





Robotik: in Zukunft ubiquitär?

Alois Knoll

Universität Bielefeld

Technische Fakultät

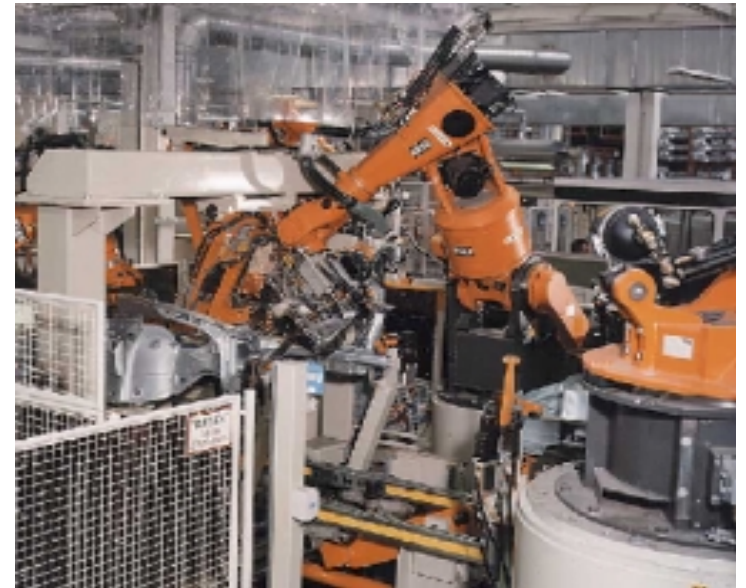
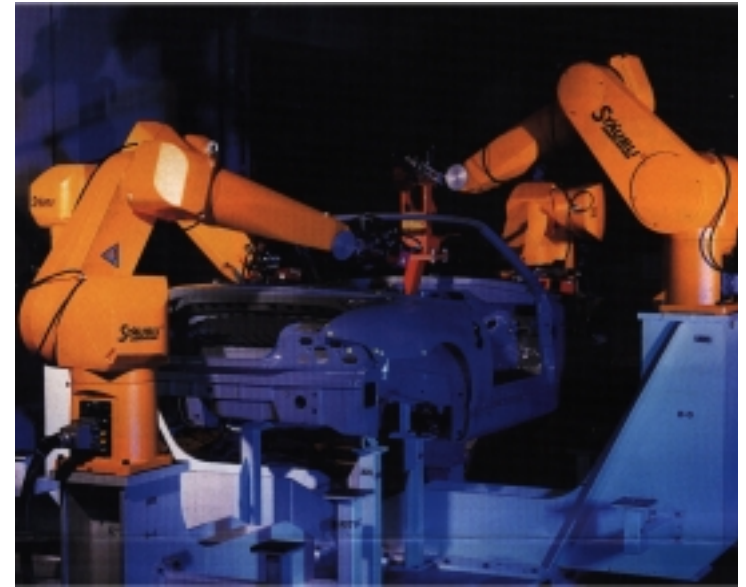
Übersicht und Stand - Wissenschaftliche Aspekte - Ausblick

Gegenwärtiger Stand

- Im praktischen Einsatz:
 - Industrierobotik: Stationäre Roboter, Fahrerlose Transportsysteme
 - Telerobotik: Raumfahrt, Kerntechnik, Unterwasserexploration
- An der Schwelle zu breiter Anwendung: (Teilbereiche der) Medizinrobotik und „biomedical robotics“, Servicerobotik (teil- oder vollautonome Systeme), ...
- Forschungsthemen: Mikroroboter, Assistenzroboter für unterschiedliche Einsatzfälle, Roboter als Fußballspieler, Schwarmrobotik, Roboter als Träger „künstlichen Lebens“, „Spielkumpane, Babysitter und Erziehungsroboter“ ...

