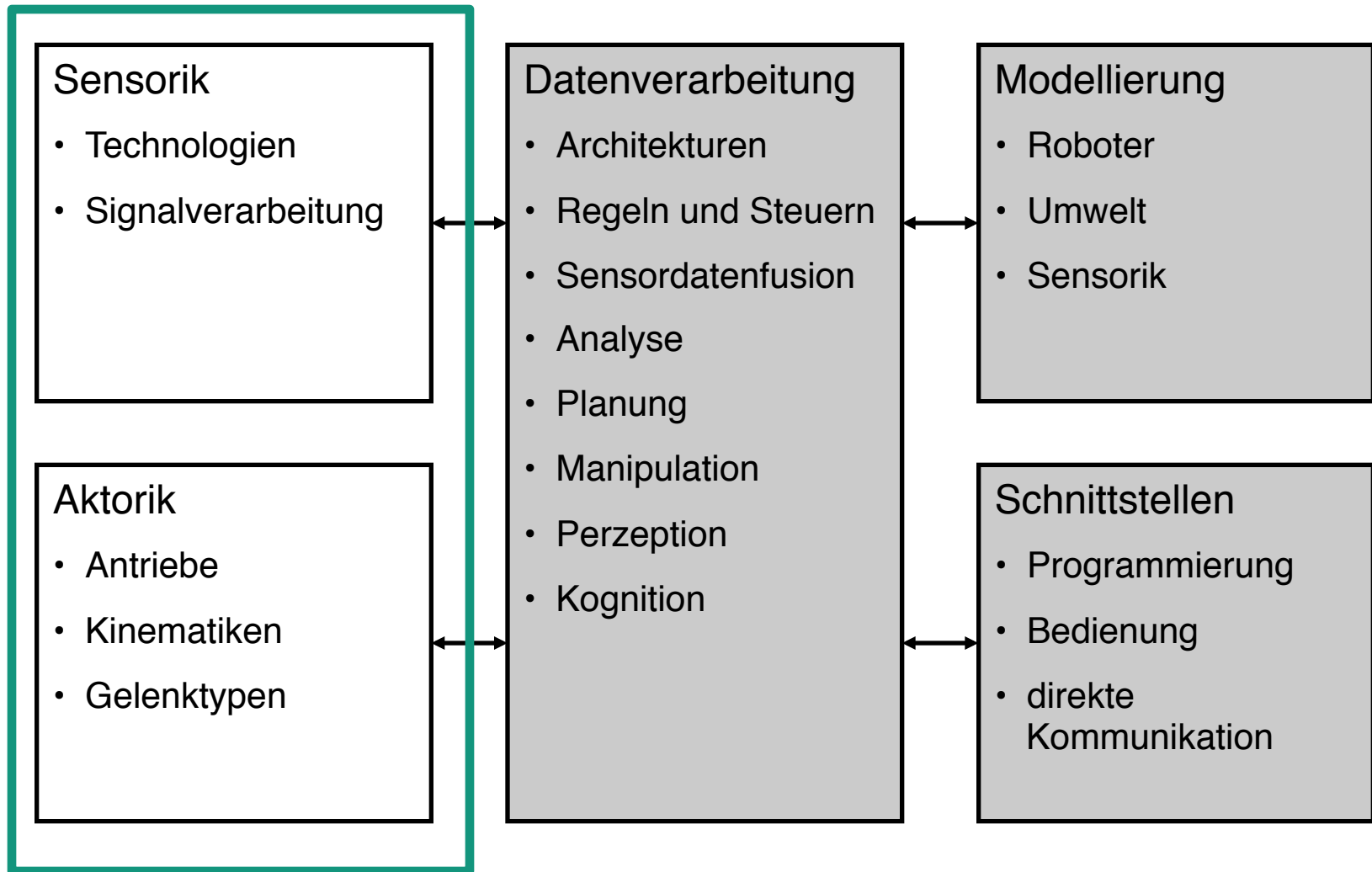


Teilsysteme eines Roboters

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Dillmann

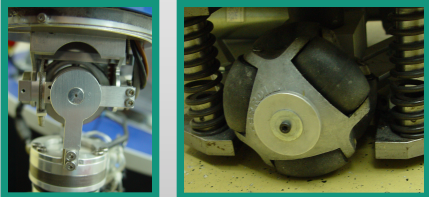
Dr.-Ing. Sven R. Schmidt-Rohr

Dr.-Ing. Rainer Jäkel



- Aus welchen Komponenten besteht ein Roboter ?

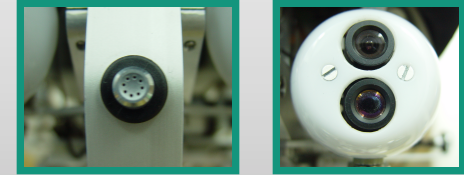
Mechanische Komponenten



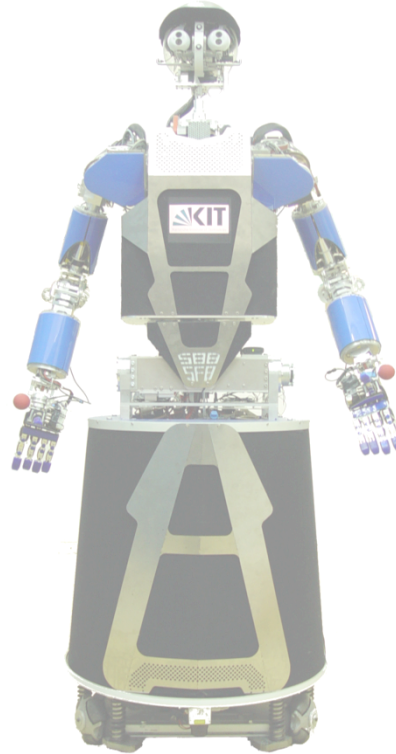
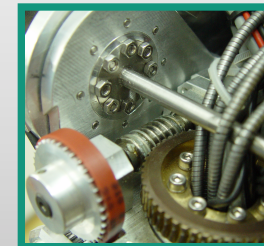
Antriebe



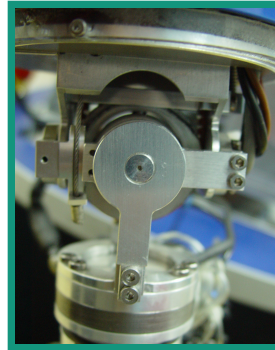
Sensoren



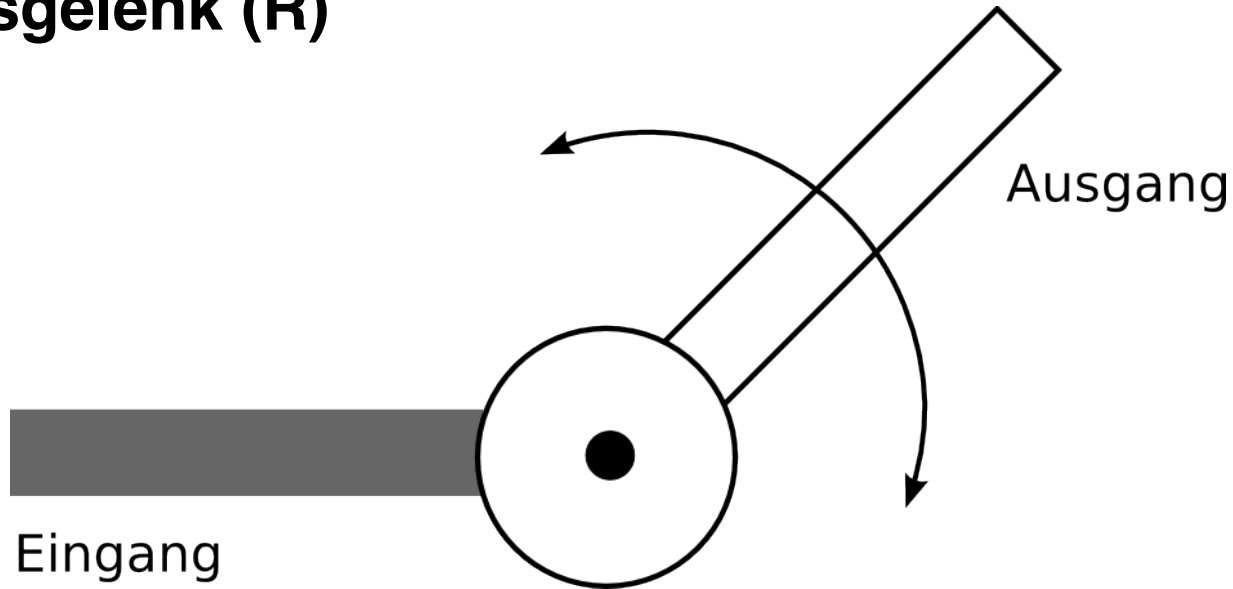
Getriebe



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

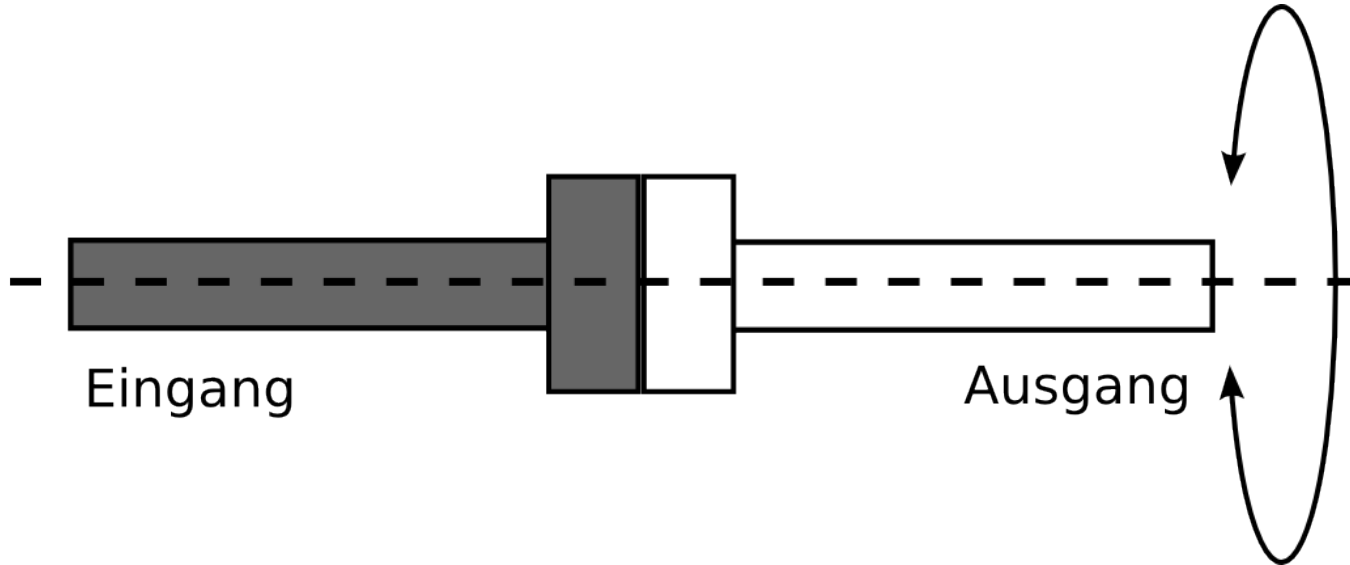


Rotationsgelenk (R)



