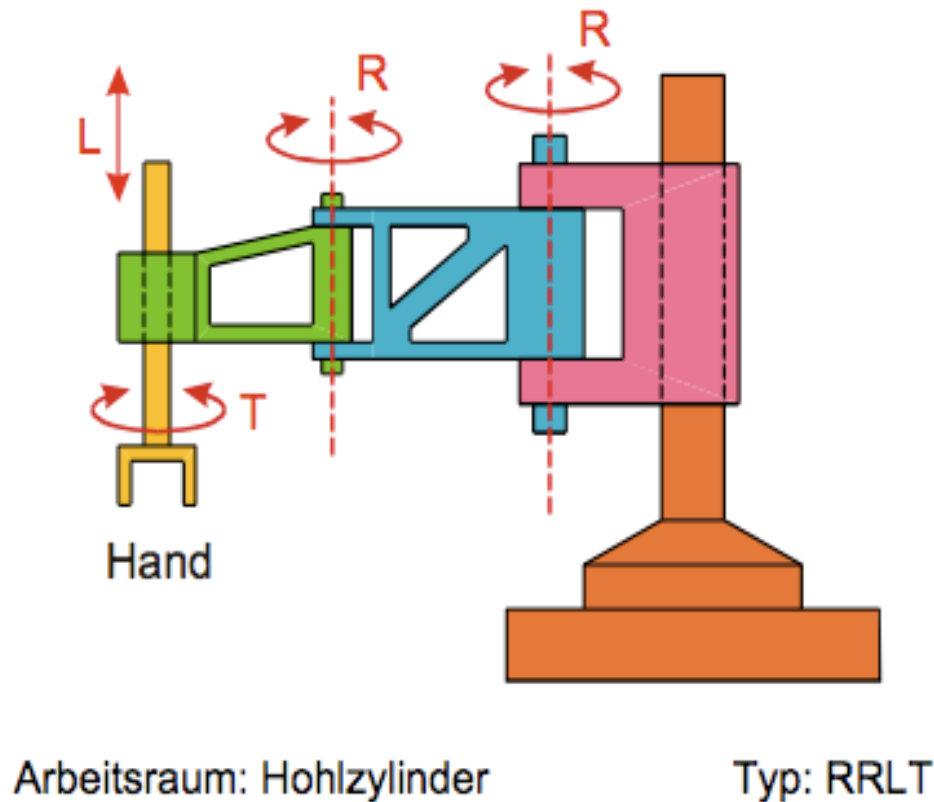
Arbeitsraum: Hohlzylinder

Typ: LVL
Andere Typen: TLL, LTL

Arbeitsraum (6)

Arbeitsraum im Zylinderkoordinatensystem

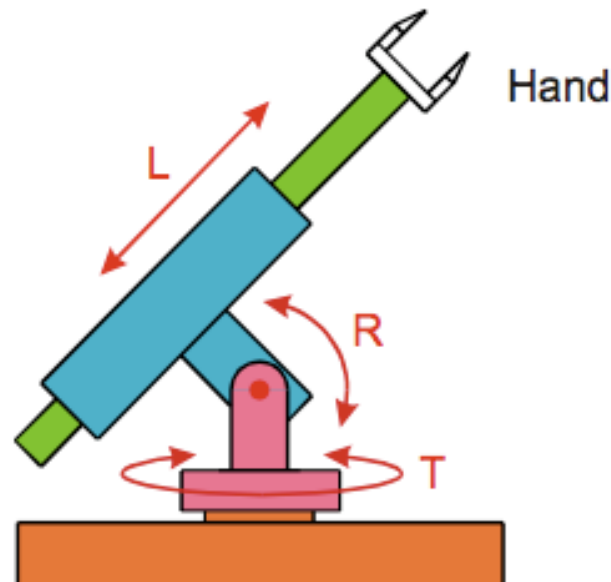
- Beispiel 2: Roboter vom Typ „SCARA“



Arbeitsraum (7)

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

■ Beispiel 1:



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

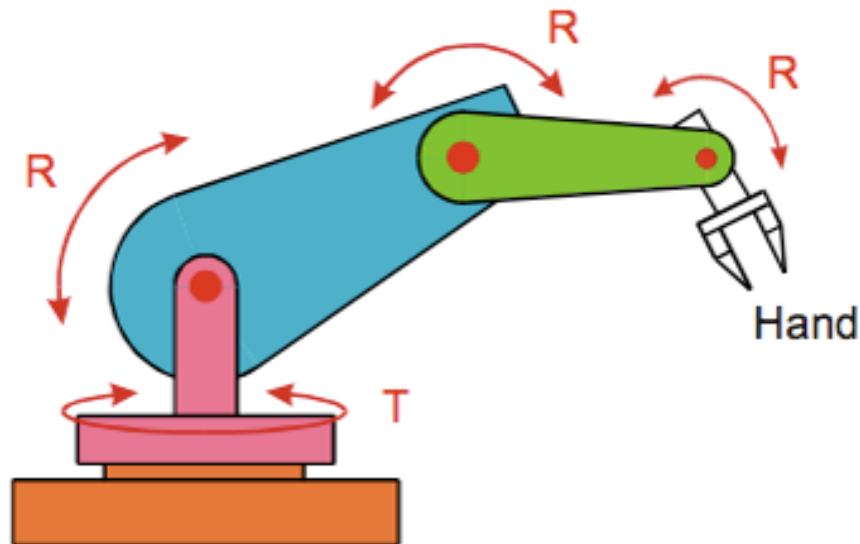
Arbeitsraum: Hohlkugel

Typ: TRL

Arbeitsraum (8)