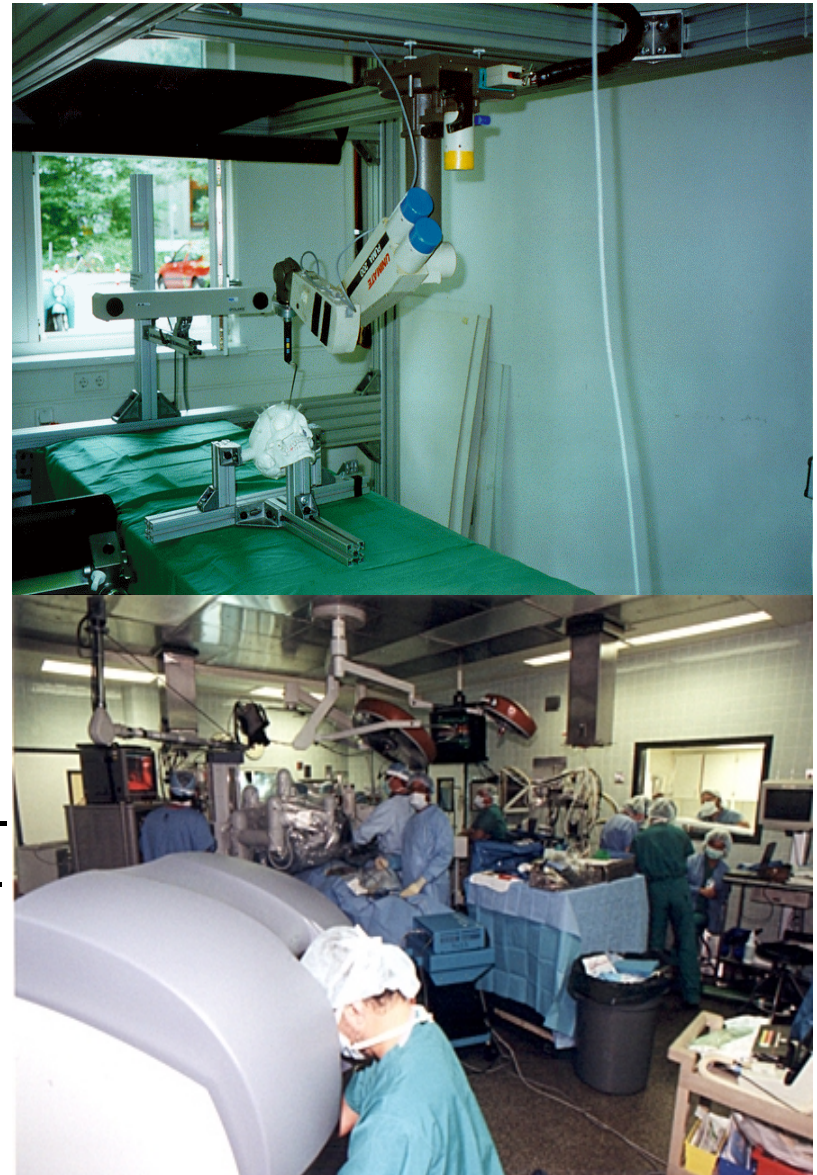
Industrierobotik

- Schweißen, Lackieren, Zuliefern, Bestücken, seit neuestem auch Messen
- Wesentlich verbesserte Mechanik (Hohe Wiederholgenauigkeiten, große Steifigkeit, hohe Beschleunigungen...)
- Erst seit kurzer Zeit Implementierung seit langem vorhandener Forschungsergebnisse (Dynamik, Kraftregelung, nicht-binäre Sensoren)
- Zukünftig auch verstärkter Einsatz verallgemeinert. Stewart-Plattformen bzw. vollparallele Mechanismen (Genauigkeit, Kraft, Dynamik)
- Nach wie vor mangelhafte Benutzerschnittstellen, kaum Sensorik, Spezialgreifer und Werkstückaufnahmen, geringe Flexibilität (Robustheit hat höchste Priorität)