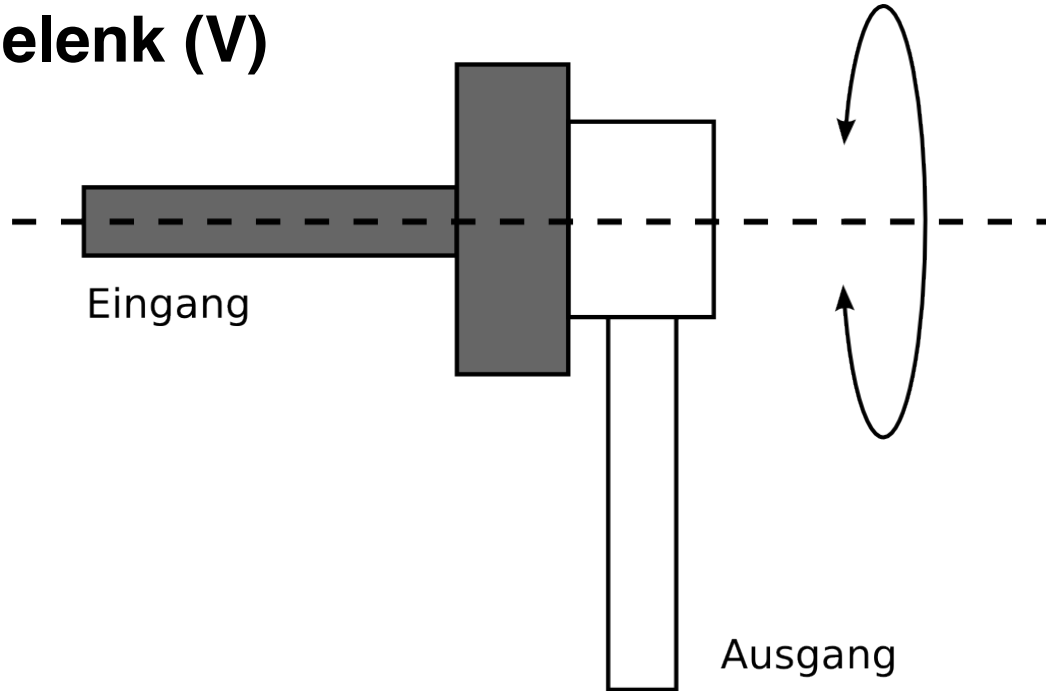
- Die Drehachse bildet einen rechten Winkel mit den Achsen der beiden angeschlossenen Glieder.
- Beispiel
 - Ellbogengelenk

Torsionsgelenk (T)



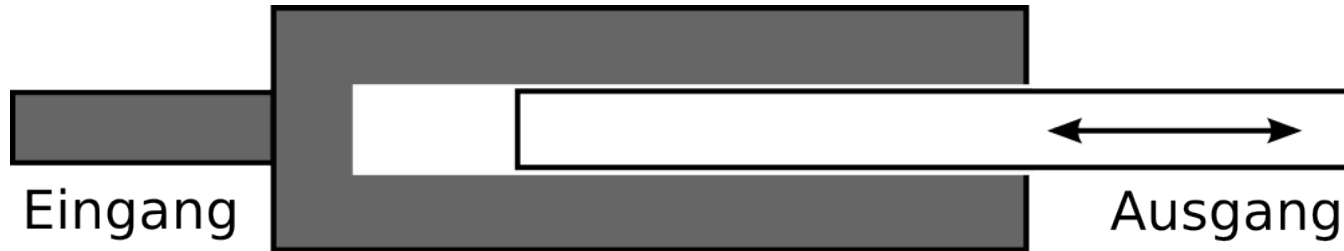
- Die Drehachse des Torsionsgelenks verläuft parallel zu den Achsen der beiden Glieder.
- Beispiel
 - Unterarmdrehung

Revolvergelenk (V)



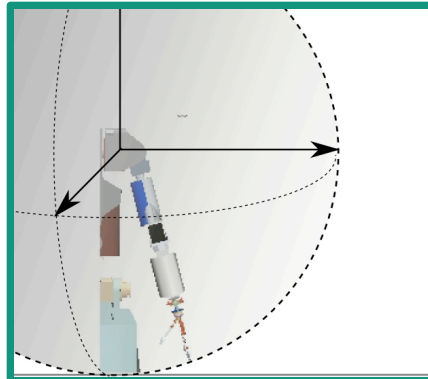
- Das Eingangsglied verläuft parallel zur Drehachse, das Ausgangsglied steht im rechten Winkel zur Drehachse.
- Beispiel
 - Schultergelenk (Arm nach vorne)

Lineargelenk (L)



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

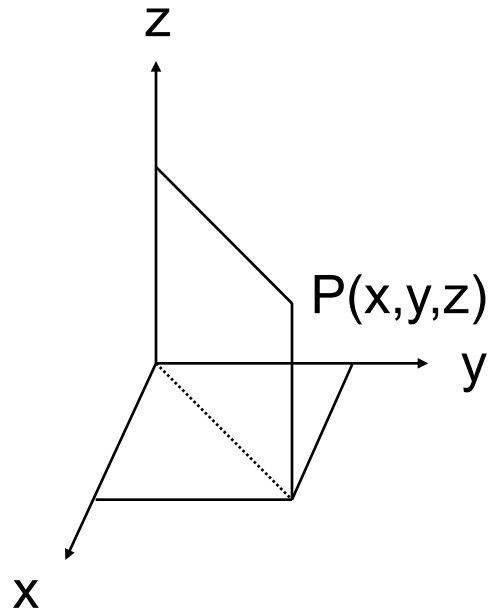
- Mechanische Komponenten
 - Gelenktypen
 - Arbeitsraum
 - Radkonfigurationen
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



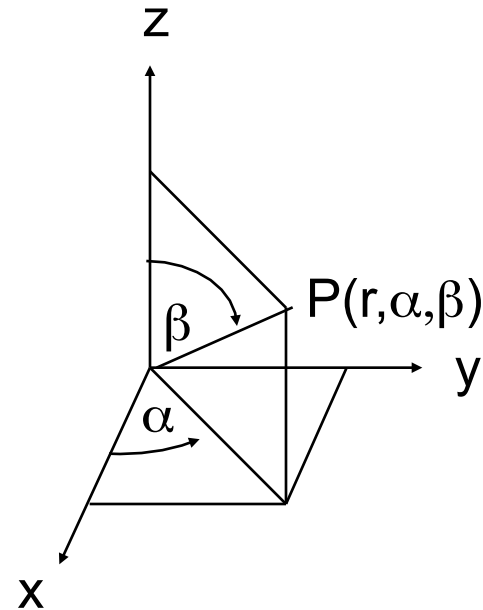
- **Arbeitsraum**
 - Der Arbeitsraum besteht aus denjenigen Punkten im 3D Raum, die von der Roboterhand angefahren werden können. Hierzu sind drei Freiheitsgrade in der Bewegung, also mindestens drei Gelenke erforderlich.
- **Grundform des Arbeitsraums**
 - Die Grundform des Arbeitsraums ist der Arbeitsraum, der sich ergeben würde, wenn man die gegenseitige Behinderung der Arme des Roboters und die Begrenzung der Gelenkwinkel nicht berücksichtigt.

Räumliche Koordinatensysteme

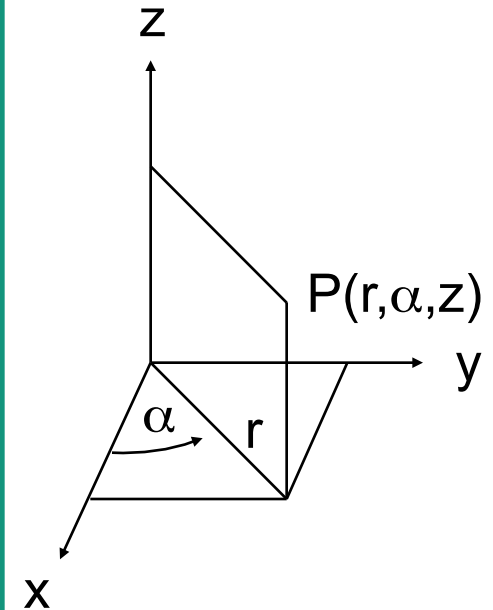
Kartesische Koordinaten



Kugelkoordinaten

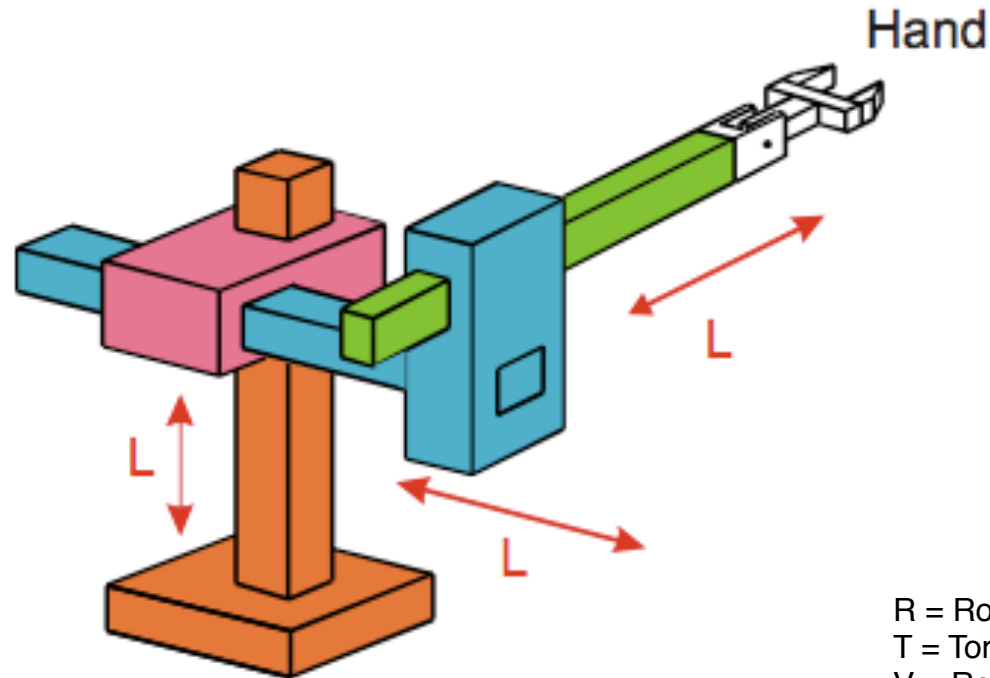


Zylinderkoordinaten



Arbeitsraum im kartesischen Koordinatensystem

• Beispiel 1:



