

# 4. Aktuelle Entwicklungen

Neben den klassischen seriellen Industrierobotern ergeben sich in letzter Zeit neue Trends innerhalb der Robotik. In diesem Zusammenhang sind insbesondere zwei Bereiche zu nennen: **Parallelkinematiken** und **Serviceroboter**.

## Parallelkinematiken (PKM)

Eine Parallelkinematik besteht in der Regel aus einer festen und einer bewegten Plattform, die über mehrere parallele kinematische Ketten miteinander verbunden sind. Im Gegensatz zu klassischen seriellen Industrierobotern wirken die Antriebe parallel auf den Endeffektor. Dadurch ergeben sich einige prinzipielle Unterschiede:

### Vorteile:

1. Höhere Genauigkeit und Steifigkeit, da sich die Positionierfehler und Elastizitäten der einzelnen Antriebsachsen nicht addieren.
2. Besseres Last-Massen-Verhältnis, da die Antriebe direkt auf die Last wirken und nicht noch zusätzlich nachfolgende Armglieder tragen müssen.

### Nachteile:

1. Eingeschränkter Arbeitsraum, da sich die Bewegungen der Antriebseinheiten ebenfalls nicht addieren.
2. Kinematische und dynamische Beziehungen aufgrund der geschlossenen kinematischen Ketten erheblich komplexer.

	serielle Roboter	Parallelkinematiken
Absolutgenauigkeit	--	+
Wiederholgenauigkeit	+ -	++
Steifigkeit	-	+
Last/Massen-Verhältnis	--	+
Beschleunigungen am EE	+ -	+ +
Arbeitsraum (Größe, Hindernisvermeidung)	+ +	-
Flexibilität (Anpassbarkeit an Aufgabenstellung)	++	- +
Math. Berechnungsaufwand (Kinematik, Dynamik)	+ -	--

### Anwendungsbereiche:

Parallelkinematiken werden überall dort eingesetzt, wo hohe Beschleunigungen, Genauigkeiten bzw. Steifigkeiten bei räumlichen Bewegungen erforderlich sind:

- Bewegungssimulatoren, z.B. Flugsimulatoren, Mehrachsenprüfstände
- Werkzeugmaschinen, z.B. Fräsmaschinen, Schleifmaschinen
- Führungssystem für Laserbearbeitung
- Handhabungsautomaten
- Feinpositionier- und Messsysteme

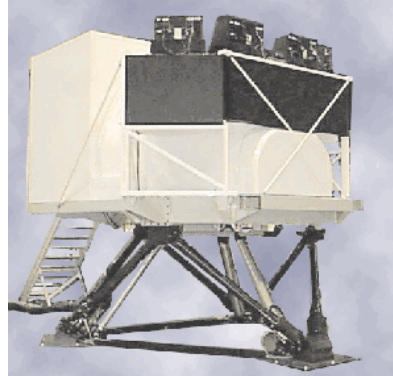
## Beispielsysteme:

**Bewegungssimulatoren:** Aufgrund hoher Lastmassen und Beschleunigungen werden Bewegungssimulatoren in der Regel als hydraulische Plattformen aufgebaut.

Hexamove (Hexapod)  
der Fa. OHE Hagenbuch AG



Flugsimulator 737 FNPT II  
der Fa. Frasca Int., Inc.



## Handhabungsautomaten:

FANUC F-200i  
(Last: 100kg; Masse: 170 kg)



Flexpicker IRB340 (Delta-Roboter) von ABB  
für extrem hohe Geschwindigkeiten



**Führungssysteme für Laserbearbeitung:** Solche Systeme werden häufig als sog. Hybridkinematiken bestehend aus einem Tripod und zusätzlichen seriellen Achsen aufgebaut. Mit dem Tripod wird der EE positioniert. Das serielle System an der Hand dient zur Einstellung der Orientierung.

Tricept TR600 von Neos Robotics



Hybridkinematik Georg V. des IFW

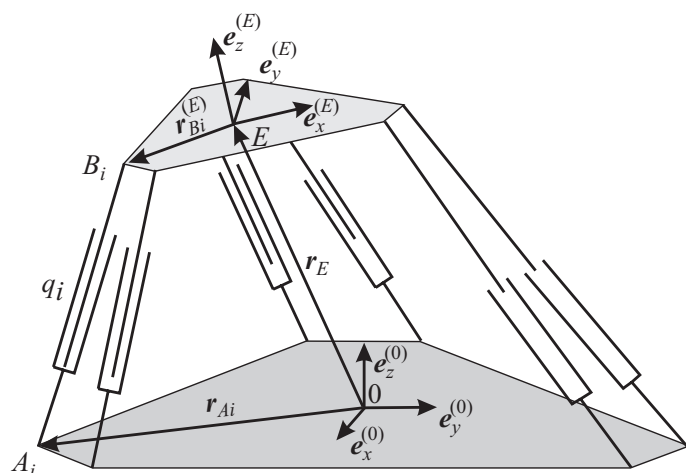


# Kinematik von PKM

## Inverse Kinematik

Die inverse Kinematik beschreibt den Zusammenhang zwischen der Stellung der bewegten Plattform und den Stellungen der aktiven (angetriebenen) Gelenke:  $\mathbf{q} = \mathbf{g}(\mathbf{x})$

Im Gegensatz zu seriellen Kinematiken lässt sich bei PKM die inverse Kinematik in der Regel einfach lösen, da sich die Stellungen der aktive Gelenke im allgemeinen direkt aus der Stellung der bewegten Plattform berechnen lassen.



**Beispiel:** Hexapod vom Stewart-Typ  
Für einen solchen Hexapoden ergibt sich die inverse Kinematik durch Berechnung der Beinlängen:

$$\begin{aligned} q_i &= g_i(\mathbf{x}) = \|\overline{A_i B_i}\| \\ &= \|\mathbf{r}_{A_i} - \mathbf{r}_E + \mathbf{r}_{B_i}^{(E)}\| \\ &= \|\mathbf{r}_{A_i} - \mathbf{r}_E + \mathbf{R}^{0E} \mathbf{r}_{B_i}^{(E)}\| \end{aligned}$$

Die Vektoren  $\mathbf{r}_{A_i}$  und  $\mathbf{r}_{B_i}^{(E)}$  sind konstant und aus den Konstruktionsdaten bekannt, was die Rechnung sehr vereinfacht.