Medizinrobotik/biomedical robotics

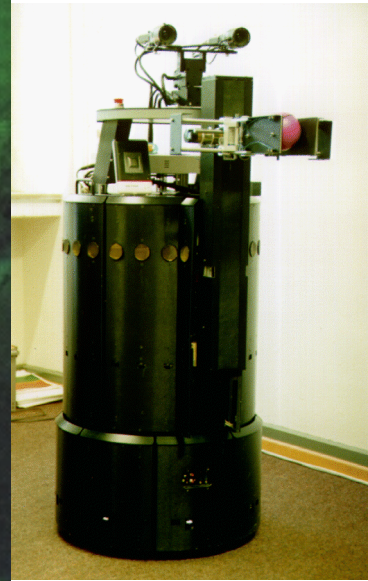
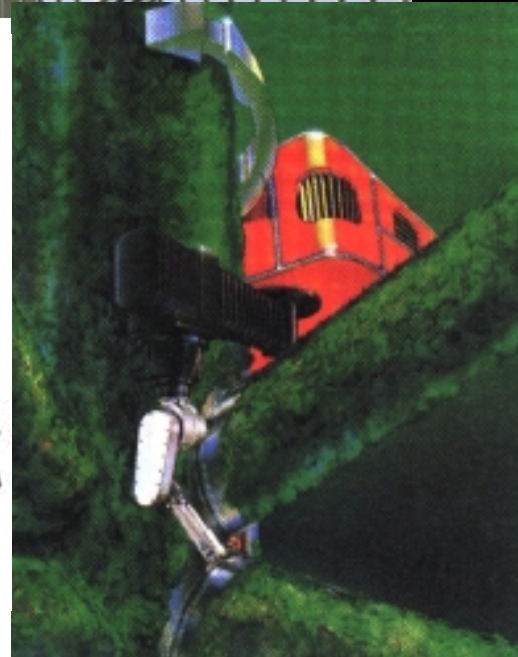
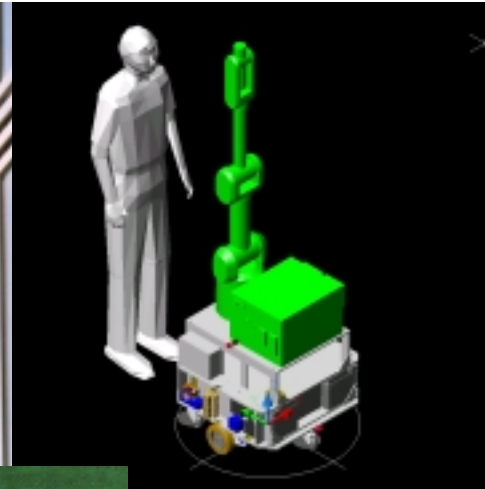
- (Fast routinemäßiger) Einsatz in der Chirurgie (Strahlentherapie, Anbringung von Prothesen, Gesicht und Kiefer), Planungssysteme, unterstützende Funktionen
- Zukünftig: Endoskopie (Führung durch Roboter, spezielle autonome Sichtroboter), Operationen an weiteren Organen (Auge, Prostata, Wirbelsäule), minimal invasive Chirurgie, Mikroroboter, ...
- Zum Teil extrem hohe Genauigkeitsanforderungen, Präzisionsnavigation, hochkontrollierte Umgebungen, Spezialroboter und Spezialzubehör, Nutzerschnittstellen aufwendig und wesentlicher Forschungsgegenstand



Servicerobotik

- Fortgeschrittenes Experimentalstadium bei Anwendungen mit (Semi-) Autonomie: einfache Krankenhausdienste, Fassadenreinigung, Betankung von Automobilen, Führung durch Gebäude, Automobilnavigation, militärische Anwendungen, Meeresroboter, Bauroboter, ...
- Teilweise hochentwickelte Navigationsfähigkeiten, enges Aufgabenspektrum, nur von Spezialisten zu bedienen