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

■ Beispiel 2: Gelenkarm-Roboter



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

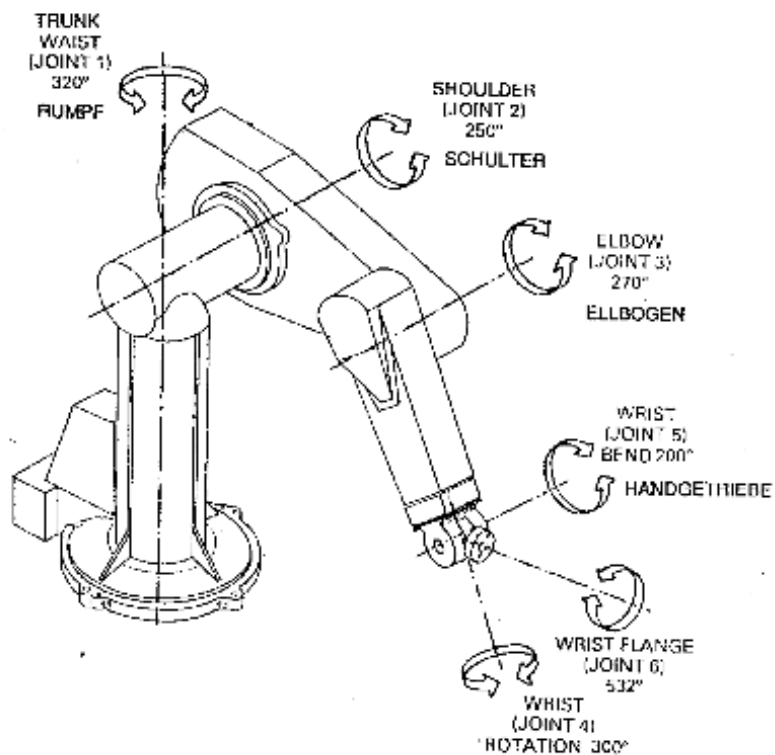
Arbeitsraum: Hohlkugel

Typ: TRRR

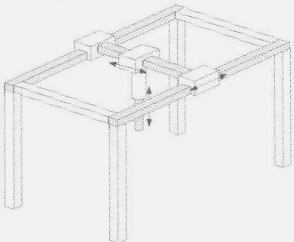
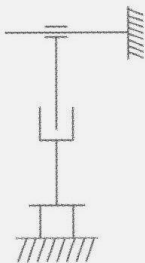
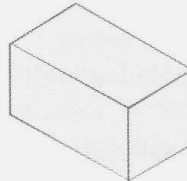
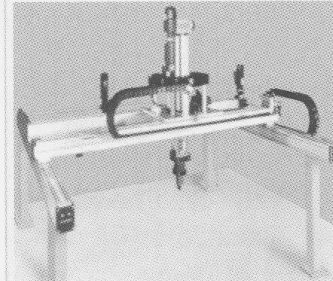
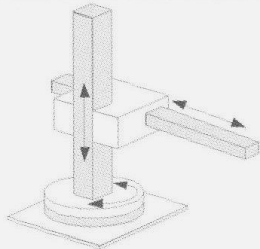
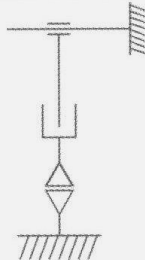
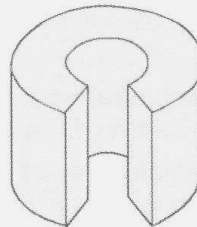
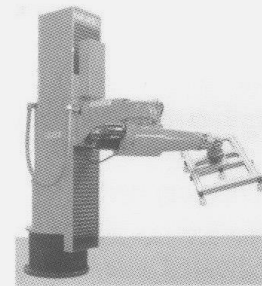
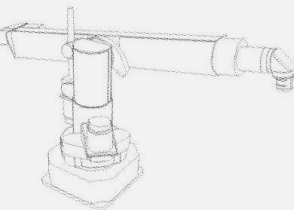
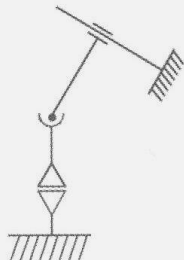
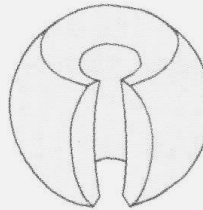
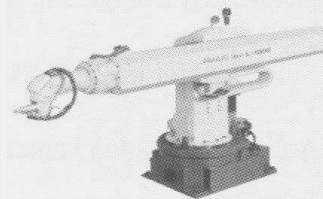
Arbeitsraum (9)

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

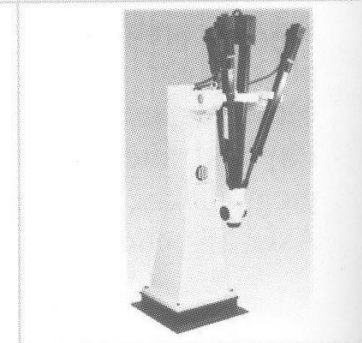
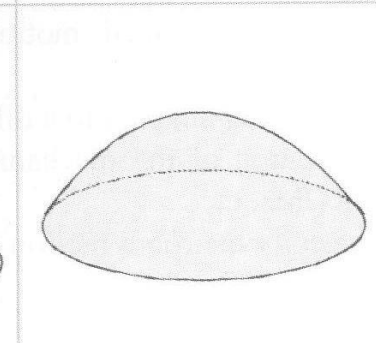
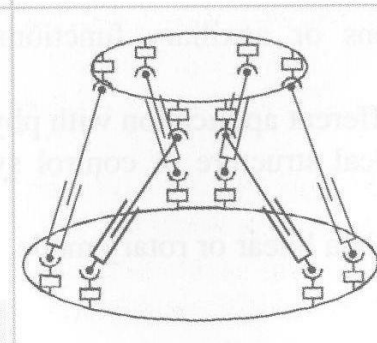
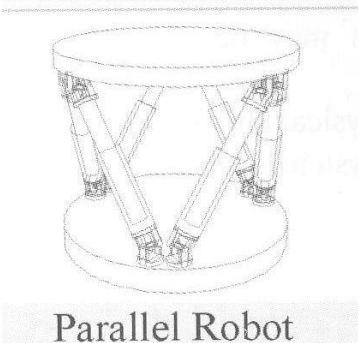
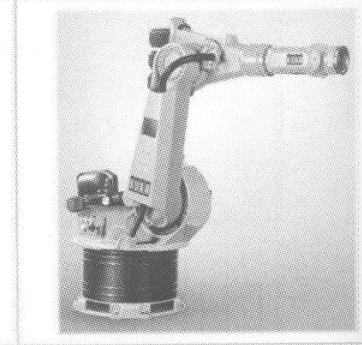
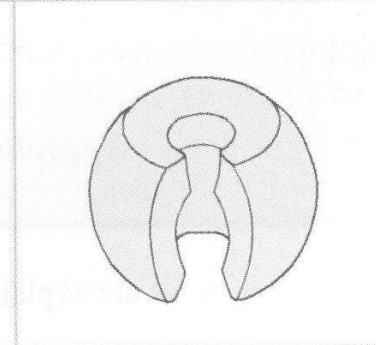
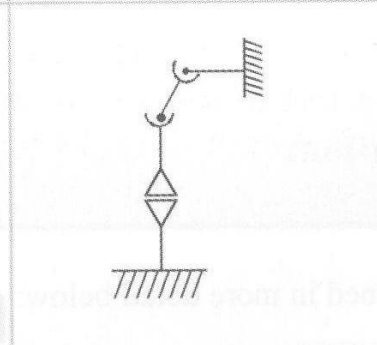
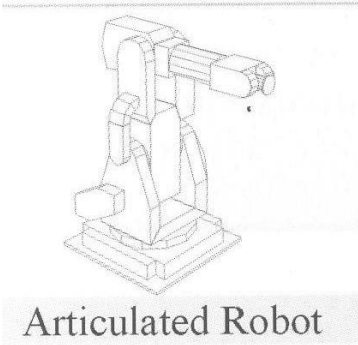
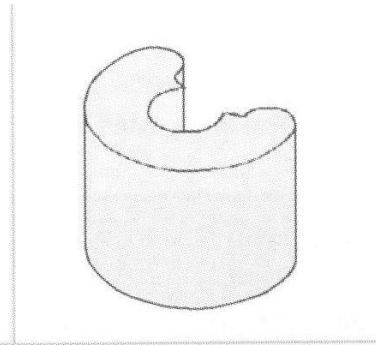
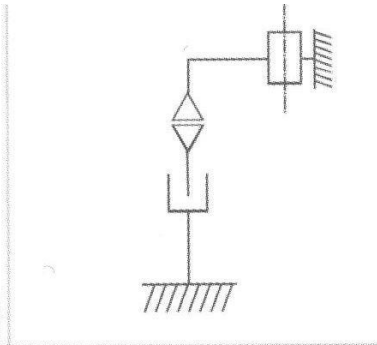
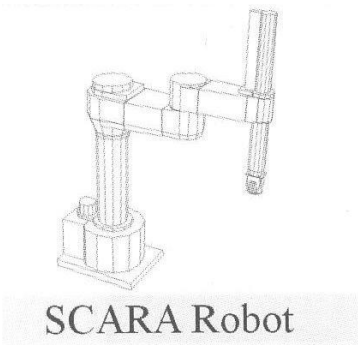
■ Roboter vom Typ „PUMA“



Beispiele für Arbeitsräume (1)

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

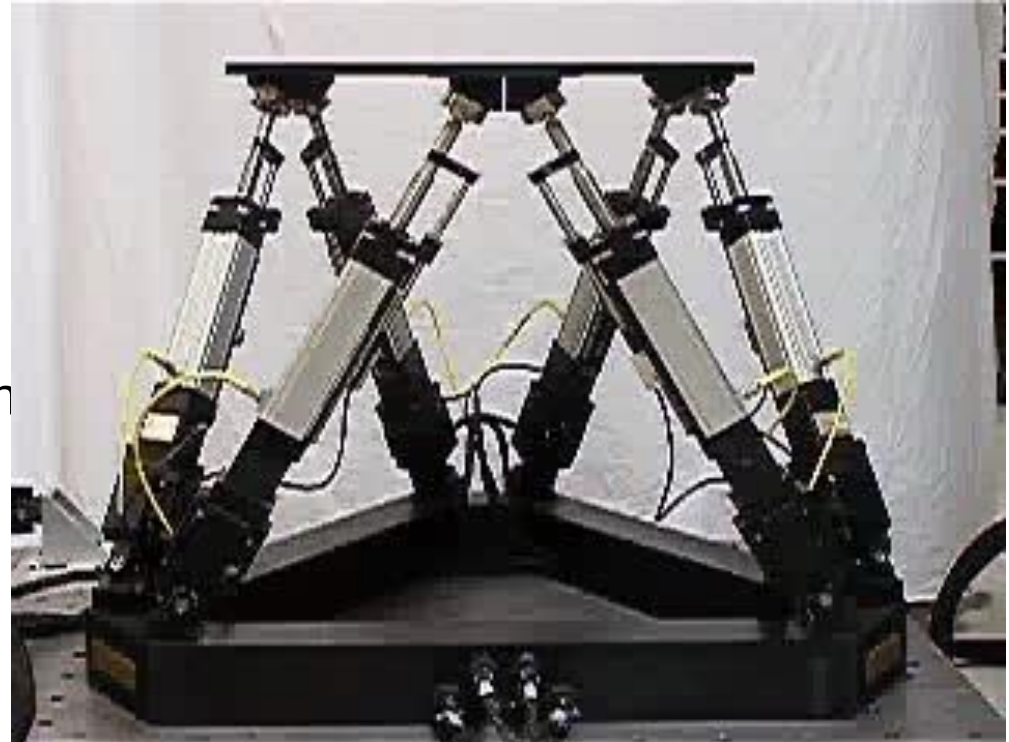
Beispiele für Arbeitsräume (2)