### Inverse Jacobi-Matrix:

Die inverse Jacobi-Matrix ergibt sich durch formales Ableiten

$$\mathbf{J}^{-1}(\mathbf{x}) = \frac{\partial \mathbf{g}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}$$

## Direkte Kinematik

Die direkte Kinematik von PKM ist normalerweise nicht oder nur sehr schwer analytisch lösbar. Deshalb muss die direkte Kinematik in der Regel numerisch gelöst werden. Dazu geht man üblicherweise iterativ mit Hilfe der Jacobi-Matrix vor:

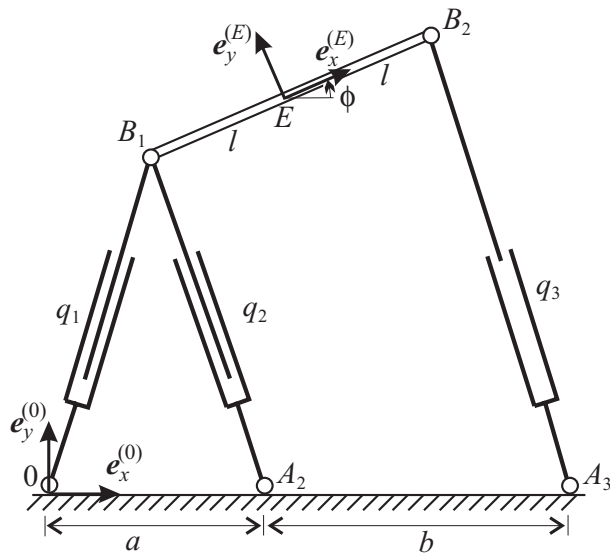
1. Schätzung eines Startvektors  $\mathbf{x}_0$
2. Berechnung der zugehörigen Gelenkstellungen:  $\mathbf{q}_k = \mathbf{g}(\mathbf{x}_k)$  ( $k$ : Zählindex)
3. Ermittlung eines neuen Schätzwertes:  $\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{J}(\mathbf{x}_k)(\mathbf{q} - \mathbf{q}_k)$
4. Wenn  $\|\mathbf{q} - \mathbf{q}_k\| < \varepsilon$  ( $\varepsilon$ : z.B. Auflösung der Sensoren)  $\mathbf{x} = \mathbf{x}_k$  und Abbruch, sonst Fortsetzung bei 2.

Häufig liegt schon zu Beginn ein guter Schätzwert vor, so dass die Iteration schnell beendet werden kann.

### Jacobi-Matrix:

Die Jacobi-Matrix ist in der Regel ebenfalls nicht analytisch berechenbar und muss deshalb durch numerische Inversion der inversen Jacobi-Matrix ermittelt werden.

## Beispiel: Planare PKM mit drei Schubgelenken



Gegeben:

$$a = 0.5, b = 0.8, l = 0.4$$

Konfigurationsraum:

$$0.5 \leq q_i \leq 1$$

Umweltkoordinaten:

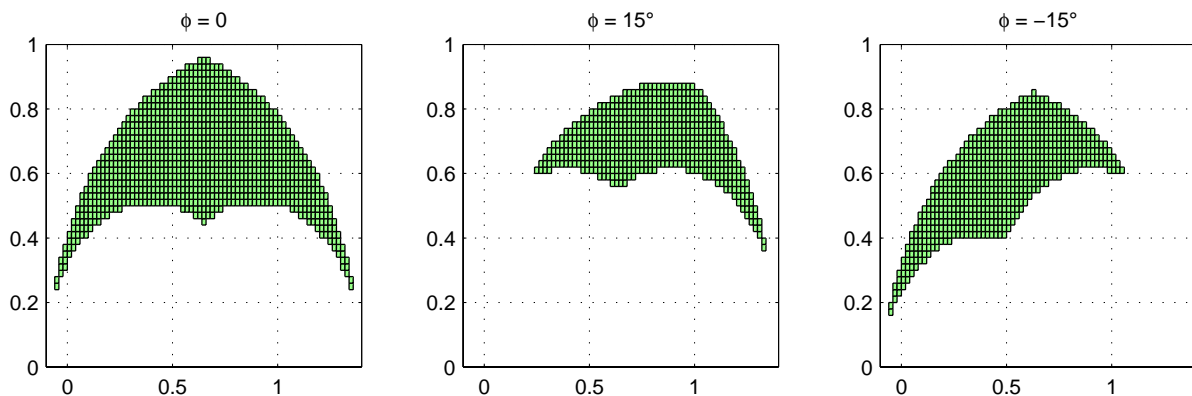
$\mathbf{x} = [x, y, \phi]^T$ : Lage und Orientierung von  $(KS)_E$  bezüglich  $(KS)_0$

### Inverse Kinematik

$$\mathbf{q} = \mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x - l \cos(\phi))^2 + (y - l \sin(\phi))^2} \\ \sqrt{(-a + x - l \cos(\phi))^2 + (y - l \sin(\phi))^2} \\ \sqrt{(-(a+b) + x + l \cos(\phi))^2 + (y + l \sin(\phi))^2} \end{bmatrix}$$

### Arbeitsraum

Der Arbeitsraum hängt stark von der gewählten Orientierung ab.



### Inverse Jacobi-Matrix

$$\mathbf{J}^{-1}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \frac{x - l \cos(\phi)}{\sqrt{(x - l \cos(\phi))^2 + (y - l \sin(\phi))^2}} & \frac{y - l \sin(\phi)}{\sqrt{(x - l \cos(\phi))^2 + (y - l \sin(\phi))^2}} & \frac{l(\sin(\phi)x - \cos(\phi)y)}{\sqrt{(x - l \cos(\phi))^2 + (y - l \sin(\phi))^2}} \\ \frac{-a + x - l \cos(\phi)}{\sqrt{(x - a - l \cos(\phi))^2 + (y - l \sin(\phi))^2}} & \frac{y - l \sin(\phi)}{\sqrt{(x - a - l \cos(\phi))^2 + (y - l \sin(\phi))^2}} & \frac{l(\sin(\phi)(x - a) - \cos(\phi)y)}{\sqrt{(x - a - l \cos(\phi))^2 + (y - l \sin(\phi))^2}} \\ \frac{-a - b + x + l \cos(\phi)}{\sqrt{(x - a - b + l \cos(\phi))^2 + (y + l \sin(\phi))^2}} & \frac{y + l \sin(\phi)}{\sqrt{(x - a - b + l \cos(\phi))^2 + (y + l \sin(\phi))^2}} & \frac{l(\sin(\phi)(a + b - x) + \cos(\phi)y)}{\sqrt{(x - a - b + l \cos(\phi))^2 + (y + l \sin(\phi))^2}} \end{bmatrix}$$