Beispiele für Serviceroboter



„Informationsversorgung“, Reinigung



NEC R100

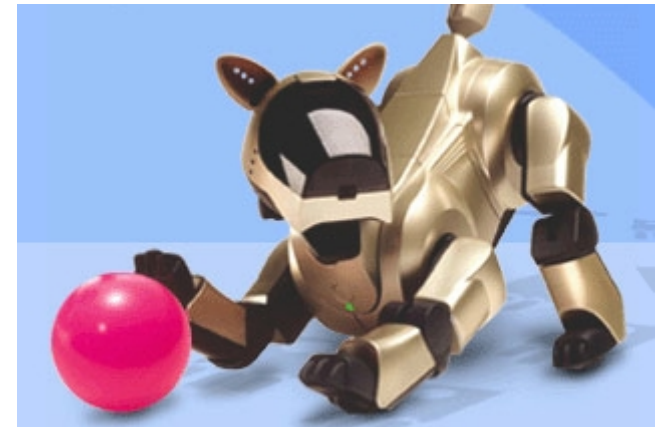


Electrolux robot cleaner

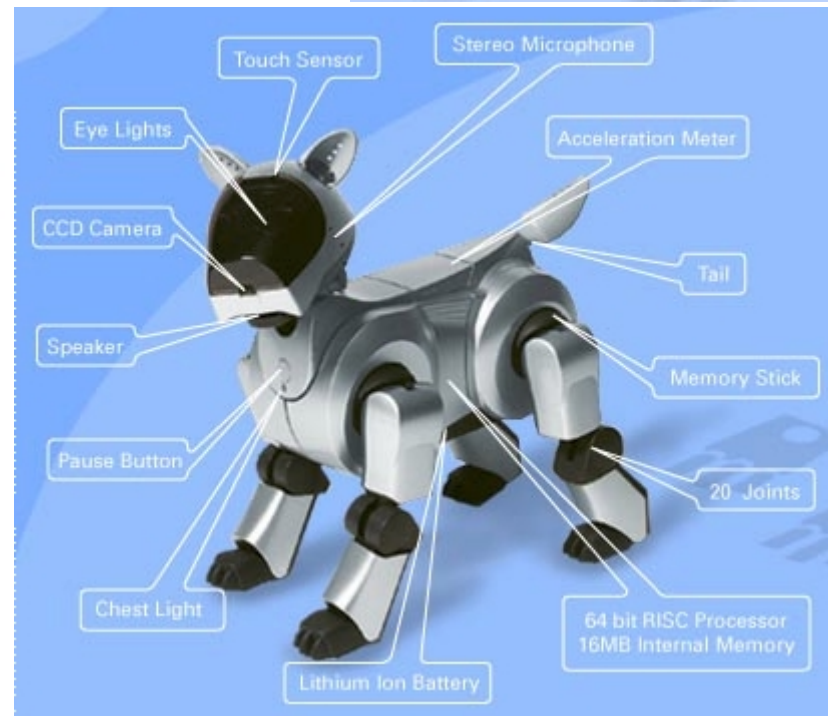
Spielzeug, Edutainment



Hasbro: „My real baby“



Sony: „Aibo“



Telepräsenz, Manipulation

iRobot Personal Robot



Voraussagen Anfang der neunziger Jahre:

- Im Jahr 2000 stellen Serviceroboter einen Multi-Milliarden Markt dar
- Tatsächlicher Stand 2000: Weniger als 1000 im Einsatz

Trotzdem: Massenmarkt über Heim- und Edutainment-Anwendungen

- Aibo: >50.000 Stück verkauft (à \$2.500)
- My Real Baby: „mehrere zehntausend“ (à \$50 (amazon))
- iRobot: erst seit einigen Wochen lieferbar (>\$3.500)

Plattform-Entwicklung fortgeschritten, aber neue Anwendungen im Alltagsleben erst realisierbar, wenn Systeme sich wesentlich enger an die Begriffs- und Wahrnehmungswelten des Menschen anpassen können:

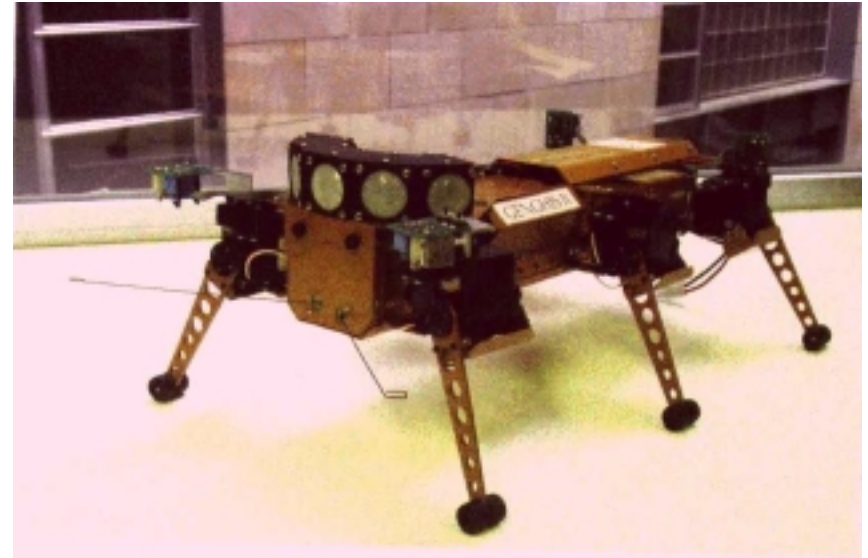
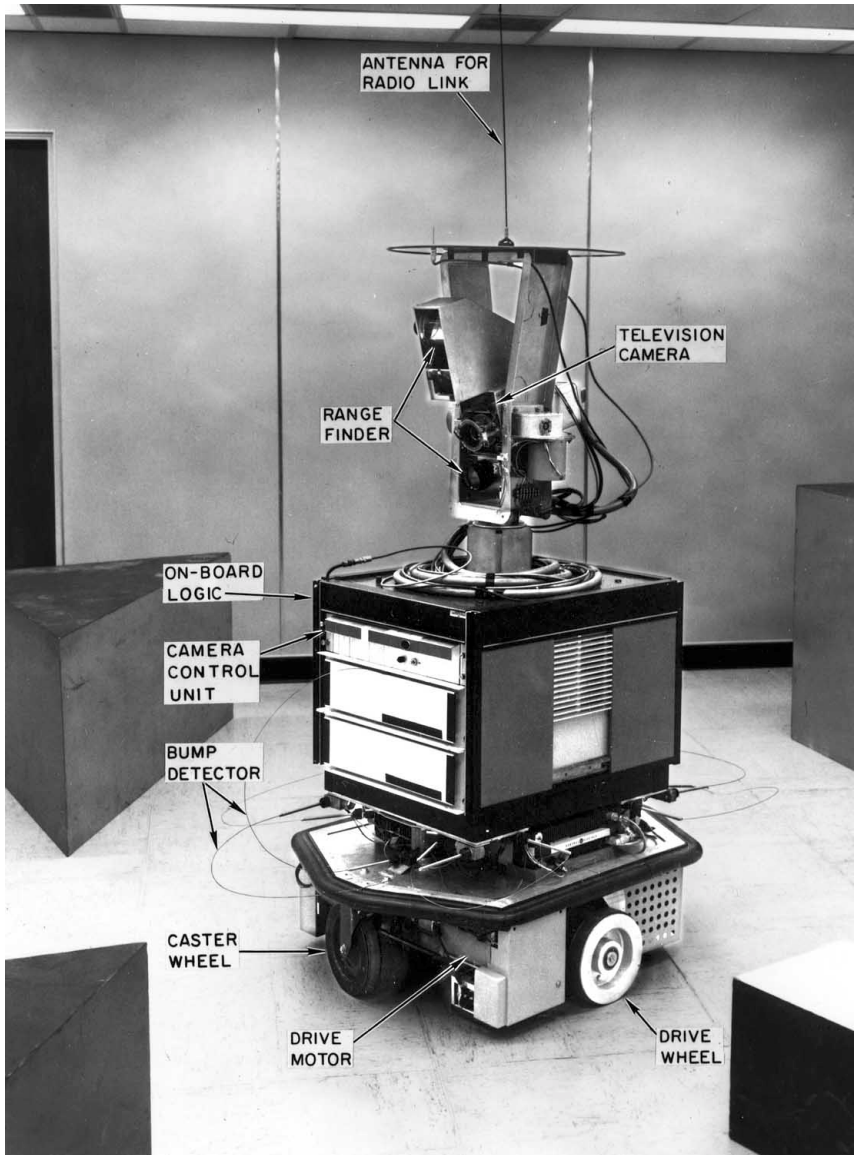
- Entgegennahme von Anweisungen eines Menschen
- Äußerung von Wünschen bzw. Formulierung erkannter Problemlagen in menschengerechter Form
- Fähigkeit zur Wahrnehmung in verschiedensten Umweltsituationen und Manipulation in ihnen