Paralleler Roboter

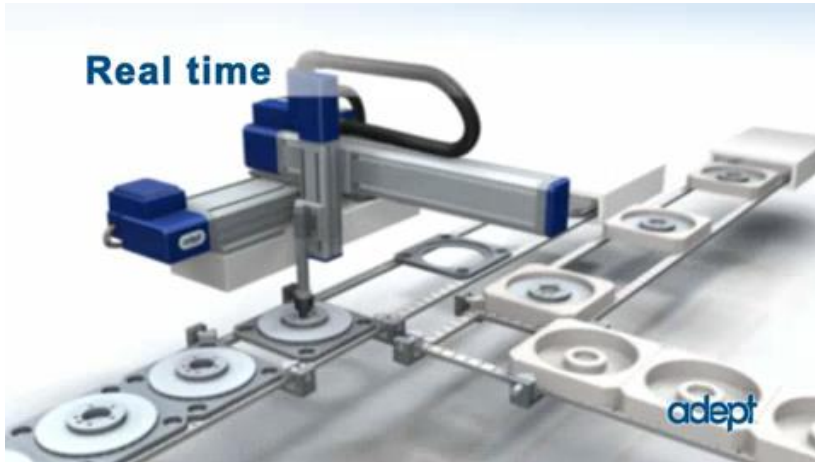
Stewart-Plattform

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



Kommerzielle Robotertypen

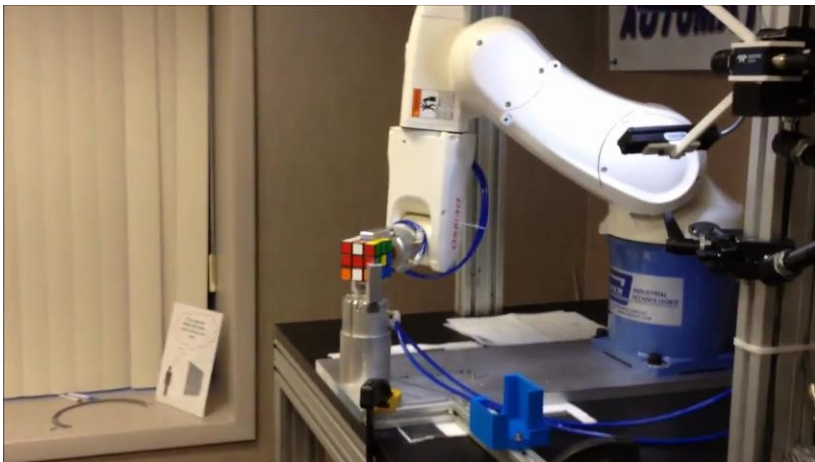
Linear



SCARA



Knickarm

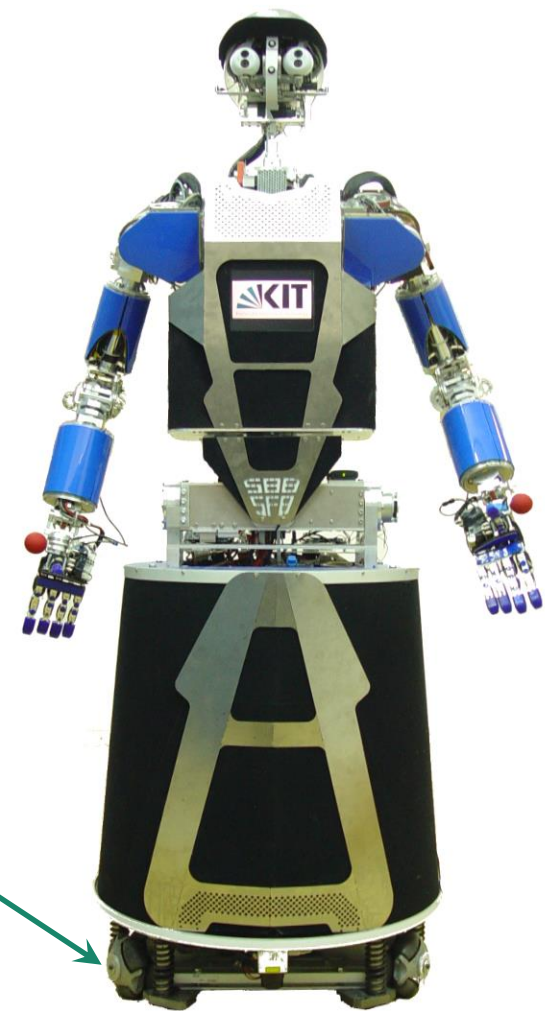
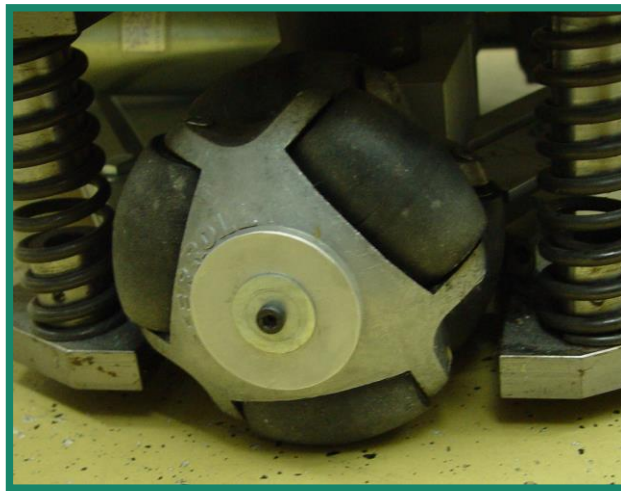


Delta (Parallel)



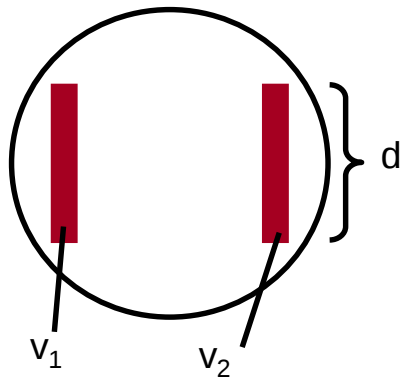
Inhalt

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

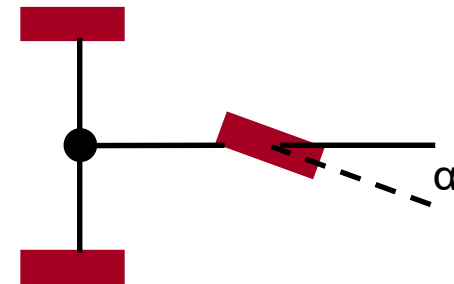


Radkonfigurationen (1) - Übersicht

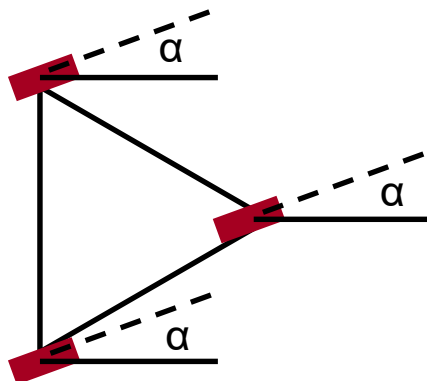
Differentialantrieb



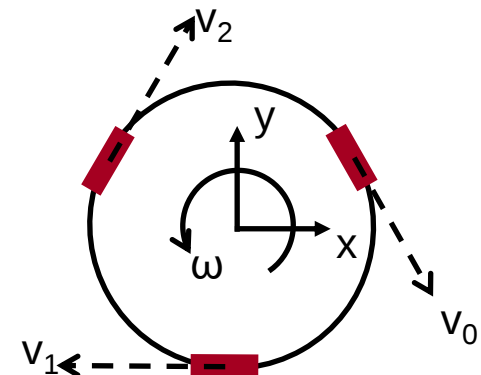
Dreirad-Antrieb



Synchro-Antrieb



Mecanum-Antrieb



Radkonfigurationen (2)