## Singularitäten

$$\begin{aligned}\det(\mathbf{J}^{-1}(\mathbf{x})) &= \dots \\ &= \frac{2la(y-l\sin(\phi))(\cos(\phi)y+(a+b-x)\sin(\phi))}{\sqrt{((x-l\cos(\phi))^2+(y-l\sin(\phi))^2)((x-a-l\cos(\phi))^2+(y-l\sin(\phi))^2)((x-a-b+l\cos(\phi))^2+(y+l\sin(\phi))^2)}}\end{aligned}$$

Nullstellen des Zählers:

1.  $y-l\sin(\phi) = 0$ : Bein 1 und Bein 2 liegen auf einer Geraden (theoretischer Fall!).
2.  $\cos(\phi)y+(a+b-x)\sin(\phi) = 0$ : Bein 3 und Plattform liegen auf einer Geraden  $\implies$  Plattform „wackelt“.

Nullstellen des Nenners: Beinlängen werden zu Null (theoretischer Fall!).

# Serviceroboter

Wie heutzutage im industriellen Umfeld üblich, werden in Zukunft auch im Servicebereich Roboter schwere, schmutzige, gefährliche und immer wiederkehrende Aufgaben übernehmen. Der technische Fortschritt ermöglicht den Einsatz intelligenter Robotersysteme auch außerhalb der gut strukturierten industriellen Umgebung. Die Notwendigkeit zur Rationalisierung und Automatisierung im Dienstleistungssektor aufgrund seines überproportionalen Wachstums forciert diesen Trend.

## Definitionen

*A service robot is a robot which operates semi or fully autonomously to perform services useful to the well being of humans and equipment, excluding manufacturing operations.* (UN/ECE-Studie: World Robotics 1999)

*Ein Serviceroboter ist eine frei programmierbare Bewegungseinrichtung, die teil- oder vollautomatisch Dienstleistungen verrichtet. Dienstleistungen sind dabei Tätigkeiten, die nicht der direkten industriellen Erzeugung von Sachgütern, sondern der Verrichtung von Leistungen für Menschen und Einrichtungen dienen.* (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), 1994)

Viele andere Definitionen sind möglich, weil sich der Einsatzbereich von Servicerobotern nicht so klar abgrenzen lässt wie der von Industrierobotern.

## Einsatzgebiete:

- Aufgaben in unzugänglicher, gesundheitsschädlicher oder gefährlicher Umgebung, z. B. Feuerwehrroboter, Unterwasserroboter, Weltraumroboter, Rohrmolche.
- Einfache und monotone oder sich häufig wiederholende Tätigkeiten, z. B. Reinigungsroboter, Botenroboter, Tankroboter, automatische Fremdenführer und Lastenträger.
- Wiederkehrende Aufgaben im Pflege- und Krankenhausbereich, z. B. Roboter zur Unterstützung bei Operationen, intelligente Rollstühle, Pflegeroboter.

## Anforderungen

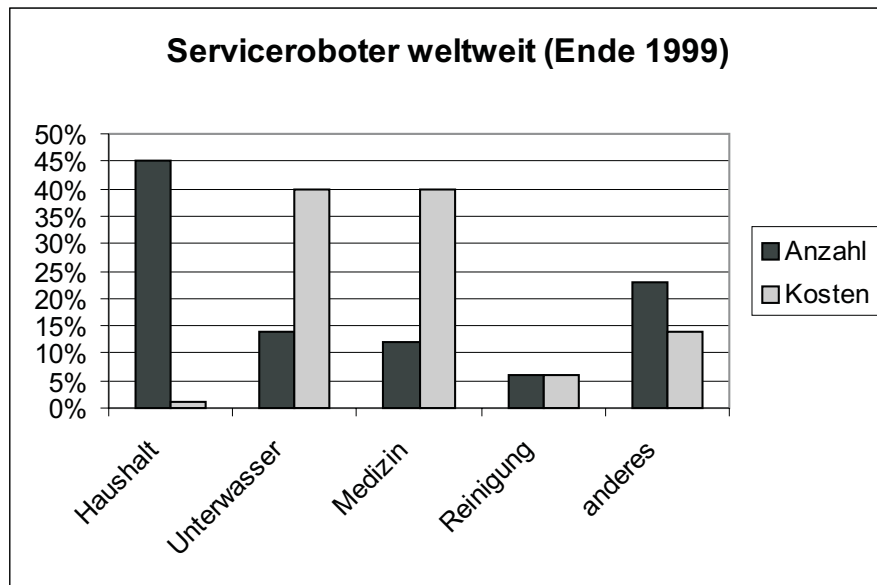
Der Einsatz im menschlichen Umfeld stellt besondere Anforderungen in folgenden Bereichen:

- Aufgabenplanung (z.B. Planung und Priorisierung von Arbeitsschritten, Bahnplanung),
- Umgebungserfassung (z.B. Eigenlokalisierung, Erkennung und Lokalisierung von Objekten in Umgebung),
- Fortbewegung (z.B. Bewegung auf unterschiedlich strukturiertem Untergrund, Bahnregelung, Hindernisvermeidung, Energieversorgung),
- Sicherheit (Schutz des Menschen, Eigenschutz, Kollisionsschutz, Mitteilung von Fehlern, selbstständige Reperatursysteme),
- Humanverträglichkeit (z.B. Akzeptanz, Design, „Man-Machine-Interface“).

Die Anforderungen steigen mit dem Autonomiegrad. So sind z.B. an Roboter in der Medizintechnik zur Unterstützung bei Operationen in erster Linie nur höhere Sicherheitsanforderungen zu stellen.

## Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen

Laut *UN/ECE-Studie: World Robotics 2000* befanden sich Ende 1999 weltweit ungefähr 6600 Serviceroboter im Einsatz.



Haushaltsroboter unterscheiden sich von Reinigungsrobotern dadurch, dass sie im häuslichen Umfeld eingesetzt werden (Haushaltsroboter: z.B. Staubsauger, Rasenmäher, häusliche Unterhaltungsroboter; Reinigungsroboter: z.B. Flur- und Bahnsteigreinerung, Fassaden- und Fensterreinigung).