- Direkte multimodale **Kommunikation** mit dem Menschen
- **Anpassungsfähigkeit** an die Erledigung neuartiger Aufgabenstellungen
- Wahrnehmung der Umwelt für die Erreichung eines gewissen Grads an **Autonomie** auch in unbekanntem Umgebungen

Bislang verfolgte Ansätze: Symbolorientierte KI vs. behaviour-based „new AI“
In jüngster Zeit in Robotik aufgegriffen: „Handlungs- und rollenbezogene Kognitionstheorien (enactive cognition)“, die davon ausgehen, daß Kognition in der Handlung entsteht (Maturana, Varela):

- **Situationsbezogene** (Re-)Präsentationen sind nicht als (möglichst abstrakt zu formulierendes) Regelwerk zu verstehen, sondern als die zentrale Instanz „kreativer Kognition“.
- **Verkörperung** in der Welt (aus Objekten, Sprache, sozialer Entwicklung, ...) ist Voraussetzung für Wissen(saufbau).
- Lebewesen/plastische Artefakte sind **strukturell gekoppelt**:
 - mit der Umwelt (→ Anpassung der Systemstruktur durch fortgesetzte Interaktion mit dem Medium)
 - mit anderen Lebewesen/Artefakten (→ Interaktion bewirkt die Ausprägung einer „consensual domain“ und die zeitweise Kopplung der Zustandstrajektorien beider Systeme)

Ausgangspunkte: Shakey und Genghis



- a) Komponenten-/Plattformdesign
- b) Umsetzung kognitiver Fertigkeiten

Situierte kognitive Robotersysteme agieren abhängig von (transientem) Zustand der Umwelt, des Systems selbst und des Diskurses.

- **Interaktivität:** Abwicklung eines multimodalen Dialogs zwischen Mensch und Roboter – aufeinander bezogenes Handeln beider
- **Kognition:** Interne Repräsentation (Emulation) der Eigen- und Umweltdynamik und deren Kopplung an den sensorischen Input, (Teil-)Autonomie, Antizipation und Anpassung (des Systemverhaltens) an Umwelt- und Diskurssituation sowie Handlungsgeschichte, Aufbau eines eigenen Erkenntnisapparats, aktive Informationsbeschaffung
- **Verhalten und Fertigkeiten:** Reichhaltiger Schatz an Manipulationsfähigkeiten – vielfältig kombinierbar (ohne spezielle weitere Vorrichtungen) für Erledigung der verschiedensten Aufgaben (Greifen, Montieren, Demontieren, zielgerichtete Bewegung, Vermeidung von Hindernissen, ...).