Differentialantrieb

■ Eigenschaften

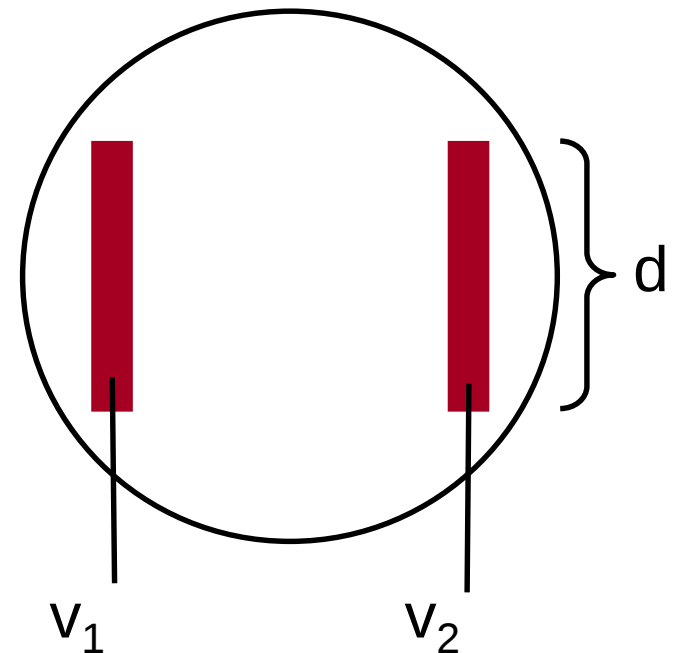
- Geradeaus-und Kurvenfahrten
- Drehen auf der Stelle
- Vorwärts-und Rückwärtsfahrten identisch

■ Vorteile

- einfache Mechanik

■ Nachteile

- Radregelung in Echtzeit



Radkonfigurationen (3)

Synchro-Drive

■ Eigenschaften

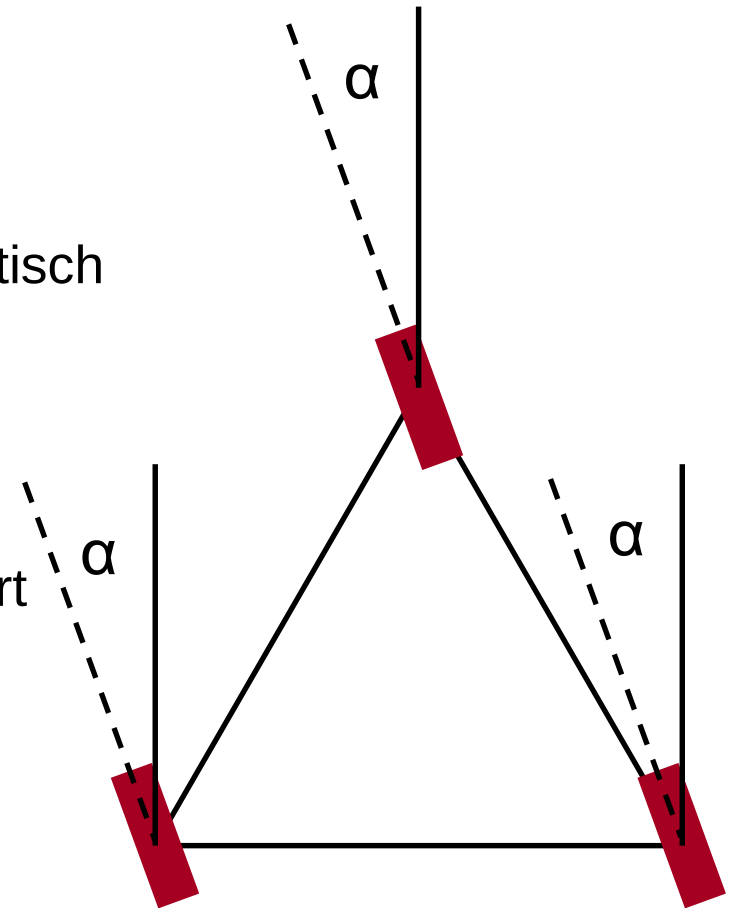
- Geradeaus- und Kurvenfahrten
- Vorwärts- und Rückwärtsfahrten identisch
- Plattform dreht nicht mit

■ Vorteile

- Einfache Regelung
- Geradeausfahrt mechanisch garantiert

■ Nachteile

- Mechanische Komplexität



Radkonfigurationen (4)

Dreirad-Antrieb

■ Eigenschaften

- Geradeaus- und Kurvenfahrten
- Vorwärts- und Rückwärtsfahrten unterschiedlich

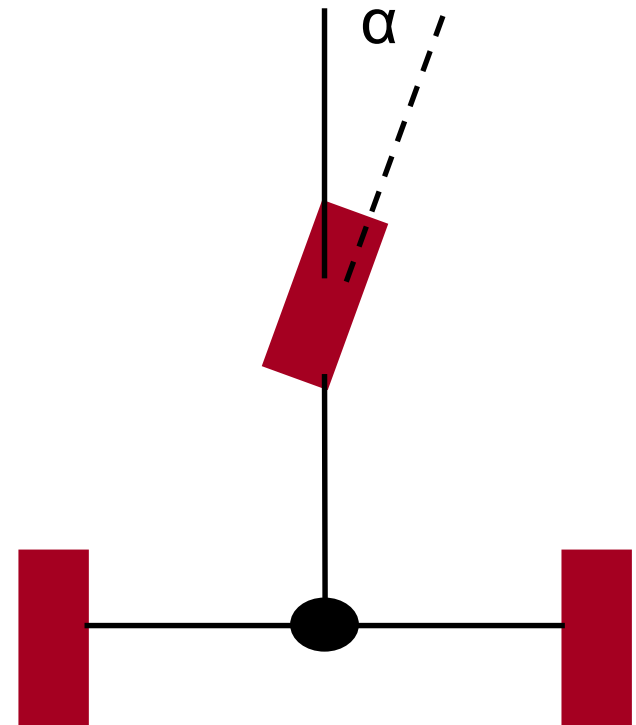
(Anmerkung: Für das Abfahren der selben Trajektorie sind für die Vorwärts- / Rückwärtsfahrt unterschiedliche Stellsignale $\alpha(t)$ zu verwenden.)

■ Vorteile

- Einfache Mechanik

■ Nachteile

- Eingeschränkte Manövrierfähigkeit



Radkonfigurationen (5)

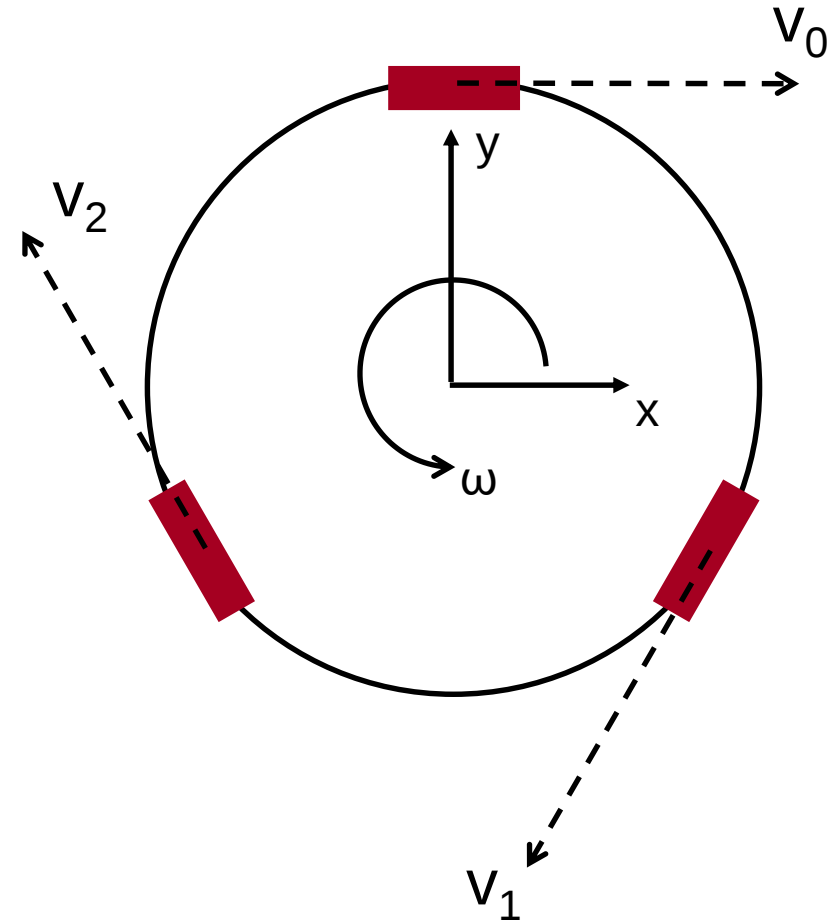
Mecanum-Antrieb

■ Eigenschaften / Vorteile

- Uneingeschränkte Beweglichkeit in Richtungen x , y und ω

■ Nachteile

- Mechanische Komplexität
- Aufwendige Regelung



Mecanum-Antrieb (1)