Für den Zeitraum bis 2003 wird die Installation von zusätzlich insgesamt 50.000 Service-robotern (davon 5.000 Medizinrobotern und 40.000 Haushaltsrobotern) ohne Staubsaugerroboter vorhergesagt. Im gleichen Zeitraum sollen 250.000 Staubsaugerroboter weltweit verkauft werden. Alle führenden Experten sagen voraus, dass Serviceroboter langfristig die Anzahl der Industrieroboter übertreffen werden. Dieses wird spätestens dann der Fall sein, wenn sich sogenannte „*personal robots*“ durchgesetzt haben und wie heutzutage PC oder Handy in jedem Haushalt zu finden sind. Ein „*personal robots*“ ist ein Roboter, der dem Mensch als Diener, Spielkamerad etc. zur Verfügung steht und intelligente Systeme im Haushalt miteinander verknüpft.

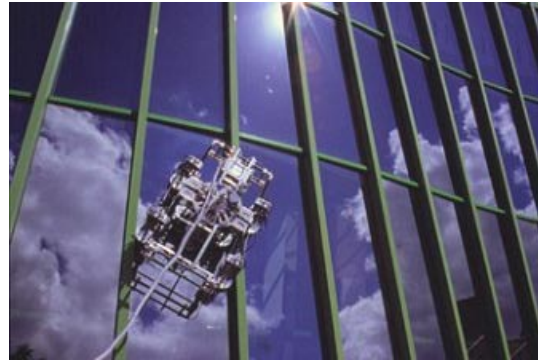
## Beispiele

- Reinigungsroboter

AUROR, Fa. Cybernétics (Frankreich):  
Bahnsteigreinigung



Kletterroboter zur Fassadenreinigung  
Fraunhofer, IFF



- Haushaltsroboter

Prototyp eines Staubsaugers  
von Electrolux

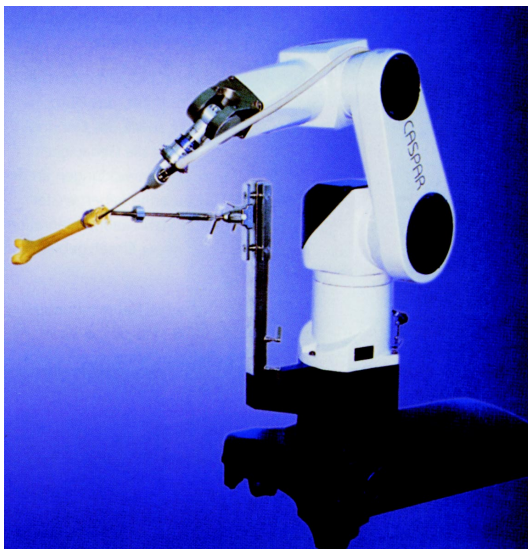


Rasenmäher ROBOMOW,  
Fa. Friendly Robotics



- andere

CASPAR, ortoMAQUET (Deutschland):  
Assistent für Hüftoperationen



AIBO: Spielzeugroboter von Sony





## Forschung im Bereich Servicerobotik

Die Forschung im Bereich Servicerobotik beschäftigt sich in erster Linie mit Fragen der Autonomie, der Nachbildung menschlichen Verhaltens und der Integration in das menschliche Umfeld ohne dessen Anpassung. Damit werden die ersten Schritte in Richtung „*personal robot*“ unternommen.

### Beispiele

- Autonomie, Navigation, künstliche Intelligenz, Kooperation

RoboCup-Team der Uni  
Freiburg (Weltmeister 2000)

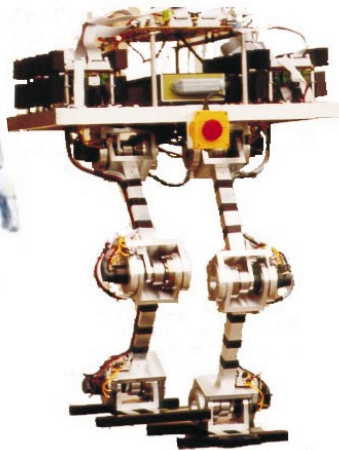


MARVIN  
(Multi-purpose  
Aerial Robot  
Vehicle with  
Intelligent  
Navigation),  
TU Berlin

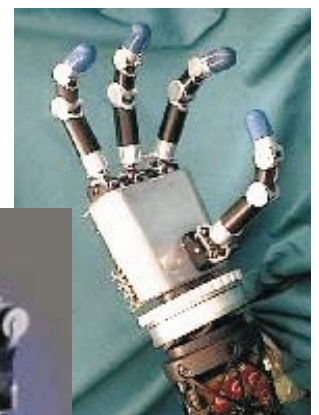
- Nachbildung menschlicher Eigenschaften



Humanoid P3  
von Honda



Zweibeiner BART-UH  
des IRT



Hand und Leicht-  
bauarm der DLR

# Sensoren für Serviceroboter

Mit zunehmendem Autonomiegrad steigen die Anforderungen an die Hauptkomponenten Sensorik, Aktorik und Rechentechnik.

Die Anforderungen hängen dabei sehr stark von der gegebenen Aufgabe ab. Allen mobilen autonomen Systemen ist jedoch gemein, dass sie umfangreiche Sensorik zur Umgebungserfassung benötigen. Die Sensoren werden unter anderem eingesetzt für

- Positionsbestimmung,
- Erkennung von Hindernissen,
- Erkennung von Gegenständen,
- spezielle, an den Einsatzzweck gebundene Aufgaben.

Aufgrund der herausragenden Bedeutung werden im folgenden beispielhaft Sensoren vorgestellt, die zur Positionsbestimmung und/oder Hinderniserkennung eingesetzt werden.

## Positionsbestimmung

Die Positionsbestimmung des Roboters kann mit internen und/oder externen Sensoren geschehen. Interne Sensoren messen Größen wie Raddrehzahlen, Motorwinkel oder Beschleunigungen. Externe Sensoren sind z.B. Ultraschall-Sensoren, Video-Kameras oder Laserscanner.

### Interne Sensoren

Interne Sensoren können die Geschwindigkeit oder die Beschleunigung des Roboters messen. Integriert man über diese Messwerte, erhält man die Position relativ zur Ausgangsposition. Messfehler werden mitintegriert, weshalb die Genauigkeit der Position mit der Fahrzeit sinkt. Das Verfahren heißt Koppelnavigation (engl. dead-reckoning).