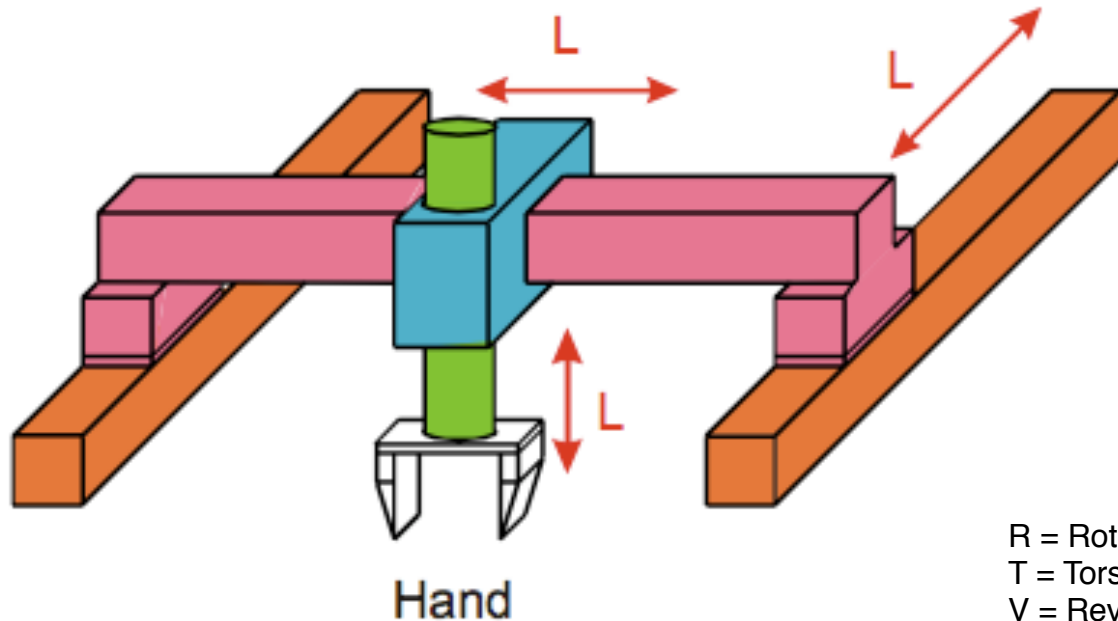
R = Rotationsgelenk
T = Torsionsgelenk
V = Revolvergelenk
L = Lineargelenk

Arbeitsraum: Quader

Typ: LLL

Arbeitsraum im kartesischen Koordinatensystem

•Beispiel 2:



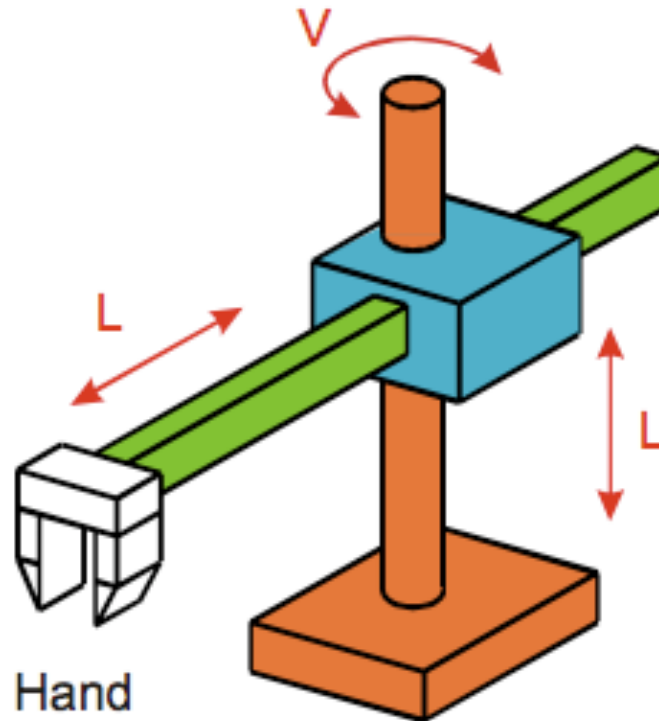
R = Rotationsgelenk
T = Torsionsgelenk
V = Revolvergelenk
L = Lineargelenk

Arbeitsraum: Quader

Typ: LLL

Arbeitsraum im Zylinderkoordinatensystem

•Beispiel 1:



Hand

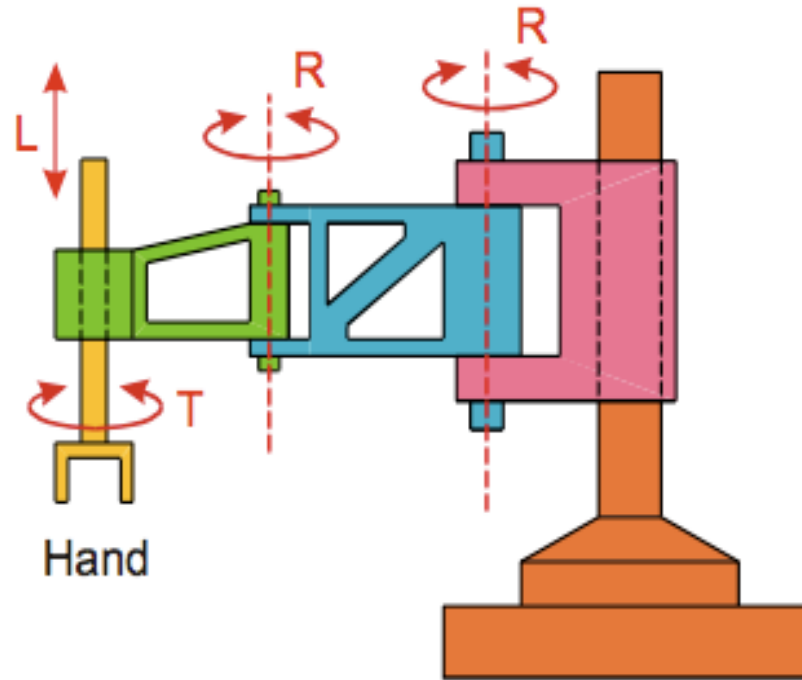
R = Rotationsgelenk
T = Torsionsgelenk
V = Revolvergelenk
L = Lineargelenk

Arbeitsraum: Hohlzylinder

Typ: LVL
Andere Typen: TLL, LTL

Arbeitsraum im Zylinderkoordinatensystem

- Roboter vom Typ „SCARA“

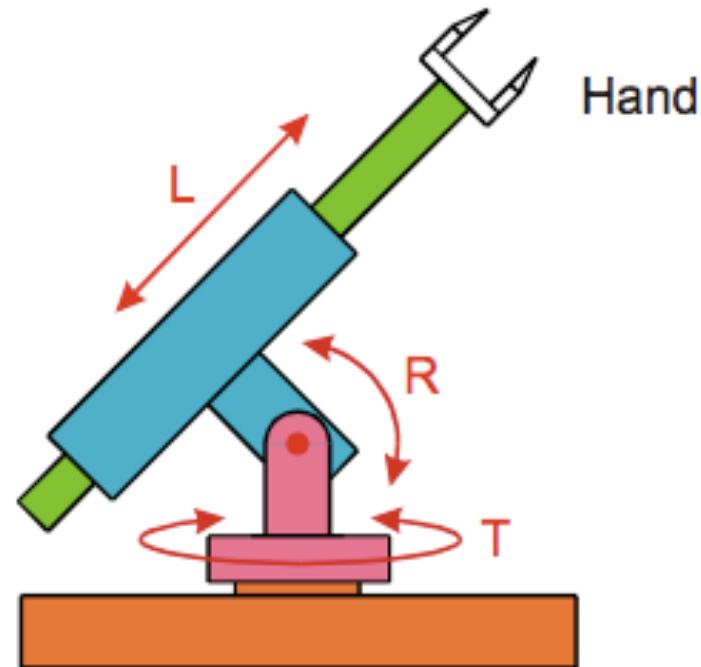


Arbeitsraum: Hohlzylinder

Typ: RRLT

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

•Beispiel 1:



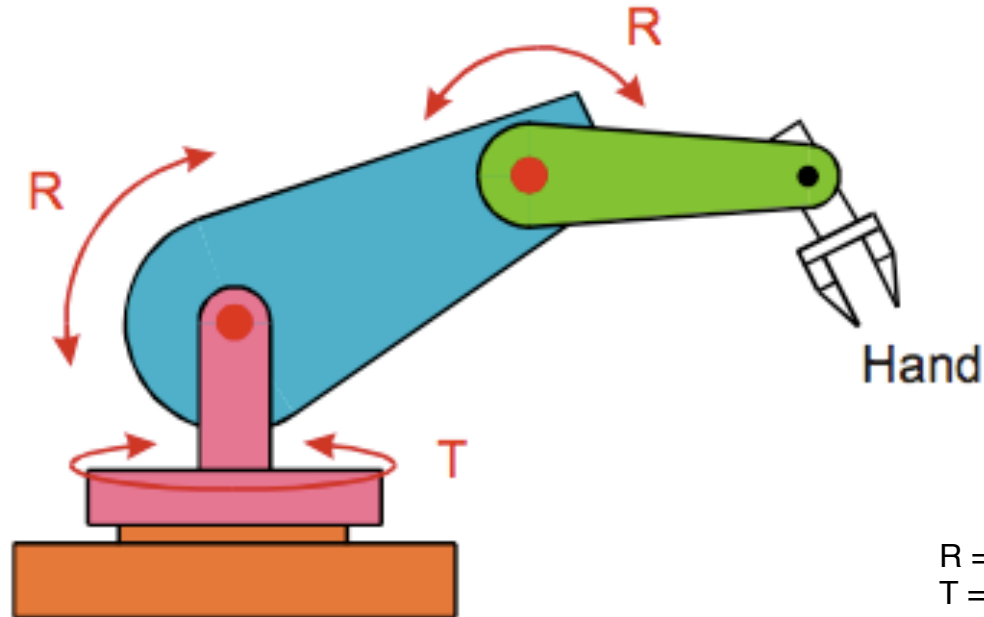
R = Rotationsgelenk
T = Torsionsgelenk
V = Revolvergelenk
L = Lineargelenk