Baufix-Holzspielzeug

(„für Kinder ab drei Jahren“):

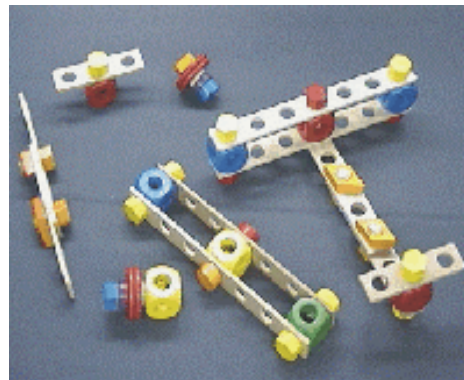
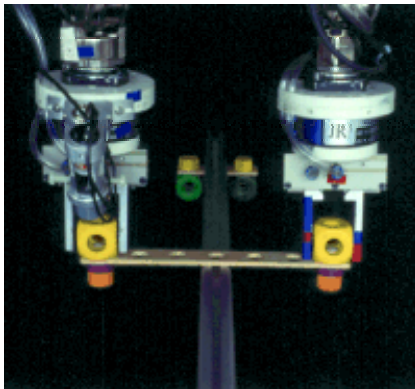
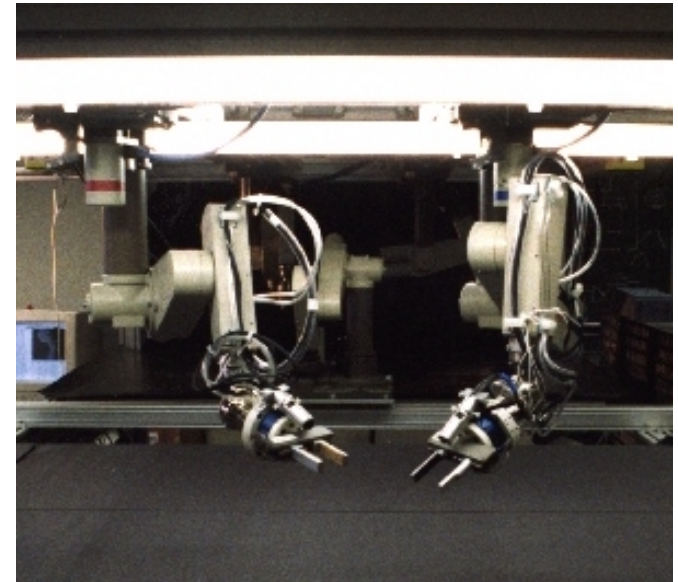
- Überschaubare Menge an Grundelementen, trotzdem sehr komplexe Situationen konstruierbar
- Führung eines Montagedialogs über der gemeinsam von Instrukteur und Konstrukteur (Robotersystem) wahrgenommenen Situation
- Abgeschlossene Menge von Grundoperationen zu Manipulation und Montage, nicht spezifisch für Baufix (von Standard-Robotern nicht durchführbar: Keine Maßhaltigkeit, Krümmung, Verkanten, ...)
- Konstrukteur muß wissen (oder inferieren können), wie Anweisungen des Instrukteurs (ohne Vorwissen) in einer bestimmten Situation zu interpretieren sind; Konstrukteur muß jederzeit rein sprachlich beeinflussbar sein



- **Adaptivität:** System stellt sich reversibel durch Variation interner Parameter oder Strukturen auf sich wandelnde Situationen ein (Lernen von Wissen über Objekte, Aneignung von Lösungswegen)
- **Robustheit:** System reagiert auf alle Situationen (einschließlich Fehlern) und alle Anforderungen im Dialog zweckgerichtet im Sinne eines gemeinsamen Ziels
- **Integration:** Kooperation und Konkurrenz sensorischer, kognitiver, motorischer Prozesse. Schnelle direkte Sensor-Aktor-Kopplungen auf signalnaher Ebene (kurze Zeitkonstanten) bis hin zu interaktiven Planungsmodulen (große Zeitkonstanten) oder Integration von Bild- und Sprachverstehen

Demonstrator

- Zwei direkt kooperierende Arme, Geschwindigkeit nach „menschlichem Taktmaß“
- Robuste Erkennung und Manipulation aller Teile in allen Lagen
- Montage ohne jede Spezialvorrichtung bzw. -aufnahme
- Für Kooperation erforderlich: Feinfühlige Kraftregelung, synchronisierte Trajektorienenerzeugung, Kollisionsvermeidung, ...