**Odometrie:** Wertet nur Raddrehzahlen und Lenkwinkel aus. Dazu braucht man Winkelgeber an den Antriebsmotoren, die meist für die Motorregelung benötigt werden und deshalb schon vorhanden sind. Das Problem ist hier die große Orientierungsungenauigkeit schon nach kurzer Fahrt. Die gefahrene Strecke hingegen kann genauer abgeschätzt werden. Einflussgröße sind u.a. der Schlupf an den Rädern und der Radstand.

**Trägheitsnavigation:** Verfahren, die Beschleunigungen messen, werden seit langen z.B. in der Luftfahrt auf kreiselstabilisierten Plattformen eingesetzt. Sie arbeiten relativ genau, sind aber sehr teuer. Werden die Beschleunigungen direkt gemessen, ist die Drift sehr groß (besonders bei langsamer Fahrt).

Borenstein schreibt dazu in [2, S. 121]: „Inertial navigation systems alone are generally inadequate for periods of time that exceed a few minutes. However, inertial navigation can provide accurate short-term information, for example orientation changes during a robot maneuver. Software compensation, usually by means of a Kalman filter, can significantly improve heading measurement accuracy.“

## Externe Sensoren

Externe Sensoren erfassen natürliche oder künstliche Landmarken. Ein Beispiel für eine künstliche Landmarke ist ein an die Wand gemalter Streifen, der von einer Videokamera identifiziert wird. Werden mehrere Landmarken erkannt, deren Position im Raum bekannt ist, so kann die *absolute* Position des Roboters berechnet werden (vergl. *relative* Lagebestimmung bei Verwendung interner Sensoren). Ein Beispiel für die Positionsbestimmung mit künstlichen Landmarken ist das Global-Positioning-System (GPS). Landmarken sind bei diesem System die Satelliten, die ihre Position am Himmel ausstrahlen. Durch die Messung der Laufzeit der Signale, kann der Abstand zu jedem Satellit bestimmt werden. Aus diesen Daten ergibt sich dann die Position des Empfängers.

## Mischformen

Es sind auch Mischformen von Navigation mit internen und externen Sensoren denkbar. So könnte die Odometrie eine grobe Positionsinformation liefern, anhand derer die Position der erkannten Landmarken berechnet wird. Ein Vergleich dieser berechneten mit den bekannten Positionen der Landmarken liefert die absolute Position des Roboters.

Erstellt ein Roboter während der Fahrt in unbekannter Umgebung eine Karte mit Hilfe externer Sensoren und benutzt dabei zur Lagebestimmung Odometriedaten, so bilden sich die Fehler der Positionsberechnung in der Karte ab. Je weiter der Roboter bei seiner Erkundung voranschreitet, desto ungenauer ist die berechnete Position und damit auch die Karte. Erst wenn ein Bereich mehrfach durchfahren wird, beispielsweise wenn der Roboter zu seinem Ausgangspunkt zurückkehrt, kann durch einen Vergleich dieser Karte mit aktuellen Messungen die Genauigkeit der Positionsberechnung gesteigert werden.

Eine weitere Möglichkeit die Positionsgenauigkeit der Odometrie zu erhöhen, ist die Annahme, dass der Roboter sich meistens in 'rechtwinkligen' Umgebungen bewegt, was häufig bei einem Einsatz in Büroräumen gerechtfertigt ist. Geeignete mathematische Verfahren können dann den Winkelfehler der Odometrie-Rechnung verringern. Die Genauigkeit von Karten, die mit Laser- oder Ultraschallsensoren während der Fahrt generiert werden, steigt. Gerade der Orientierungsfehler ist bei der Odometrie groß. Ein solches Verfahren ist von G. Weiß in [1] detailliert vorgestellt.

Interessierten sei noch [3] empfohlen, das unter <sup>1</sup> zum Download beim Autor bereitsteht.

## Literatur

[1] Weiß, G.; Wetzler, C.; Puttkamer, E. v.: *Keeping Track of Position and Orientation of Moving Indoor Systems by Correlation of Range-Finder Scans*. IROS '94, München, 12-16 September 1994, S. 595-601.

[2] Borenstein, J.; Everett, H.R.; Feng, L.: *Navigating Mobile Robots, Systems and Techniques*. Peters, Wellesley, Mass. : 1996.

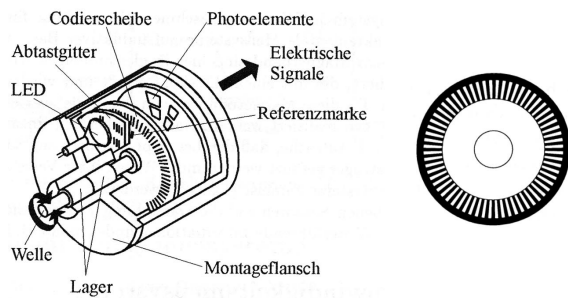
[3] Borenstein, J.; Everett, H.R.; Feng, L.: *'Where am I?' Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning* University of Michigan, 1996.

---

<sup>1</sup><ftp://ftp.eecs.umich.edu/people/johannb/>

# Gängige Sensorsysteme

## Optoencoder



misst Winkellage einer Achse, meist auf Motorachse montiert

Aufbau: LED, Encoderscheibe, Empfänger  
500 bis 4000 Striche typisch

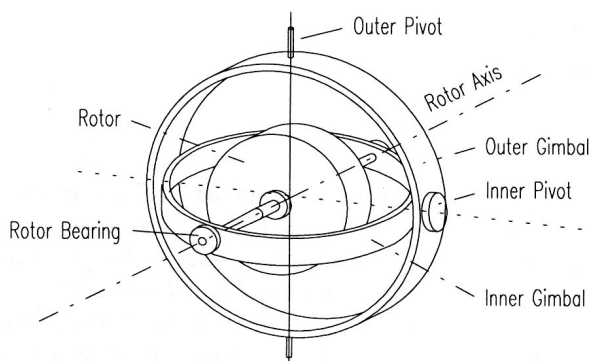
Richtungsinformation durch zwei Fotoempfänger, die zwei um  $90^\circ$  phasenversetzte Signale erzeugen

In der Regel inkrementales Messergebnis, Absolutwert durch Referenzpunkt (Nullpunkts) (z.B. zusätzlicher Schalter) Referenzfahrt zum Initialisieren erforderlich.