Arbeitsraum: Hohlkugel

Typ: TRL

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

• Beispiel 2: Gelenkarm-Roboter



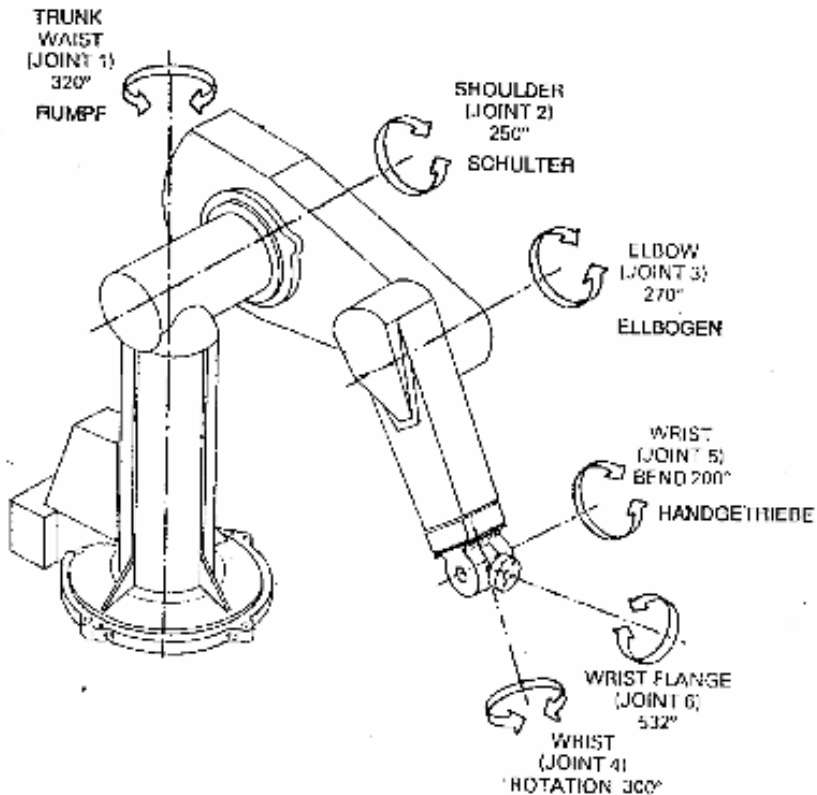
R = Rotationsgelenk
T = Torsionsgelenk
V = Revolvergelenk
L = Lineargelenk

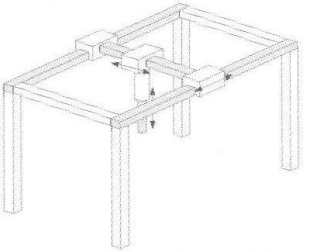
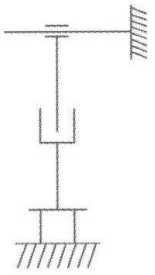
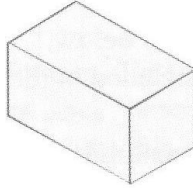
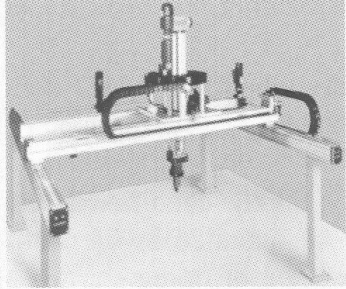
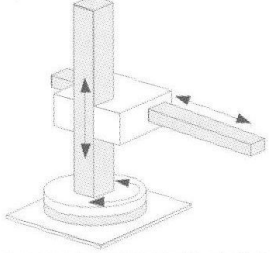
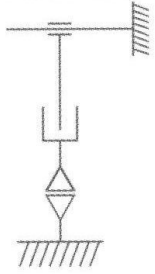
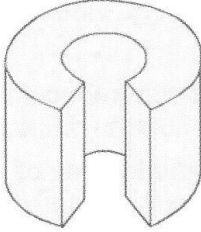
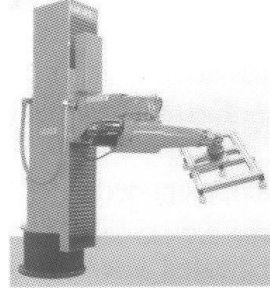
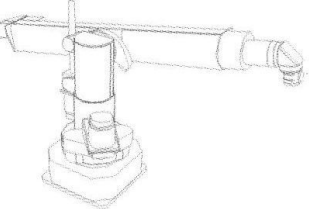
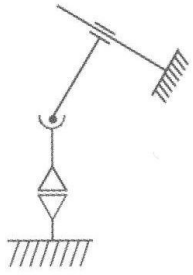
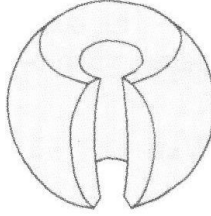
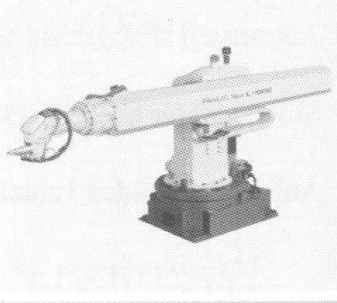
Arbeitsraum: Hohlkugel

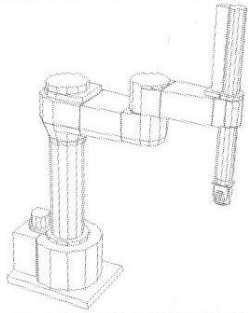
Typ: TRR
Andere Typen: VVR

Arbeitsraum im Kugelkoordinatensystem

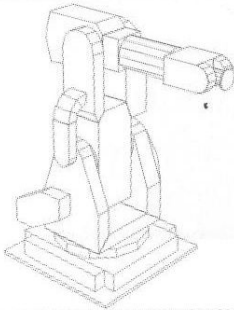
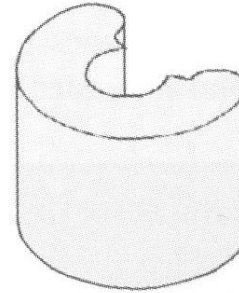
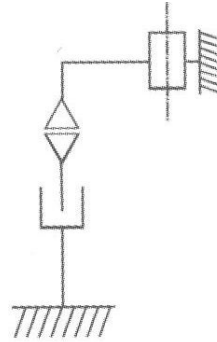
- Roboter vom Typ „PUMA“



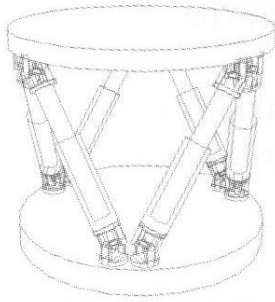
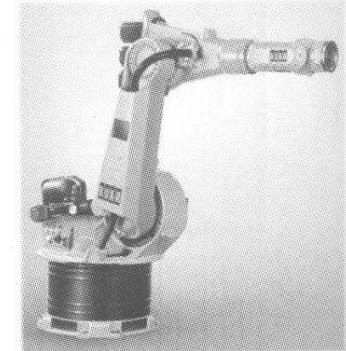
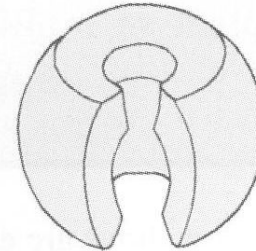
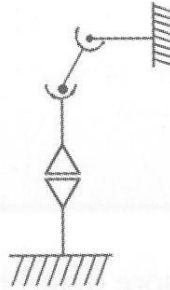
Robot	Axes		Examples
Principle	Kinematic Structure	Workspace	Photo
 <p>Cartesian Robot</p>			
 <p>Cylindrical Robot</p>			
 <p>Spherical Robot</p>			



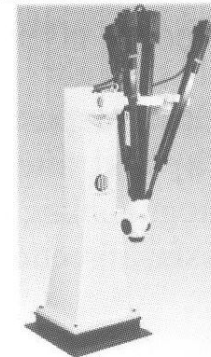
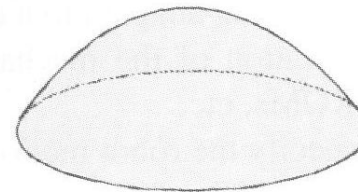
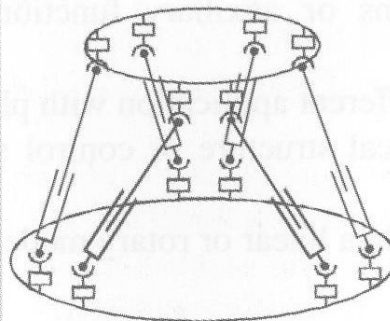
SCARA Robot