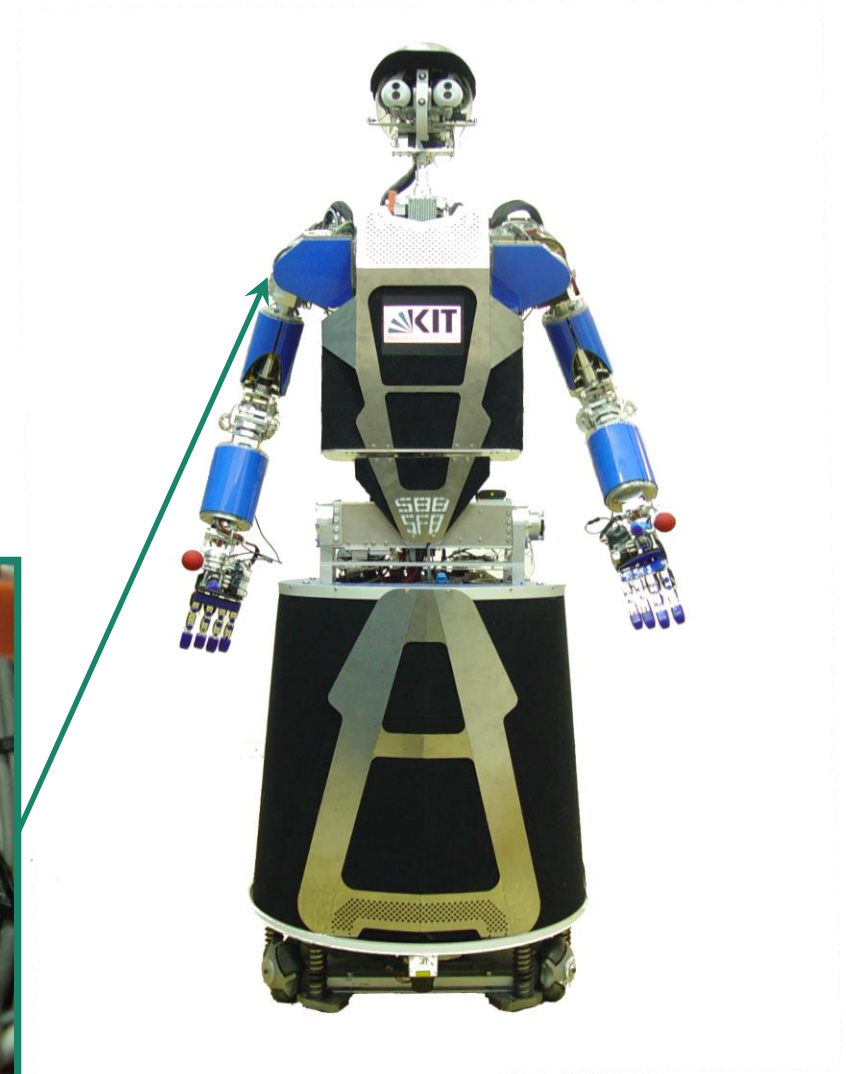


Mecanum-Antrieb (2)



Inhalt

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



Fluidischer Antrieb (1)