## Kreisel

Man unterscheidet mechanische und optische Kreisel.

### Mechanische Kreisel:

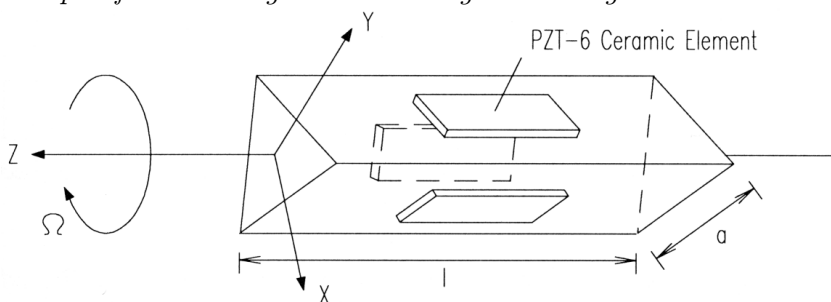


### Klassische Methode:

kardanisch gelagerter Kreisel, Kreisel bleibt raumfest, Integration der Kardanwinkel liefert Lage im Raum relativ zur Ausgangslage  
Einsatz in Inertialplattformen für Flugzeugnavigation

Eigenschaften: Drift, teuer, gross u. schwer, hoher Energieverbrauch

Beispiel für Messung einer Winkelgeschwindigkeit mit Coriolis-Effekt: Murata Gyrostar



### Prinzip:

Balken schwingt mit Eigenfrequenz  $f$  in  $x$ -Richtung, Drehung  $\Omega$  um  $z$ -Achse bewirkt Corioliskraft  $F_c$  welche wiederum zu einer Schwingung gleicher Frequenz in  $y$ -Richtung führt. Messung der Amplitude von  $\dot{y}$  läßt auf  $\Omega$  schließen

Balken aus spez. Nickel-Chrom-Stahl mit geringer Wärmeausdehnung, durch Piezokeramik zum Schwingen angeregt. Amplitudenmessung mit gleicher Keramik

Einsatz in Automobilen als Gierratensensor und in stabilisierten Videokameras

Eigenschaften: Drift, sehr klein (IC-Größe), billig, Temperaturkompensation nötig

## Optische Kreisel:

Beispiel Laufzeitmessung von Licht in Glasfaserispulen:

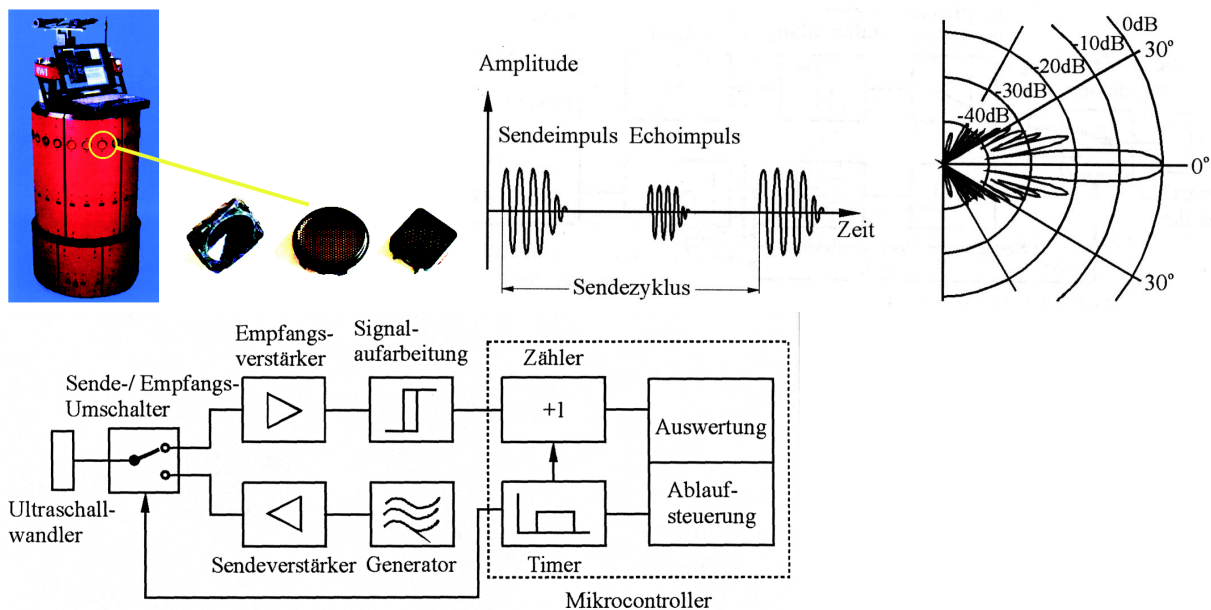
Prinzip:

In gedrehter Glasfaserispule haben zwei entgegengesetzt laufende Lichtwellen unterschiedliche Laufzeiten. Im raumfesten Koordinatensystem gleiche Geschwindigkeit, aber unterschiedliche Wege.

Aufbau: Glasfaserispule, Laser, Detektor, Polarisator, Splitter und Phasenmodulator

Rechenbeispiel: Eine Spule mit  $n=10$  Windungen und  $r=5$  cm wird um  $10^\circ/\text{s}$  ( $\omega = 2\pi \frac{10}{360} \text{ 1/s}$ ) gedreht. Es entsteht ein Gangunterschied von  $\Delta x = \frac{n2\pi r}{c} r\omega = 0,091 \text{ nm}$ . Bei Laserwellenlänge von 630 nm ergibt sich dann eine Phasenverschiebung von  $0,052^\circ$ .

## Ultraschall-Wegmessung



Prinzip: Laufzeitmessung eines Ultraschallimpulses (Burst)

Piezoelektrisches Element als Sender und Empfänger, Frequenzen von 20 - 200 kHz

Ablauf: Signal generieren, verstärken und versenden. Dann auf Empfang umschalten und Timer starten. Bei Empfang des Echos Timer stoppen.

Schallgeschwindigkeit in Luft abhängig von Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck. Zumindest Temperatur muss bei Messung berücksichtigt werden.