Articulated Robot

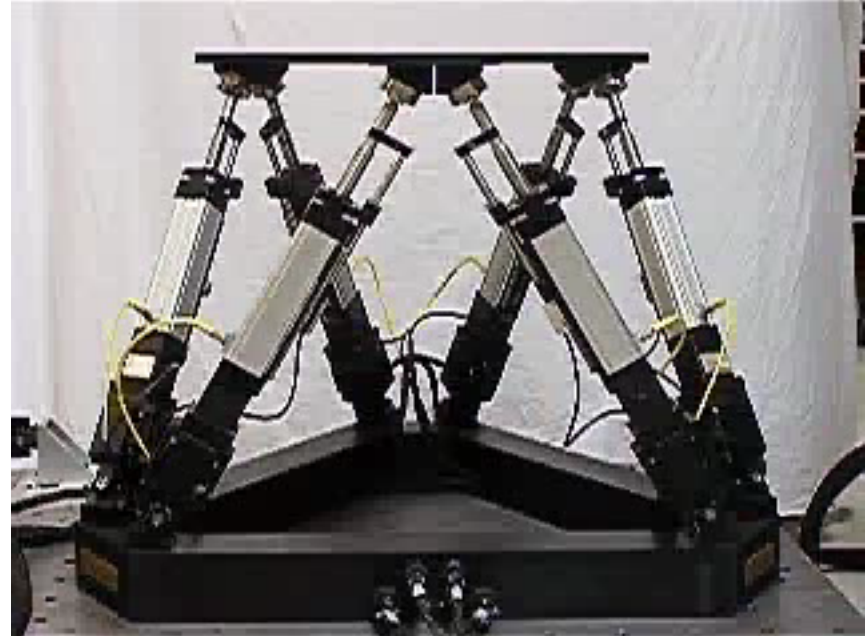


Parallel Robot

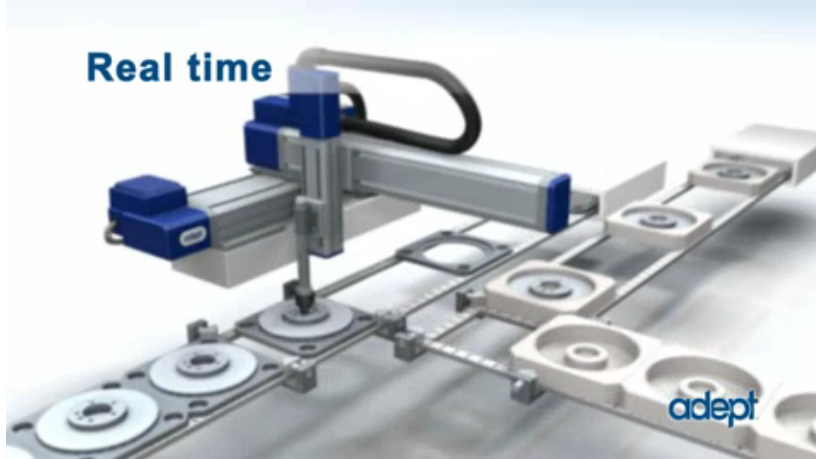


Stewart-Plattform

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



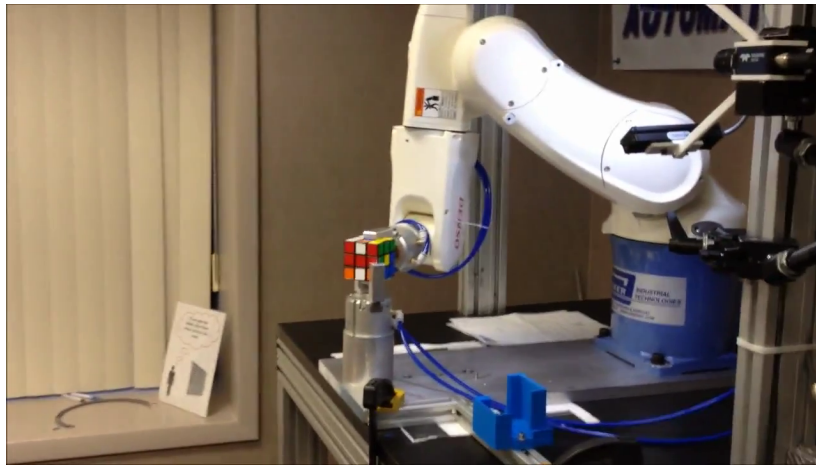
Linear



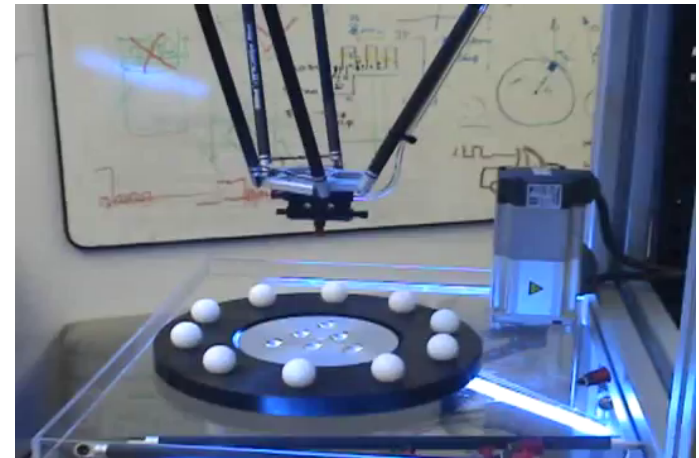
SCARA



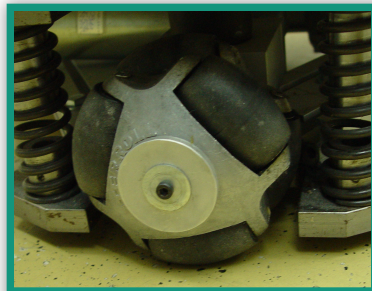
Knickarm



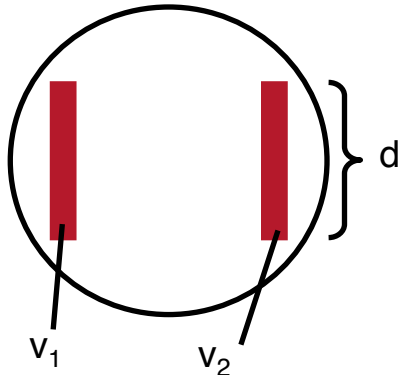
Delta (Parallel)



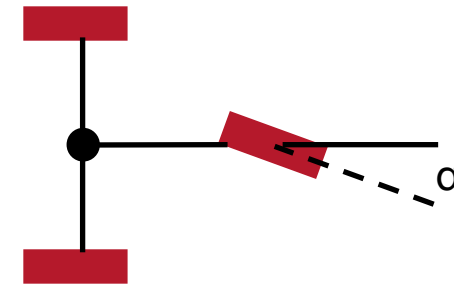
- Mechanische Komponenten
 - Gelenktypen
 - Arbeitsraum
 - Radkonfigurationen
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



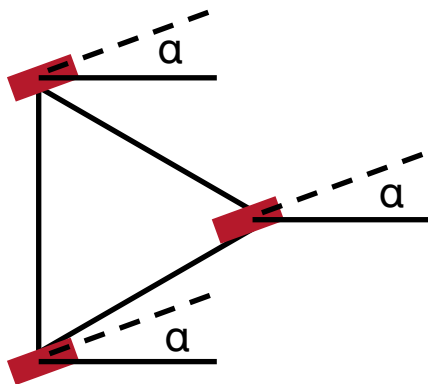
Differentialantrieb



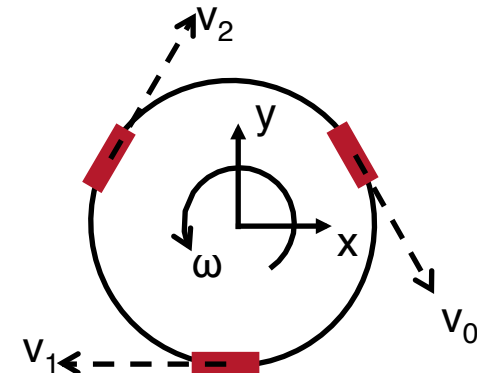
Dreirad-Antrieb



Synchro-Antrieb

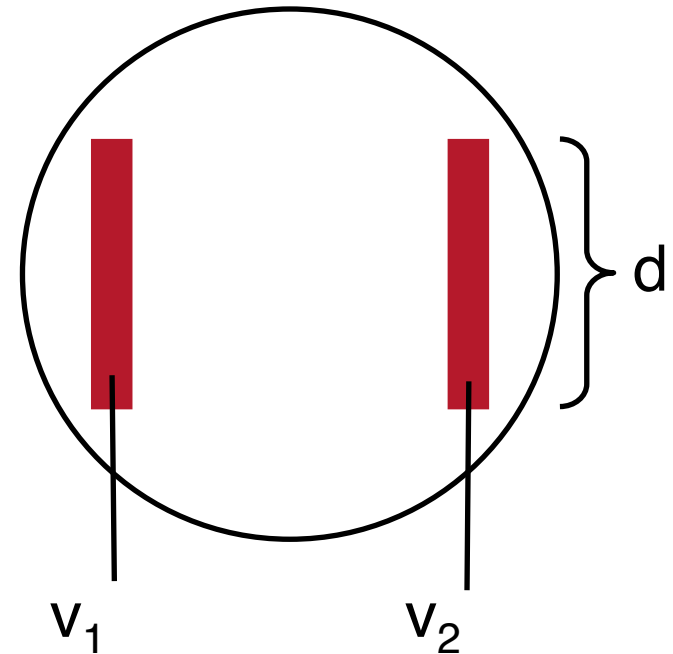


Mecanum-Antrieb



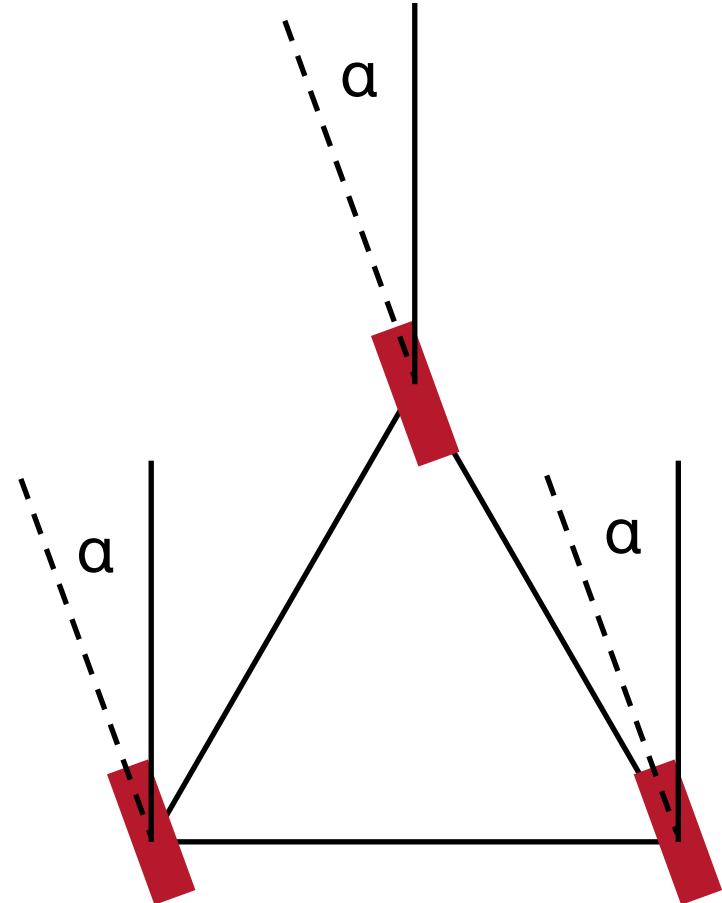
Differentialantrieb

- Eigenschaften
 - Geradeaus-und Kurvenfahrten
 - Drehen auf der Stelle
 - Vorwärts-und Rückwärtsfahrten identisch
- Vorteile
 - einfache Mechanik
- Nachteile
 - Radregelung in Echtzeit