Linearantrieb

■ Kolbengeschwindigkeit

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

mit

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

A : Grundfläche des Kolbens

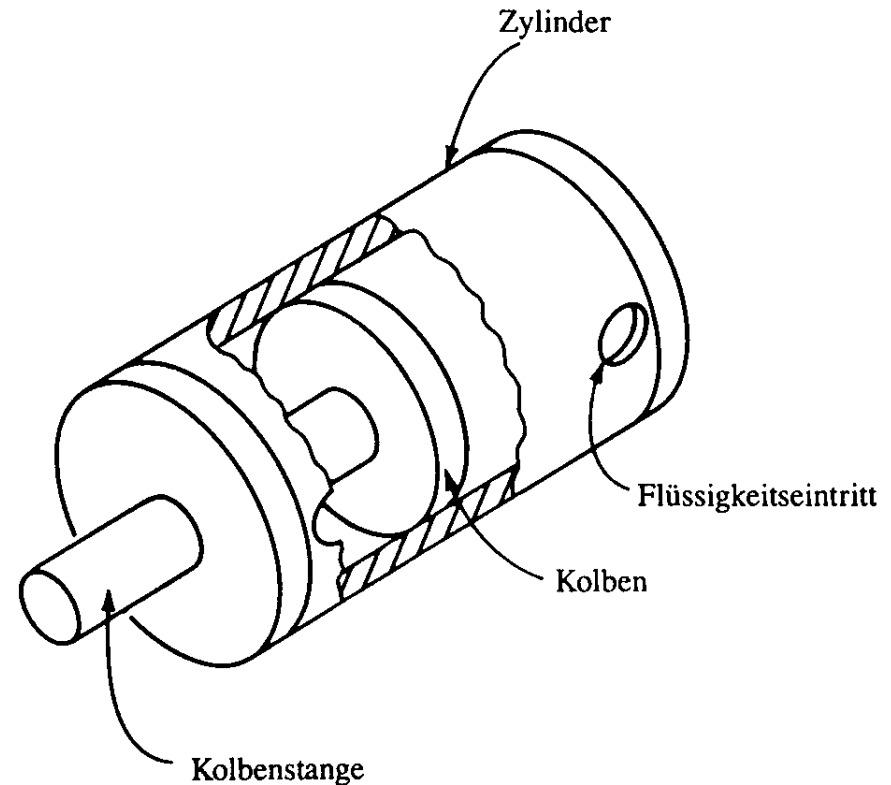
■ Kolbenkraft $F(t)$

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

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

r : innerer Radius des Schaufelrades

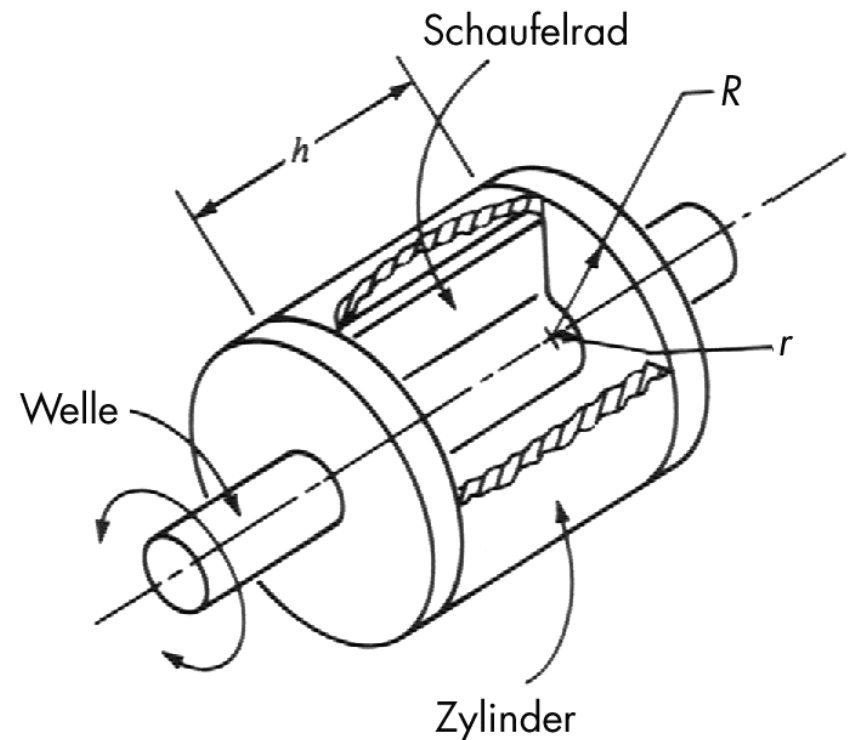
R : äußerer Radius des Schaufelrades

■ Drehmoment des Kolbens $T(t)$

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

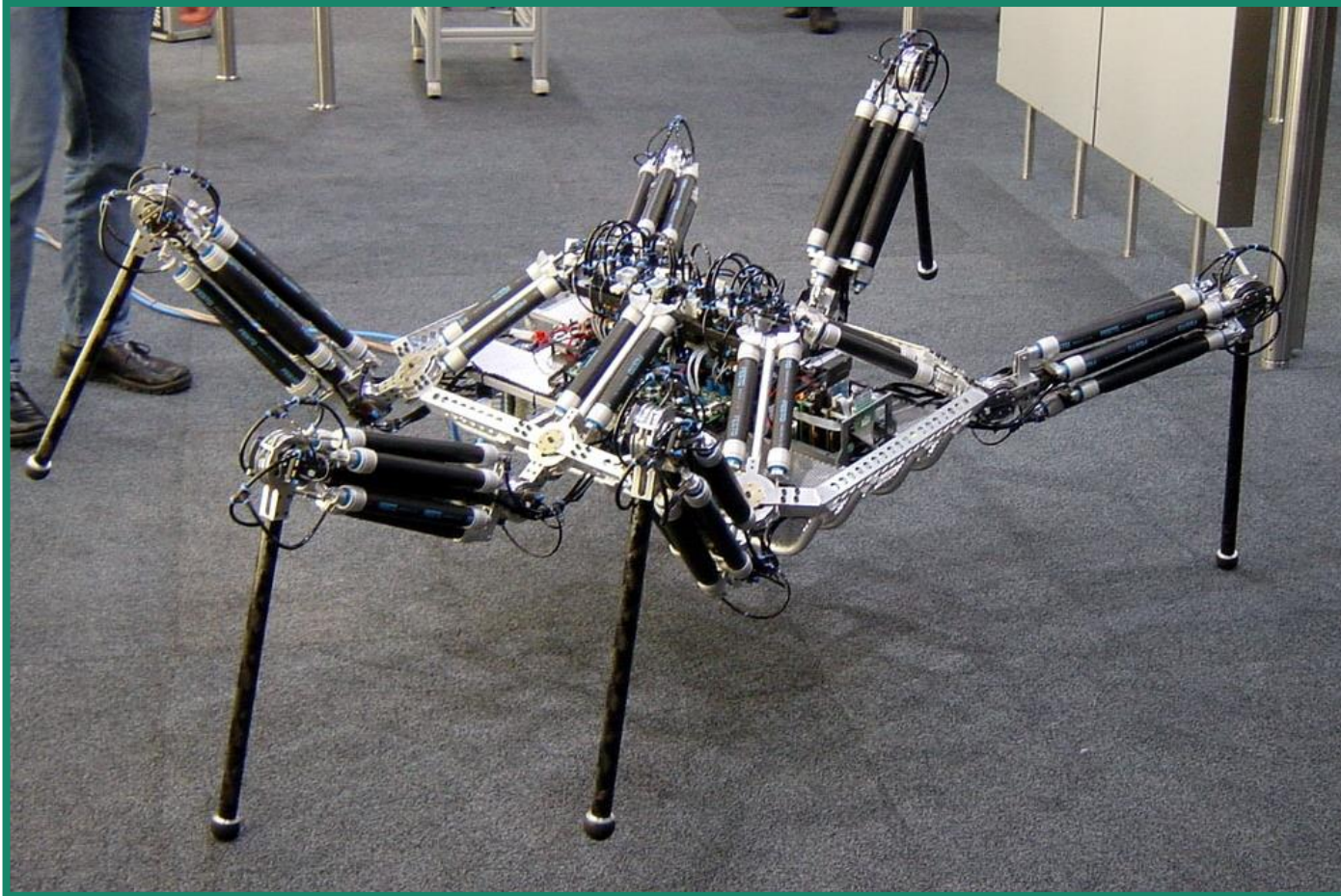
mit

$P(t)$: 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

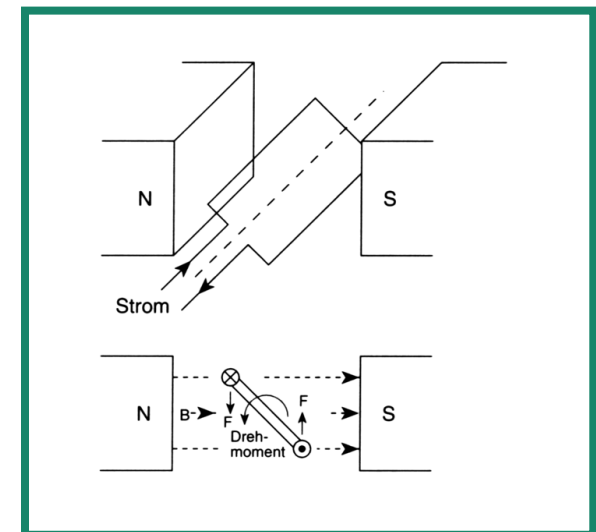
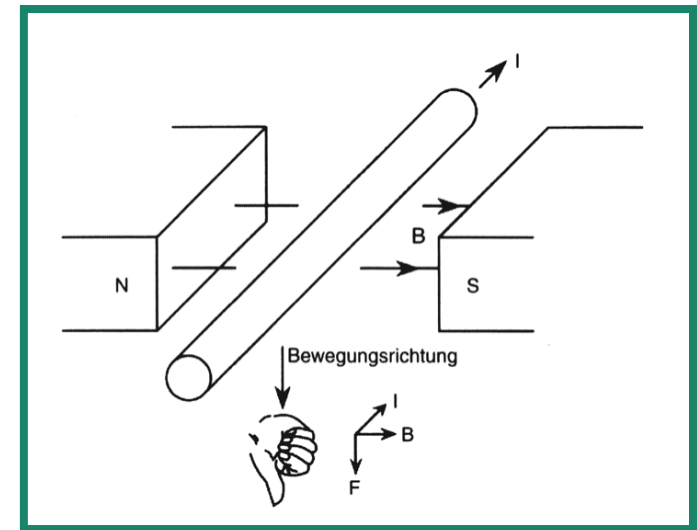
- Stellenergie: Öldruckpumpe und steuerbare Ventile
- Vorteile: sehr große Kräfte, mittlere Geschwindigkeit
- Nachteile: laut, zusätzlicher Platz für Hydraulik, Ölverlust führt zu Verunreinigung, Ölviskosität erlaubt keine guten Reaktionszeiten und keine hohen Positionier- und Wiederholgenauigkeiten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

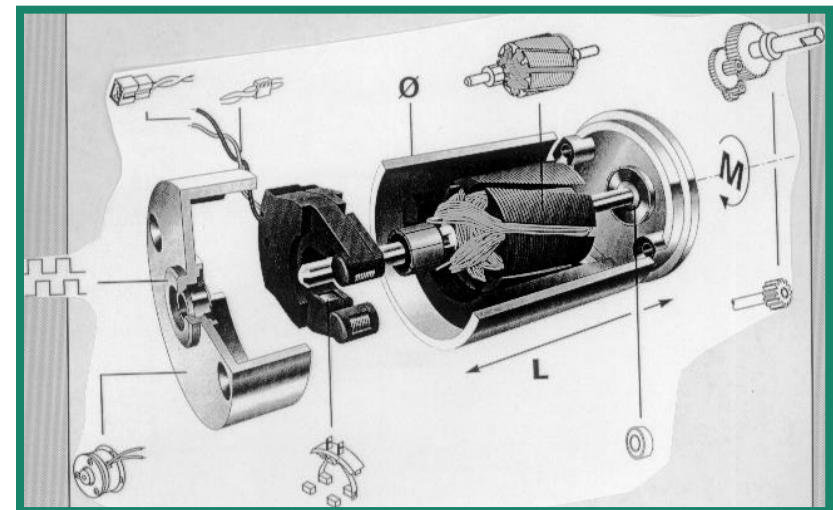
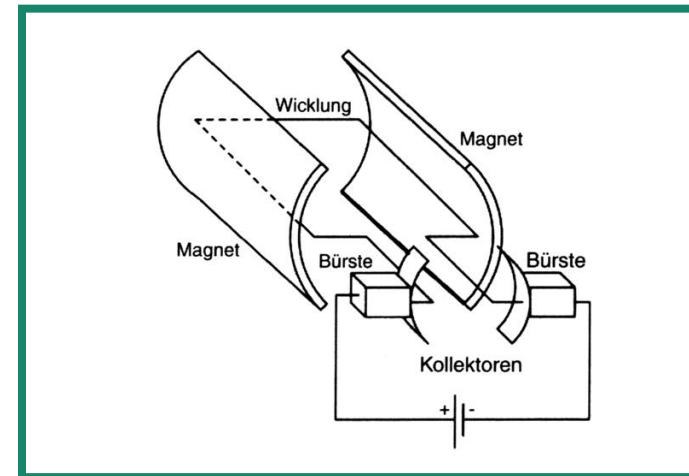
Funktionsweise Elektromotor (1)