Feuerungstrategien:

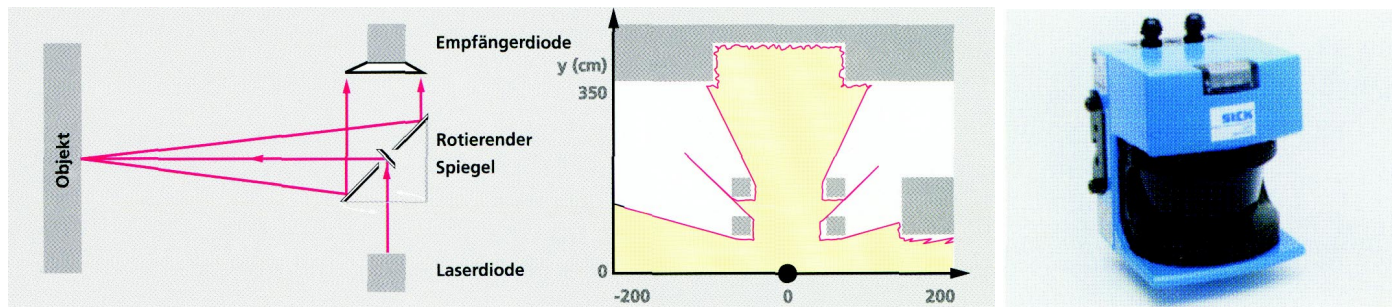
- die Sensoren werden nacheinander gefeuert, jeder Sensor empfängt nur sein Signal
- die Sensoren werden nacheinander gefeuert, jeder Sensor empfängt alle Signale
- alle Sensoren werden gleichzeitig mit kodierten Signalen (PRBS, Pseudo Random Bit Sequence) gefeuert, jeder Sensor empfängt alle Signale

Eigenschaften:

- + günstig
- + durch Schallkühle wird der Raum und nicht nur eine Ebene abgetastet
- Probleme durch Mehrfachechos zwischen Sensor und Messobjekt
- für schnelle Messungen aufwendige Feuerungsstrategie

# Positionsbestimmung mit Laserscannern

Laserscanner LMS-200, Fa. Sick



Gepulster Laserstrahl, von einem rotierendem Spiegel abgelenkt, überstreicht Ebene. Von Objekten reflektiertes Laserlicht gelangt über selben Spiegel an Empfänger. Abstandsbestimmung durch Laufzeitmessung.

Öffnungswinkel Laserstrahls  $2,5^\circ$

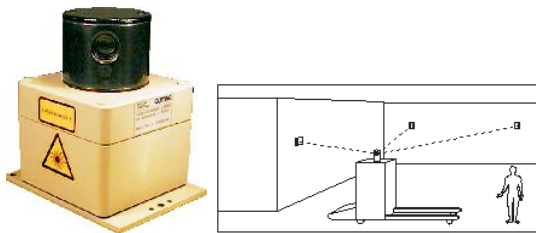
lückenlose Abtastung durch Schrittweite  $0,25^\circ$

nur im interlaced Modus möglich: 4 Scans mit  $1^\circ$  Schrittweite, jeweils um  $0,25^\circ$  verschoben  
Rotationsgeschwindigkeit Spiegels 4500 1/min, Messzeit also ca. 50 ms.

Messdatenübertragung an schneller serieller Schnittstelle (RS-422, 500 kbaud). Echtzeitauswertung möglich.

Reichweite abhängig von Remissionswert des Messobjekts, Werte um 20m typisch

Laserscanner HG 434-B, Fa. Götting



Messung der relativen Winkellage von Reflexmarken

Drei Marken reichen, um die eigene Position zu berechnen, wenn Lage der Marken bekannt.

Marke besteht aus zwei unterschiedlich breiten, speziell beschichteten Klebestreifen, Codierung durch Kombination unterschiedlicher Breiten

Kontinuierlich ausgesendeter Laserstrahl ermöglicht Erkennung der Signalfanke (z.B. Wand / Reflexmarke), gepulster Strahl kann nur mit Abtastweite auflösen. Entfernungsmessung nicht möglich.

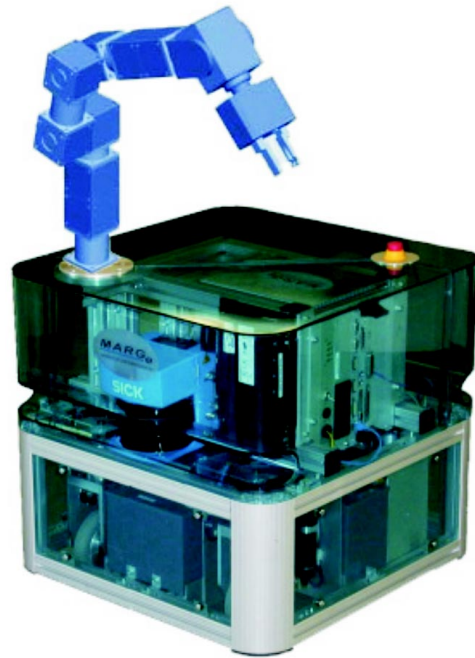
Erfassungsbereich:  $360^\circ$ , Winkelauflösung:  $0,0025^\circ$  6 Messungen pro Sekunde.

# Die mobile Plattform MARGe

Ein Projekt am MZH beschäftigt sich mit der Entwicklung des radgeführten, mobilen Roboters MARGe (Moving Autonomous RobotGenie).