Synchro-Drive

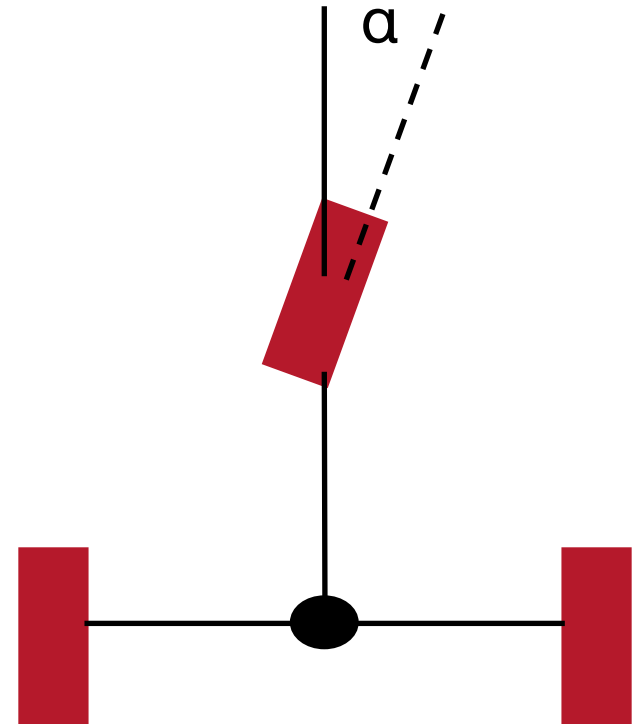
- Eigenschaften
 - Geradeaus- und Kurvenfahrten
 - Vorwärts- und Rückwärtsfahrten identisch
 - Plattform dreht nicht mit
- Vorteile
 - Einfache Regelung
 - Geradeausfahrt mechanisch garantiert
- Nachteile
 - Mechanische Komplexität



Dreirad-Antrieb

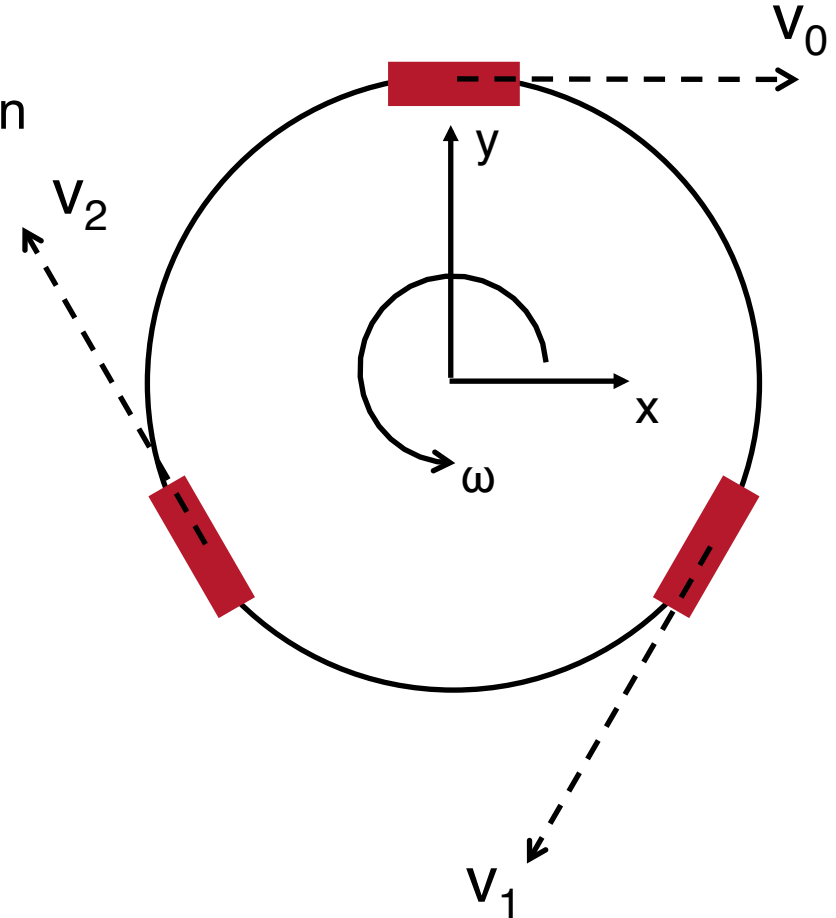
- Eigenschaften
 - Geradeaus- und Kurvenfahrten
 - Vorwärts- und Rückwärtsfahrten unterschiedlich

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



Mecanum-Antrieb

- Eigenschaften / Vorteile
 - Uneingeschränkte Beweglichkeit in Richtungen x , y und ω
- Nachteile
 - Mechanische Komplexität
 - Aufwendige Regelung







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



Linearantrieb

Geschwindigkeit des Kolbens

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

mit

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

A : Grundfläche des Kolbens

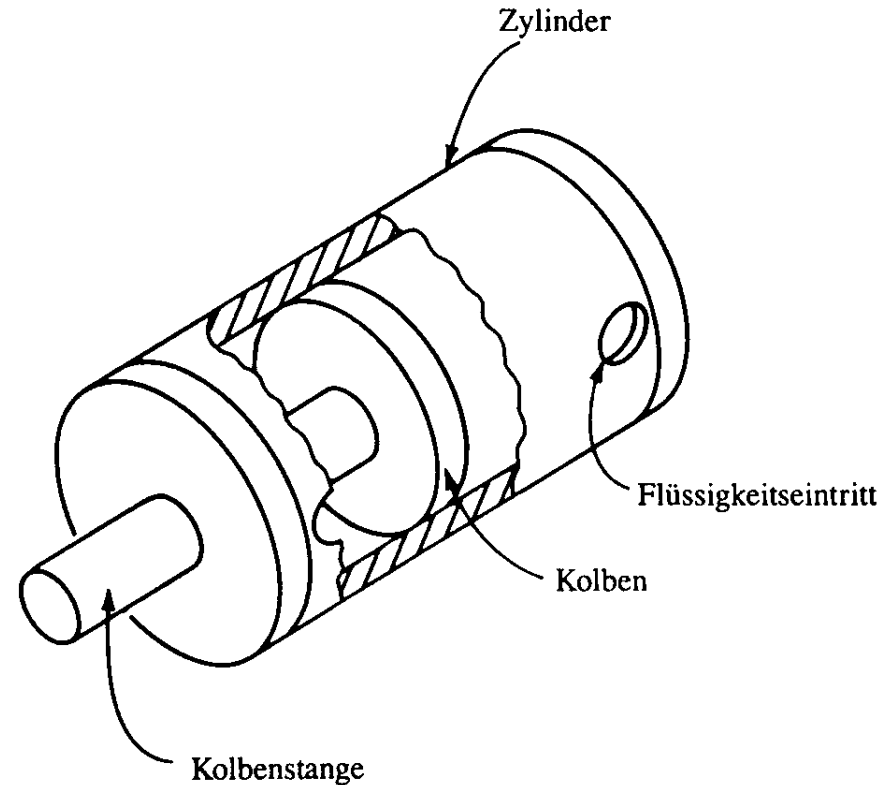
Kraft des Kolbens $F(t)$

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

mit

$P(t)$: Druck des Mediums

A : Grundfläche des Kolbens



Schaufelrad

Winkelgeschwindigkeit des Kolbens

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

mit

f: Fließgeschwindigkeit des Mediums

h: Höhe des Schaufelrades

r: innerer Radius des Schaufelrades

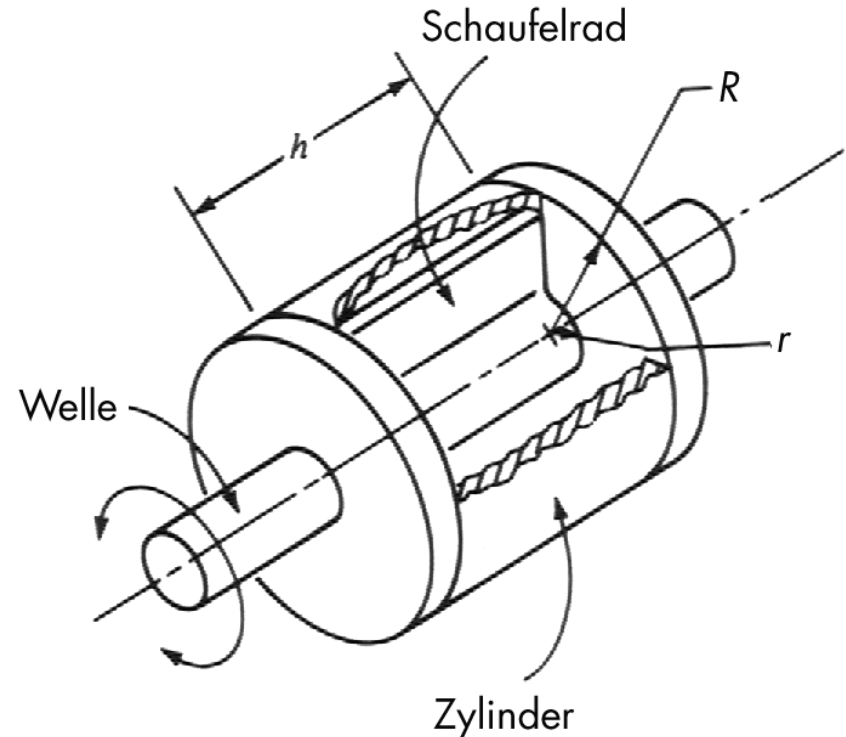
R: äußerer Radius des Schaufelrades

Drehmoment des Kolbens T(t)