Beispieldialog I

Äußerungen	Alternativen	Kognitive Operation
Mensch: Bist Du bereit? Initialisierung		
Kommunikator: Ja, es kann losgehen. Bestätigung Initialisierung	a) Nein, heute nicht b) Einen Moment noch	
Heute wollen wir ein [Baufix-] Flugzeug [zusammen] zusammenbauen [, wir fangen mit dem Leitwerk an]! Problemspezifikation		Aktivierung Domänenwissen
Alles klar! Spezifikationsbestätigung	Darüber weiß ich nichts! Schon wieder!	Aktivierung Lernmodus
Ich prüfe mal, was wir da liegen haben. Handlungsvorbehalt	Ich brauche dazu aber noch eine Schraube [,...] mehr.	Objekterkennung Szene Aktualisieren Umweltmodell Ausgabe Problemformulierung
Wie würdest Du das rote [eckige] Objekt [am Rand] nennen? Verhandlung Objektbenennung		Lernen der Namenskonvention/Taufakt

Beispieldialog II

Äußerungen	Alternativen	Kognitive Operation
Das ist ein Würfel.<zeigt darauf>		Fokus auf Hand, Gestenerkennung
Gut, nennen wir {es, ihn} so!		
Nimm eine Schraube! Handlungsanweisung	Du brauchst [erstmal] eine Schraube!	Auffinden des referenzierten Objekts
Ich nehme mir mal eine. Handlungskommentierung	a) ...+mit der linken Hand b) Ich sehe keine	Sensomotorische Steuerung
Jetzt nimm die Leiste mit drei Löchern! Handlungsanweisung		Ableitung, daß zweiter Arm benötigt wird
Ich sehe mehrere [solcher] Leisten. Kommunikatorseitige Widerspruchsbenennung	... + Ich würde [am liebsten] die schräge nehmen.	Erkennung Mehrdeutigkeiten
Nimm diese hier! <zeigt darauf> Menschenseitige Widerspruchsauflösung	a) Nimm die, auf die ich zeige! b) Nimm die rechts von {mir, dir}!	
Ich habe sie. Handlungsbestätigung	Und nun die Schraube durch?	

Beispieldialog III

Äußerungen	Alternativen	Kognitive Operation
<p>Steck die Schraube auf die Leiste!</p> <p>(Fehlerhafte) Handlungsanweisung</p>	<p>a) Steck die Schraube {in, durch} die Leiste!</p> <p>b) Steck die Leiste auf die Schraube!</p> <p>c) Steck die Schraube durch das mittlere Loch!</p>	<p>Inferenzprozesse über die kontextbezogene Rolle der Objekte</p>
<p>Ich verstehe, daß die Leiste auf die Schraube soll. Korrekt?</p> <p>Kommunikatorseitiger Korrekturversuch</p>		
<p>Das will ich nicht!</p> <p>Intervention</p>	<p>(Keine Äußerung): Nach Zeitlimit Handlungsausführung</p>	
<p>Sondern?</p> <p>Satzfortführung</p>	<p>Was soll ich stattdessen machen?</p>	
<p>Ein Loch weiter [nach oben, nach unten, nach rechts]!</p> <p>Intervention ohne Handlungsverb/Objekt</p>		<p>Diskurs- und Ereignisgedächtnis</p>

Beispieldialog IV

Äußerungen	Alternativen	Kognitive Operation
Steckt. Handlungsbestätigung ohne Objekt	Ich weiß nicht, was Du mit rechts meinst. Kannst Du meinen Greifer bewegen, und die Schraube durchstecken?	
Nimm [jetzt] den blauen Würfel! Handlungsanweisung		
Ich sehe keinen blauen Würfel. Intervention	a) ... + Leg mir bitte einen ins Sichtfeld!	
Dann nimm eben den gelben [Würfel] [da]! (Gestische) Korrektur	b) ... + Leg mir bitte einen in den Greifer!	
Gut! Handlungsbestätigung		
Schraub die Leiste mit der Schraube auf den Würfel! (Fehlerhafte) Handlungsanweisung		

Äußerungen	Alternativen	Kognitive Operation
Das wird ja völlig schief! Antizipatorische Intervention		
Ja [, das sehe ich auch]. Bestätigung Umweltzustand	... + Soll ich sie ausrichten?	
Richte sie aus und dann lege sie ab! Anweisungssequenz		