## Aufgaben

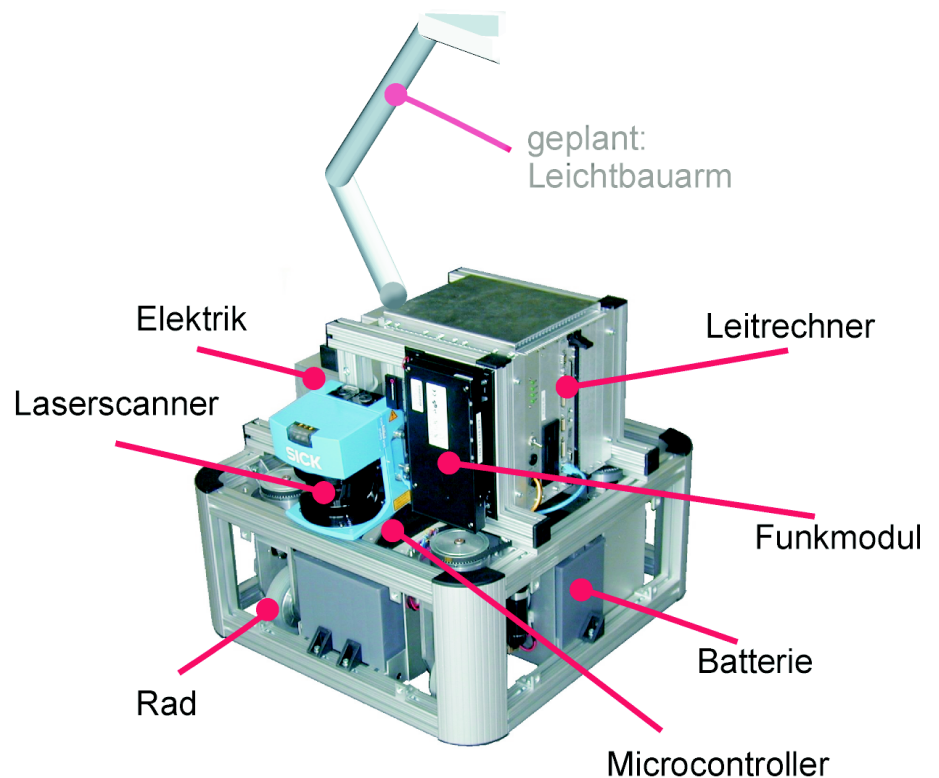
MARGe gehört zur Gattung der Serviceroboter. Diese werden im Gegensatz zu Industrierobotern im Dienstleistungssektor eingesetzt. Typische Einsatzbereiche sind beispielsweise Botendienste in Büros, Krankenhäusern oder Hotels und Reinigungsarbeiten auf Bahnsteigen und Supermärkten. Serviceroboter erledigen auch für den Mensch gefährliche Aufgaben, wie z. B. in Kernkraftwerken.



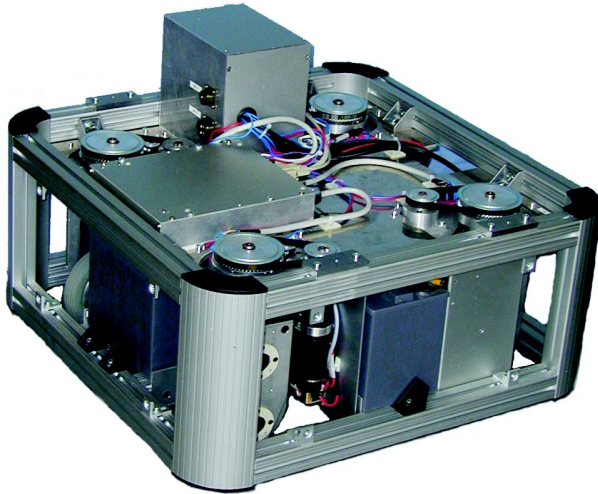
## Aufbau

Drei Hauptmodule:

- mobile Plattform
- Steuerungseinheit
- Roboterarm



## Mobile Plattform

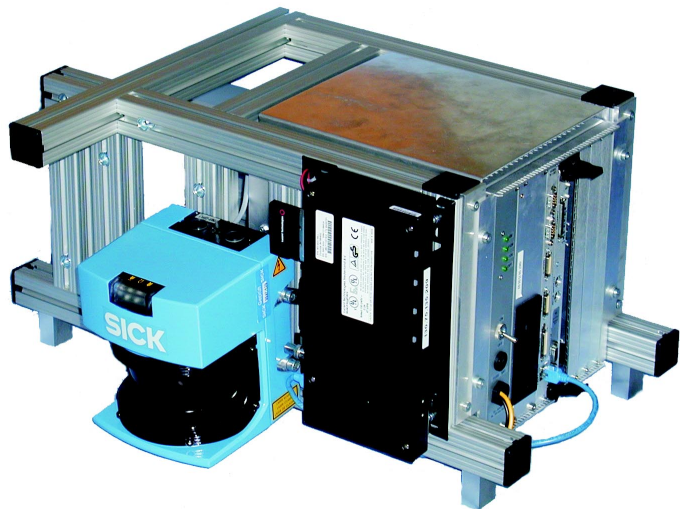


- vier Räder in Modulbauweise, jedes gelenkt und angetrieben
- Microcontroller MPC-555 übernimmt Koordinierung und Regelung der Räder, Bindeglied zum Leitreechner
- Energieversorgung durch Traktionsbatterien (spez. Blei-Gel-Akkus) zwischen den Radmodulen, 48 V und 24 V (je 25 Ah)
- Bumper sowie Sensoren für Batteriespannung und Stromverbrauch geplant

Ebene hat drei Freiheitsgrade  $\implies$  Plattform ist mit acht Antrieben überbestimmt, dadurch schwieriger zu regeln, aber auch kompaktere Motoren und Vorteile beim Kraftschluss zwischen Rad und Boden.

## Steuerungseinheit

- VME-Bus Rechner mit Leitreechner (Power-PC CPU) sowie Karten zur Antsteuerung von Positions- und Kraftsensor
- Funkmodul zur Anbindung ans Instituts-Ethernet
- zwei Sick Laserscanner
- Götting Laserscanner zur Detektion spez. künstlicher Landkarten (absolute Positionsbestimmung)



## Roboterarm

- Antriebs Elemente: Power-Cubes, Fa. Amtec
- Kraftsensor im Handgelenk
- Roboterhand von Fa. Otto Bock



# Steuerungskonzept

## Hardware

### Leitrechner

- über CAN-Bus verbunden mit
  - Microcontroller
  - Roboterarm
- über serielle Schnittstellen verbunden mit
  - Sick-Laserscanner
  - Roboterhand
- über den VME-Bus verbunden mit
  - Positionsmesssystem
  - Kraftsensor im Handgelenk
- über Ethernet verbunden mit dem Funkmodul

### Microcontroller kümmert sich um

- Antriebsansteuerung
- Energieüberwachung
- Bumperauswertung
- Not-Aus

## Software

### Leitrechner übernimmt

- Mensch-Maschine-Interface (MMI)
- Aufgabenplanung
- Navigation
- Bahnregelung und Kollisionsvermeidung

### Microcontroller übernimmt Radregelung und Nebenaufgaben

Betriebssystem auf Leitrechner und Microcontroller: Echtzeitbetriebssystem RTOS-UH vom Institut für Regelungstechnik