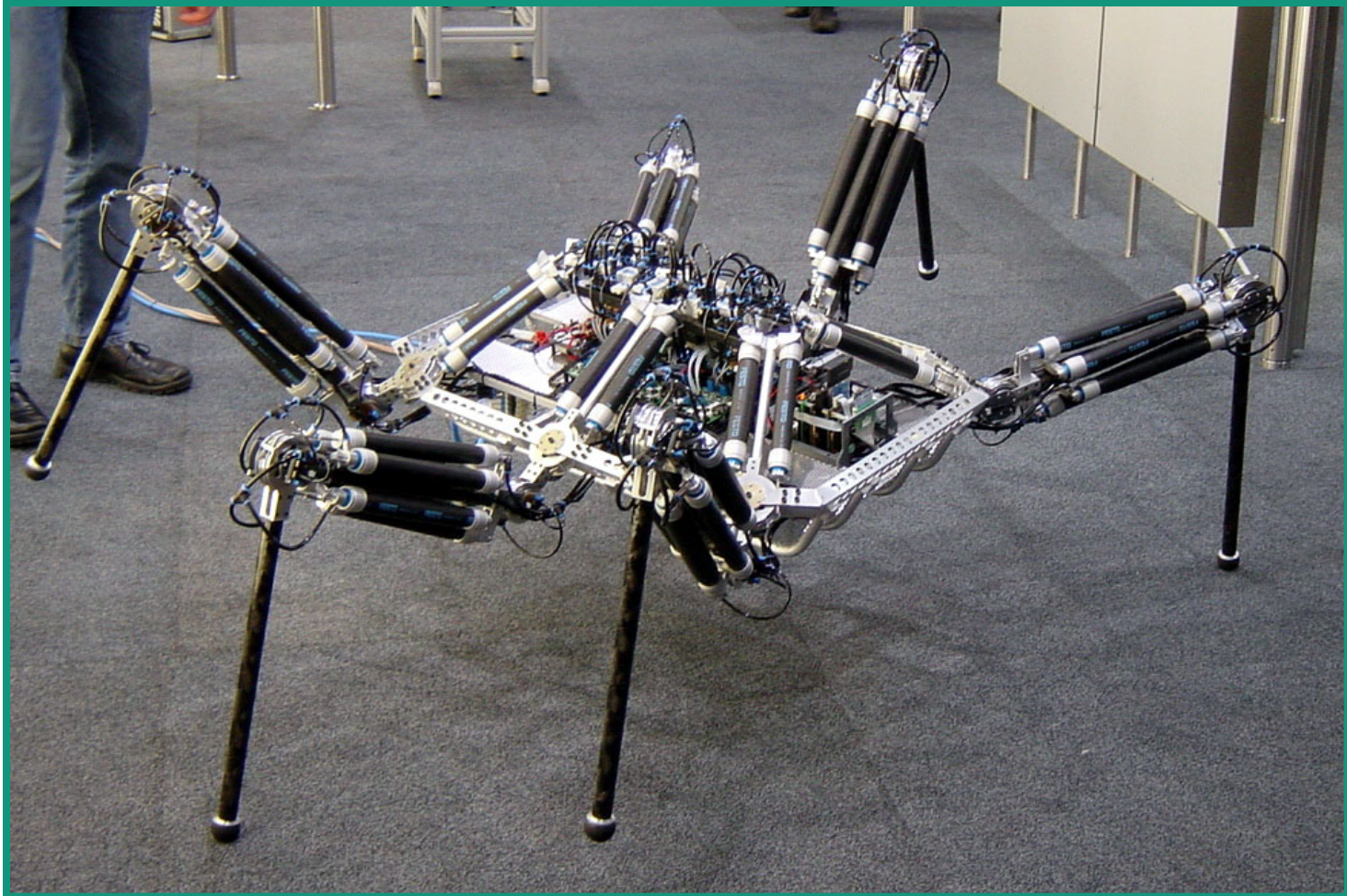
$$T(t) = 0.5 P(t) h(R-r) (R+r)$$

mit

P: Druck des Mediums



- Beispiel: Pneumatischer Antrieb am Roboter Airbug



Pneumatischer Antrieb

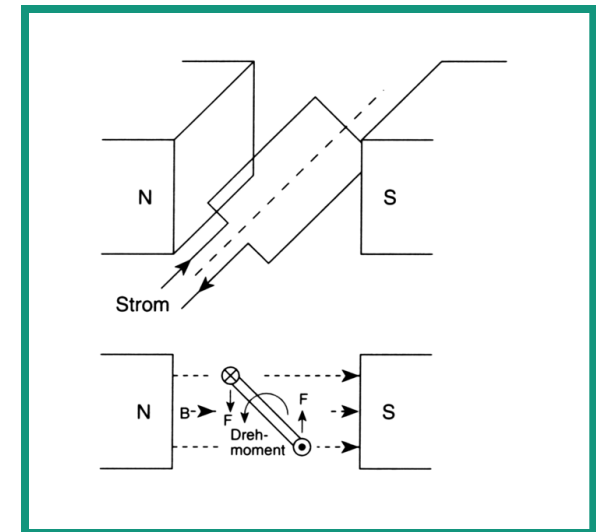
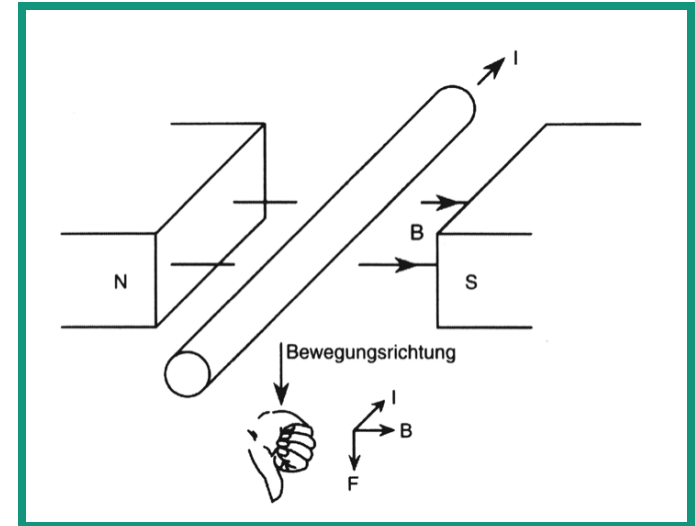
- **Stellenergie:** Komprimierte Luft bewegt Kolben, kein Getriebe
- **Vorteile:** billig, einfacher Aufbau, schnelle Reaktionszeit, auch in ungünstigen Umgebungen brauchbar
- **Nachteile:** laut, keine Steuerung der Geschwindigkeit bei der Bewegung, nur Punkt-zu-Punkt-Betrieb, schlechte Positioniergenauigkeit,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

Hydraulischer Antrieb

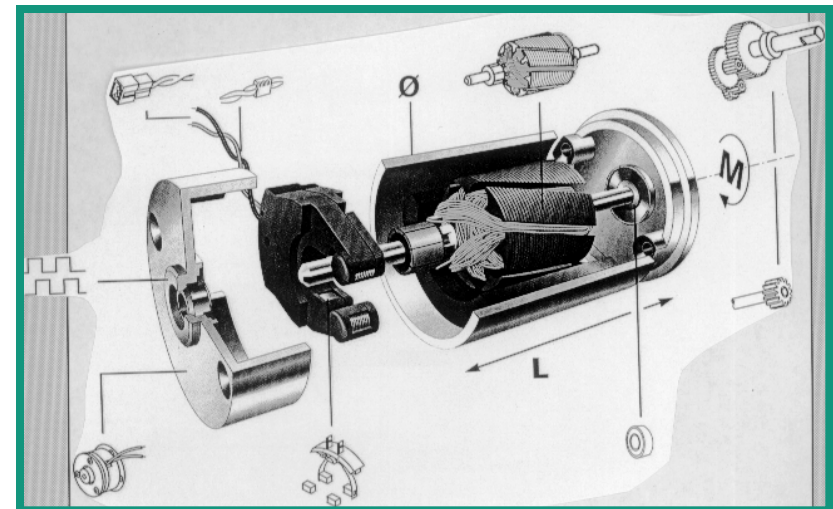
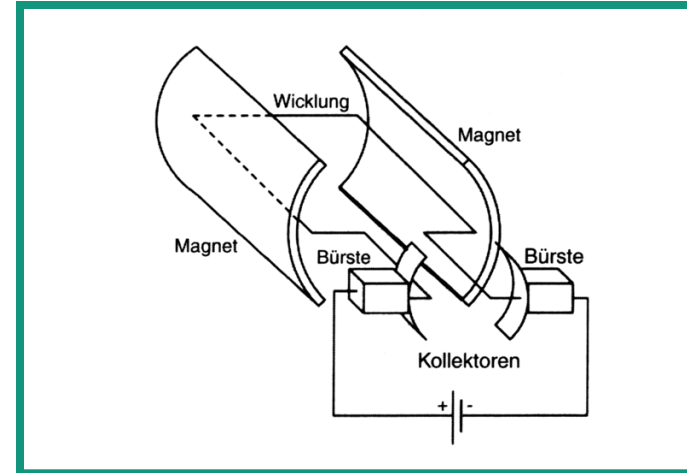
- **Stellenergie:** Öldruckpumpe und steuerbare Ventile
- **Vorteile:** sehr große Kräfte, mittlere Geschwindigkeit
- **Nachteile:** laut, zusätzlicher Platz für Hydraulik, Ölverlust führt zu Verunreinigung, Ölviskosität erlaubt keine guten Reaktionszeiten und keine hohen Positionier- und Wiederholgenauigkeiten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

- **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

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

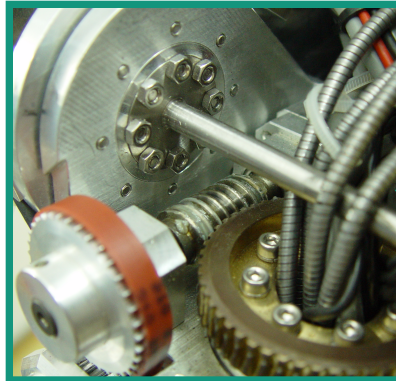


- für Drehbewegung muss Polarität gewechselt werden
- Polaritätswechsel mechanisch (oder Wechselstrom)
- Eisenkerne bündeln das Magnetfeld



DC-Motor von Faulhaber

- Mechanische Komponenten
- Antriebe
- **Getriebe**
- Sensoren



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

Stirnradgetriebe

- Untersetzung

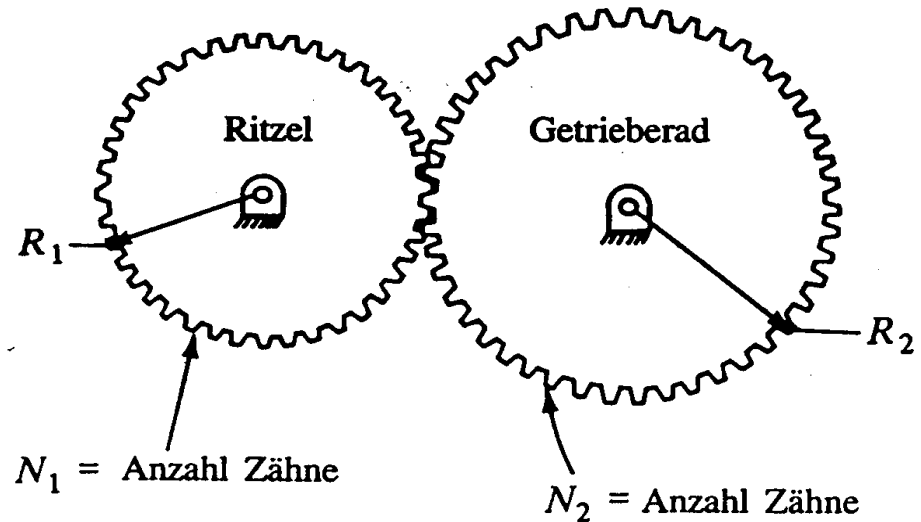
$$n = N_1/N_2$$

- Winkelgeschwindigkeit

$$W_2 = nW_1$$

- Drehmoment

$$T_2 = T_1/n$$



Schrauben- und Spindelgetriebe

Lineargeschwindigkeit $v(t)$

$$\mathbf{v(t) = p * W(t)}$$

p : Steigungskonstante (Ganghöhe)
Entfernung, welche die Schraube
bei einer Umdrehung zurücklegt