Universität Bielefeld
Arbeitsgruppe Technische Informatik

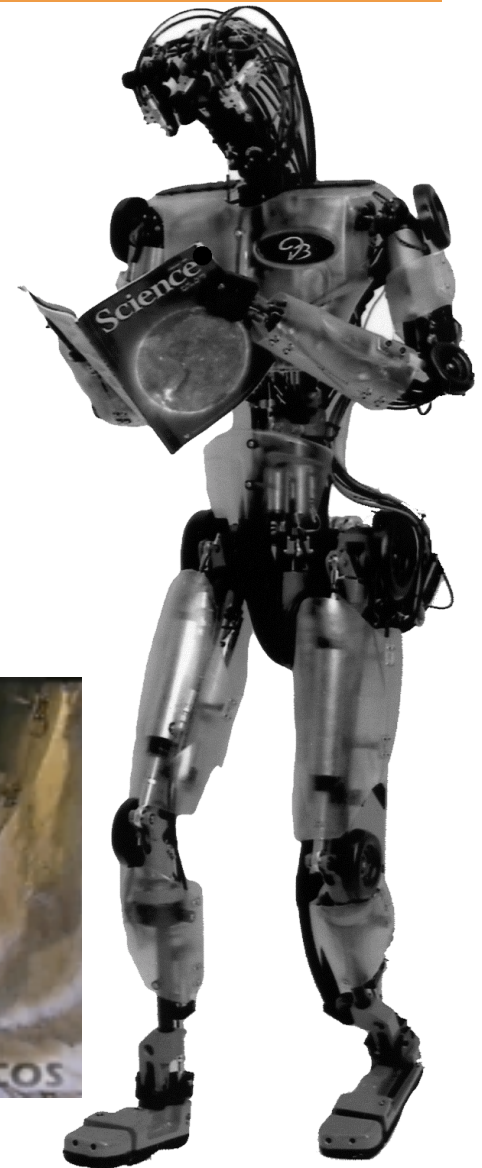
**Integration von Bild, Sprache und Handlung
am Beispiel eines Konstruktionsszenarios**

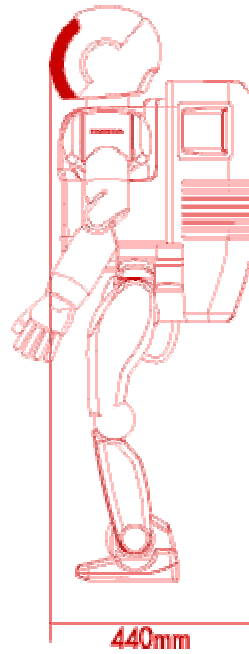
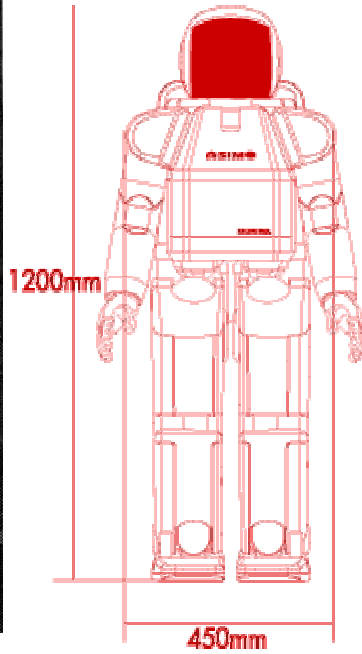
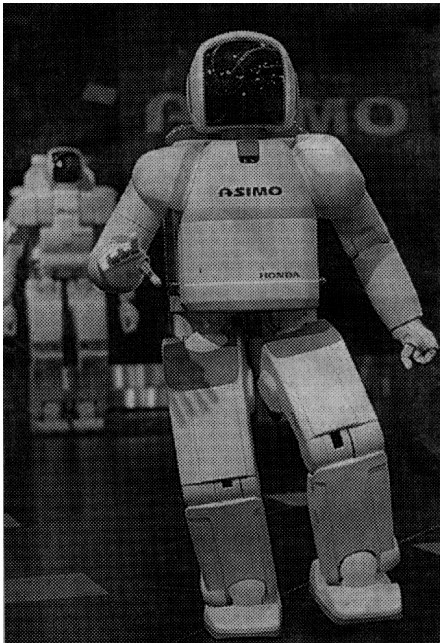
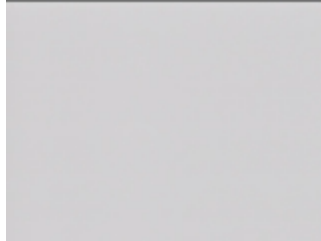
Mobile (distributed) robotic systems: EU TIDE “MOVAID” Project



- Möglichkeit zur multimodalen Interaktion mit der Umwelt
- Reichhaltiger sensorielle Input
- Soziale/kommunikative Interaktion mit dem Menschen
- Entwicklung kognitiver Fähigkeiten durch Imitation, parallelem Aufbau von Gestik und Sprache, etc.
- Anwendungen in menschlichen Umgebungen ohne Anpassung
- Verwendung von Werkzeugen, die für den Mensch gebaut wurden

Idealer Serviceroboter für durch Menschen begehbare Bereiche







- „Brains for Robots“
- Interaktion mit Mensch und Umwelt
- Körperlichkeit
- Systementwicklung

Zusammenfassung

“A possible (and very successful) scenario: robots “disappear” and robotics technology becomes ubiquitous, distributed and/or “embedded” into smart environments and thinking things. Just like computers are expected to do.” (Dario)