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



Funktionsweise Elektromotor (2)

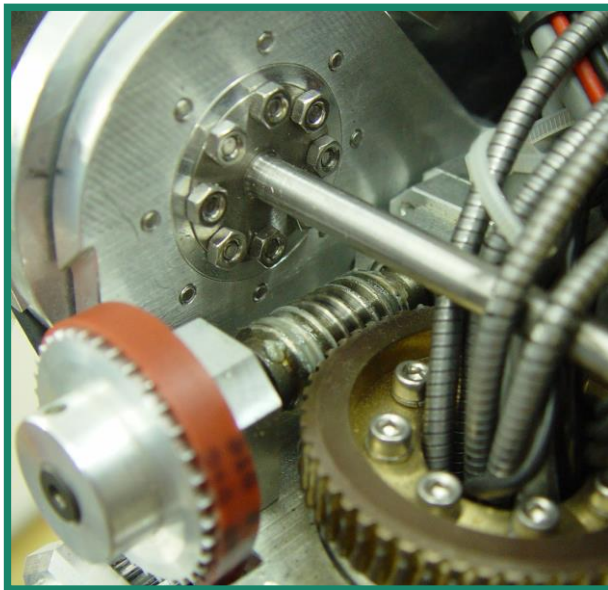
- für Drehbewegung muss Polarität gewechselt werden
- Polaritätswechsel mechanisch (oder Wechselstrom)
- Eisenkerne bündeln das Magnetfeld



DC-Motor von Faulhaber

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

Getriebe: Stirnrad

Stirnradgetriebe

■ Untersetzung

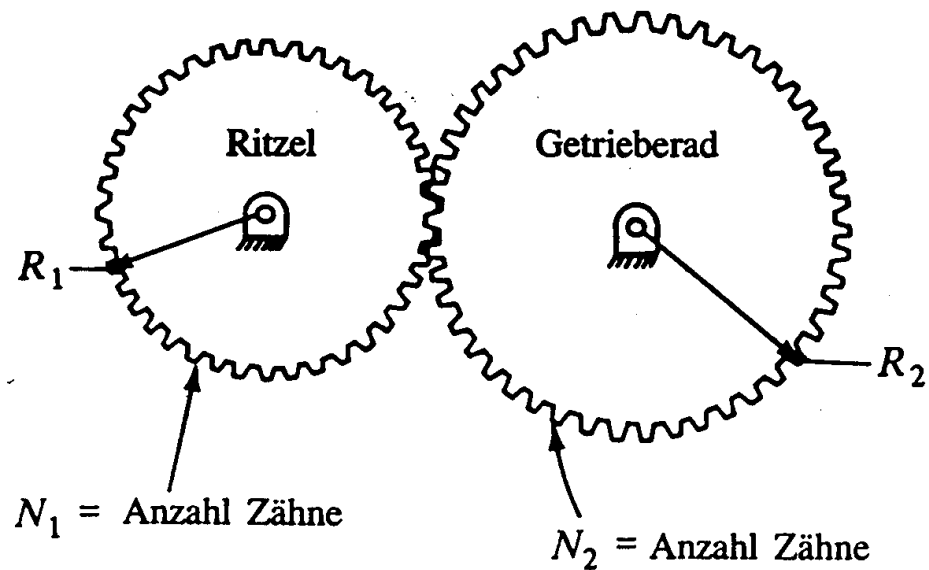
$$n = N_1/N_2$$

■ Winkelgeschwindigkeit

$$W_2 = nW_1$$

■ Drehmoment

$$T_2 = T_1/n$$



Getriebe: Schrauben & Spindel

Schrauben- und 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

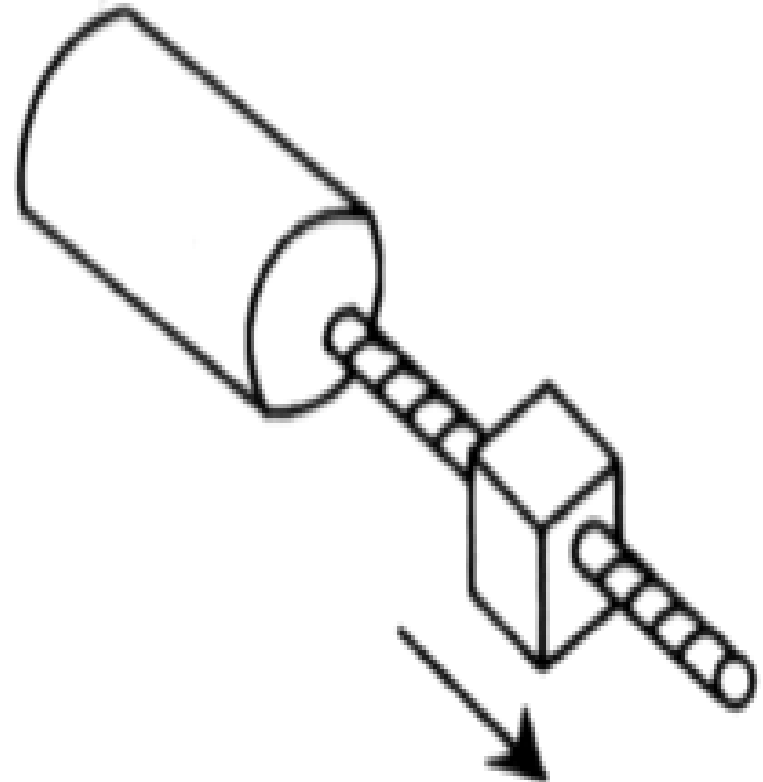
$$F = \frac{2T\pi \cdot d_m - \mu \cdot p \sec\beta}{d_m \cdot p + \mu \pi d_m \cdot \sec\beta}$$

T : Drehmoment

d_m : Gewindewinkel

$\sec$: mittlere Durchmesser der Schraube

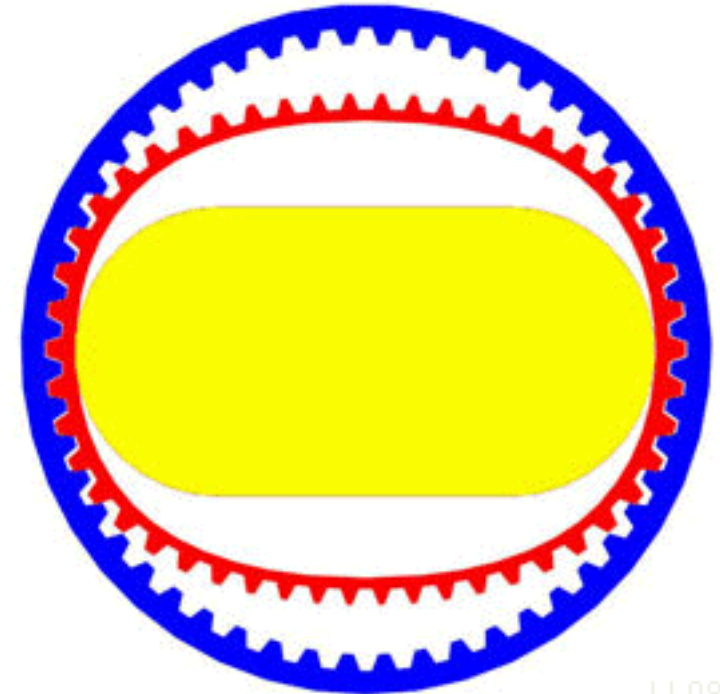
μ : Reibungskoeffizient



Getriebe: Harmonic Drive (1)