$\Omega(t)$: Winkelgeschwindigkeit

Kraft F

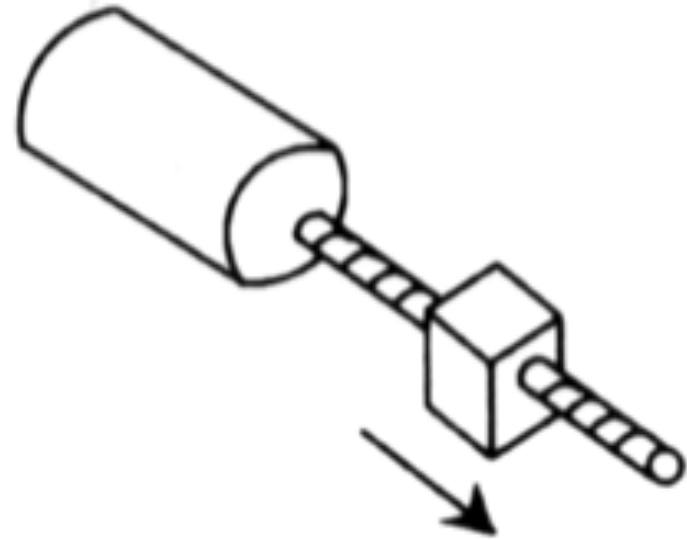
$$F = \frac{2T\pi * d_m - \mu * p \sec\beta}{d_m * p + \mu\pi d * _m \sec\beta}$$

T : Drehmoment

d_m : Gewindewinkel

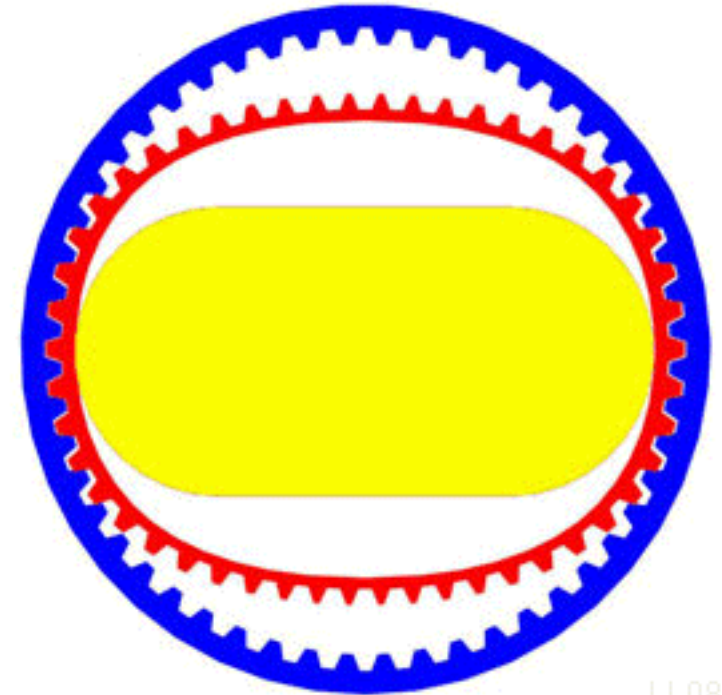
\sec : mittlere Durchmesser der Schraube

μ : Reibungskoeffizient



Harmonic Drive

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



Wavegenerator

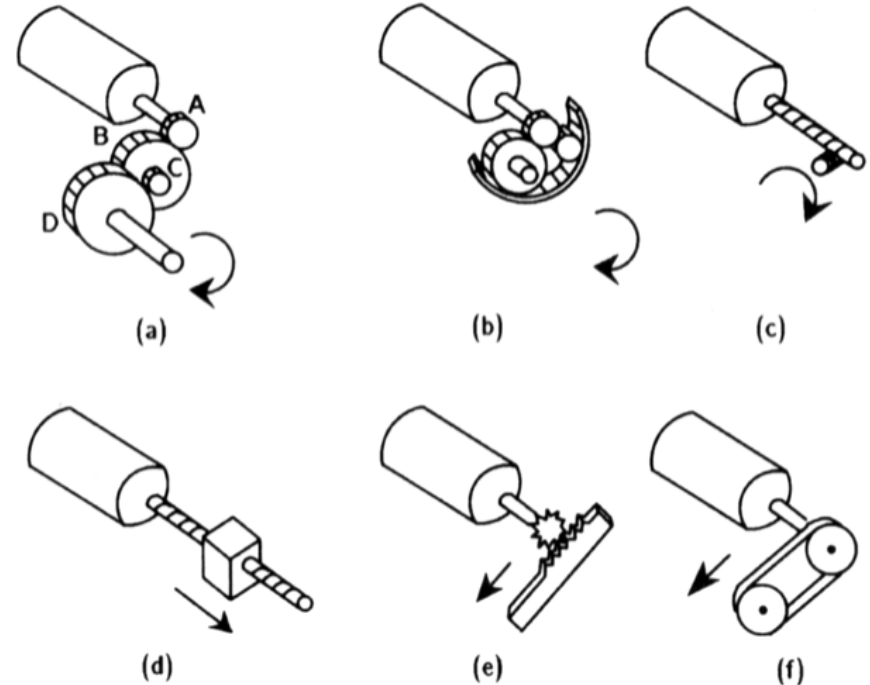
Flexible Spline

Circular Spline

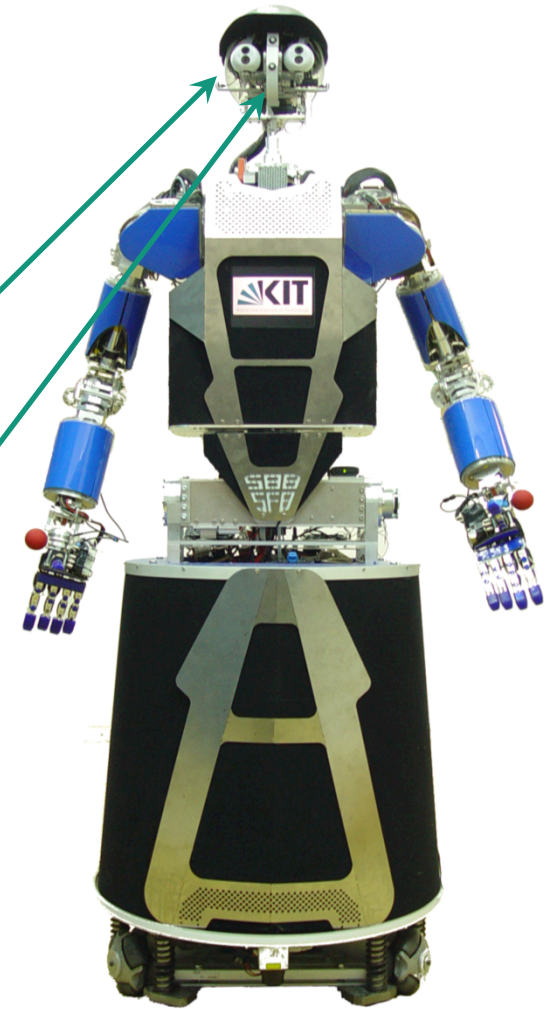
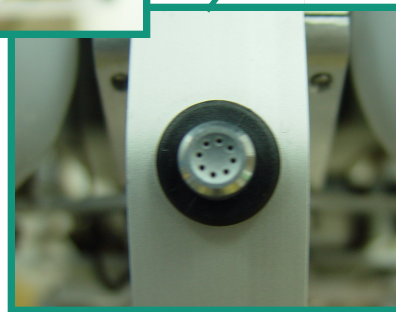
LL08



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

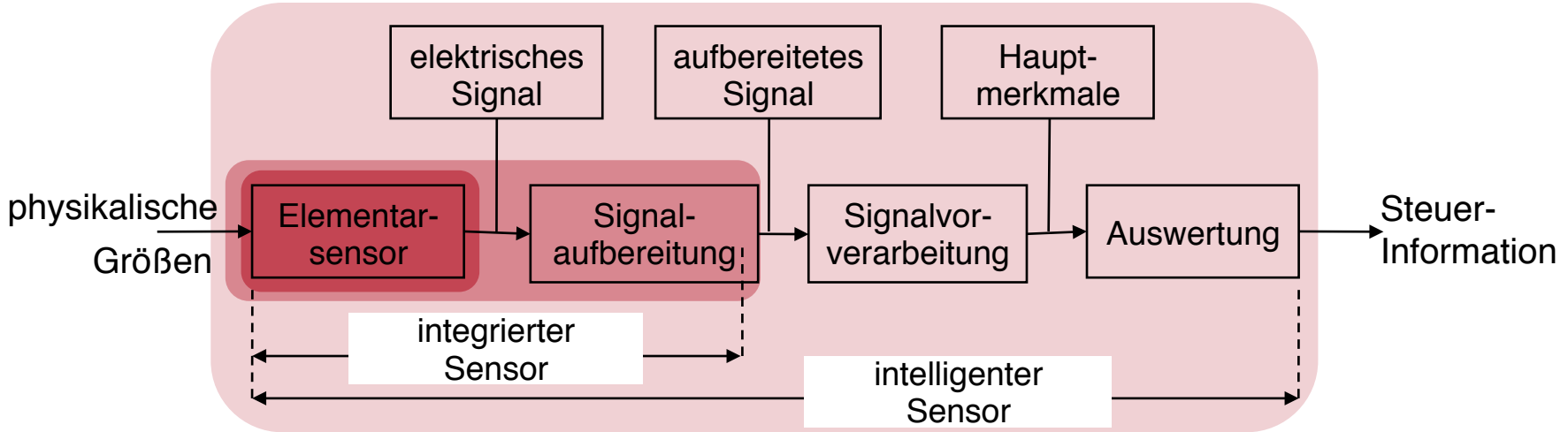


- Mechanische Komponenten
- Antriebe
- Getriebe
- Sensoren



- **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)

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

Anforderung an die Sensorik:

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

Ausgehend von der Aufgabenstellung und des Ortes der Integration wird der Sensor ausgewählt

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

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

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)

- 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

in Robotik 3 im SS 2014 ...