Harmonic Drive

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



Wavegenerator

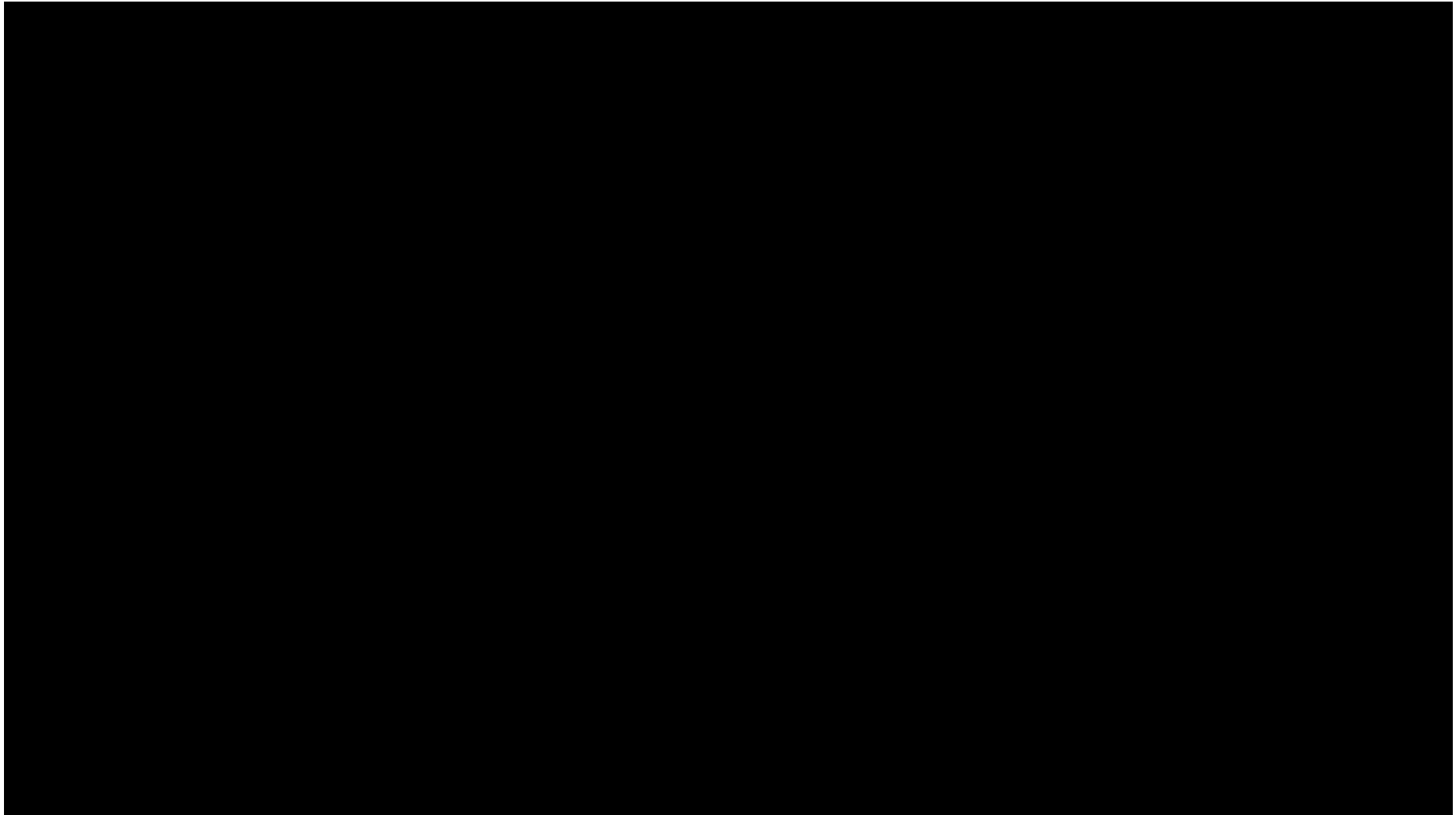
Flexible Spline

Circular Spline

LL08

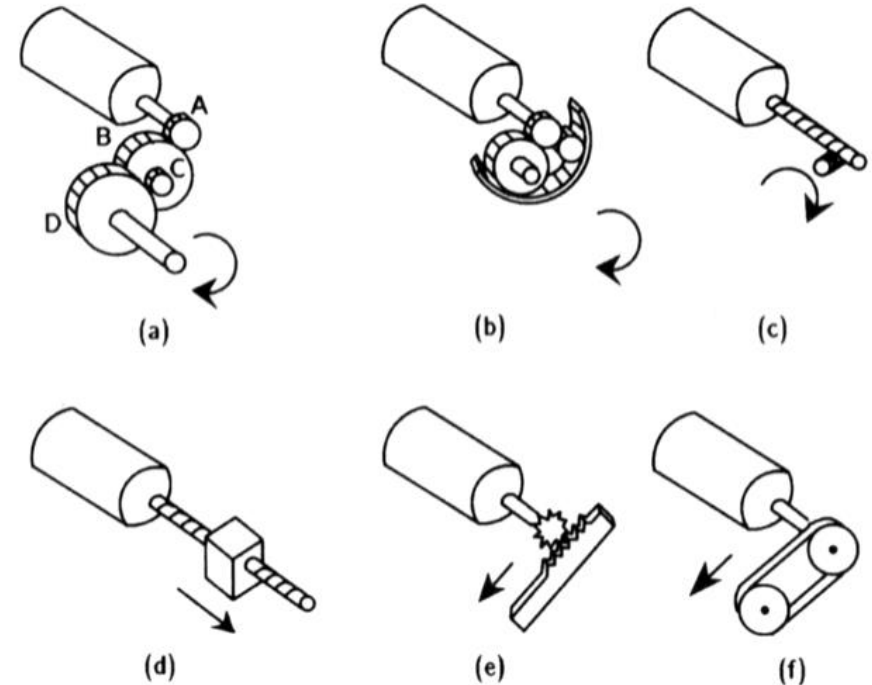


Getriebe: Harmonic Drive (2)



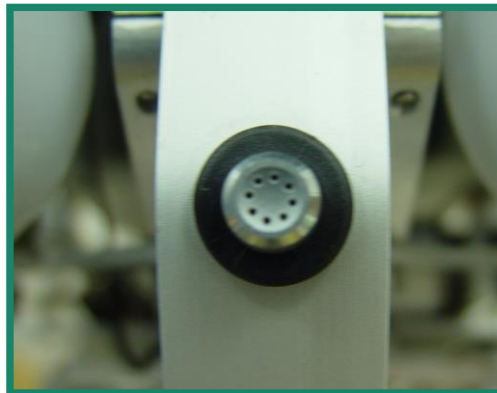
Getriebe (5) - Übersicht

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



Inhalt

- Mechanische Komponenten
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



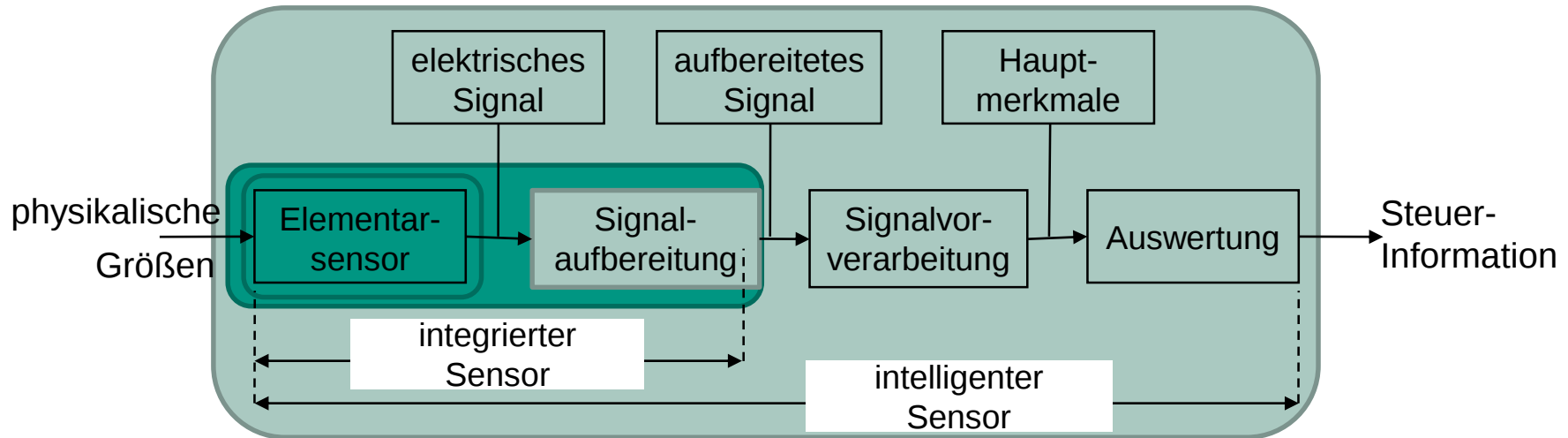
Sensoren (1)

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