

# Roboter in der Medizin – Mitschrift

Murmel (Murmel.vienna@gmx.at)

<b>Mitschrift</b>	<b>2</b>
Versuch einer Positionierung	2
Grundbegriffe, Definitionen	2
Antriebsarten	3
Sicherheitsvorschriften für Industrieroboter (EN 775)	4
Technische Problemstellungen	4
Kinematik-Konfigurationen	5
Rechnergestützte Planung und Durchführung von chirurgischen Eingriffen	6
Anwendung von Medizin-Robotersystemen allgemein	6
Einsatzgebiete von Medizin-Robotersystemen	7
Neuro-Chirurgie / Stereotaktischer Rahmen	7
Orthopädie	8
MIS minimal invasive Chirurgie, Tele-Chirurgie	8
AI Lab MIT	9
Interventionelle Radiologie	9
Roboter gestützte Radiochirurgie	10
Mikro-Chirurgie	10
<b>Folien</b>	<b>10</b>
Serviceroboter	10
Roboter in der Rehabilitation	11
Roboter in der Chirurgie	11
Mikroroboter	11
Roboter in der Medizin	12
Grundbegriffe und Definitionen	12
Komponenten des Robotersystems	13
Anwendungen von Robotern in der Medizin	13
Roboter in der Telechirurgie	14
Sicherheit von Medizin-Robotern	14
Anwendungen Serviceroboter in der Rehab	14
Medical Robots Entwicklungspotentiale	14

# Mitschrift

## ***Versuch einer Positionierung***

- OP-Technik „bisher“
  - Planungsteil untergeordnet
  - Aufwendiger OP-Teil => für den Patienten traumatisch
- Trend
  - Dominanter Planungsteil (CAS, Simulation...)
  - OP „nur mehr“ Umsetzung des Planes, zunächst noch überwiegend „manuell“ => zunehmend „automatisiert“
- Zukunft
  - Umsetzung vollständig durch Maschinen?

Bsp: Gallenblasenoperation

- früher: sehr aufwendig (zeitaufwendig), die Patienten mussten lange im Krankenhaus bleiben
- heute: laparoskopische OP

### Geschichte der Robotertechnik

- 3. Jhdt vor Christus „automatischer Altar“
- „Roboter“ = rastlos arbeitende künstliche Menschen (Karl Capele, RUR)
- Isaak Asimov: „Drei Gesetze der Robotik“ -> Roboter sind Helfer des Menschen
- 1956: Deval & Engelberger -> 1. Industrieroboter
- 1972 wurde der erste Roboter in Betrieb genommen

Roboter:

- Industrieroboter
- mobile Roboter

Der Markt ist endlich beschränkt, aber sehr gut: 150-155 Firmen weltweit, die sich mit Robotern oder Robotertechnik beschäftigen.

### Definition Industrieroboter

- universell einsetzbar
- frei programmierbar

## ***Grundbegriffe, Definitionen***

### Genauigkeiten

- Auflösung „diskreter“ Verteilung von Positionen im Arbeitsbereich
- Fehler im kinematischen Modell des Roboters
- Kalibrier- Ungenauigkeiten
- Stochastischer Fehler, Durchbiegung, Getriebeispiel etc...

### Positionsgenauigkeit

(= eine Zahl am Papier, die man nicht unbedingt glauben soll)

- „Wie genau erreicht der Roboter die gewünschte Position?“

- Beschreibt die Abweichung zwischen gewünschter und erreichter Position
- Besonders wichtig bei Off-line-Programmierung

### Wiederholgenauigkeit

- Abweichung zwischen wiederholt eingefahrenen Positionen
- Resultat stochastischer Fehler -> keine kontinuierliche Verteilung des Arbeitsraumes  
=> nur diskrete Verteilung (Raster) der Punkte möglich!  
=> in der klassischen industriellen Programmierung sind die „Raster-Punkte“ kein Problem, im medizinischen Bereich aber sehr wohl (SW, die den Roboter möglichst genau steuert) => Genauigkeit => Zusammenspiel zwischen Mathematik & Technik  
=> grundsätzlich ist jeder Roboter anders, da man bei der Fertigung immer „nur“ innerhalb gegebener Toleranzen liegen muss -> Kalibrieren

### Koordinatensysteme

- dienen zur Beschreibung der anzufahrenden Punkte
- Koordinatensystem = Position Ursprung + Orientierung der Achsen => mathematische Verbindung zwischen den Koordinatensystemen sehr kompliziert (auch Ungenauigkeiten => Rundungsfehler beim Invertieren der Matrix)

### Instrument tracking

Die Steuerung eines Instruments erfolgt durch die Kopplung an dieses Instrument

### CCD Chip

Charged Coupled Device Chip, = Roboterhirn

Nennlast = Nutzlast + Werkzeuglast

Sensor Fusion = Verwendung sich ergänzender Sensorsysteme

AGV = fahrerlose Transportsysteme

MMI = Mensch Maschine Interface

## **Antriebsarten**

### Elektrische Antriebe

- VT: + elektrische Energie ist (fast) überall verfügbar  
+ Reaktion auf Ansteuerung fast ohne Verzögerung  
+ einfache Konzeption  
+ geräuscharm  
+ betriebssicher
- NT: - relativ kleine Momente und Kräfte übertragbar  
- aufwendiger & teurer Explosionsschutz  
- meist Verwendung von Getrieben notwendig  
- höhere Instandhaltungskosten

### Pneumatische Antriebe

- VT: + günstiges Leistungsgewicht  
+ Wartungsfreundlichkeit  
+ Explosionssicherheit  
+ einfacher Aufbau

- NT:
- Beschränkung bezüglich Aufbringung großer Kräfte
  - Geräuschentwicklung
  - Bremsverschleiß
  - Kompressibilität der Luft!
  - Luft als Energieträger ist teuer

#### Hydraulische Antriebe

- VT:
- + hohe Kräfte
  - + stufenlose Geschwindigkeitsregelung
  - + Wegfall von Bremseinrichtungen
  - + Inkompressibilität des Mediums
  - + geringe Instandhaltungskosten
- NT:
- zusätzliche Hydraulikaggregation
  - große Lärmentwicklung
  - thermische Einflüsse auf die Positionsgenauigkeit

### ***Sicherheitsvorschriften für Industrieroboter (EN 775)***

#### Ursachen der Gefährdung

- Ausfall oder Fehler
- bewegliche mechanische Teile, die zum Fangen oder Quetschen führen
- gespeicherte Energie
- Energiequelle
- menschliches Versagen (Gleichzeitig auch Mindestanforderungen für die Medizinroboter!)

#### Sicherheitsmaßnahmen:

##### Sicherheitsfunktionen:

- Eingeschränkter Bewegungsbereich
- Not – Aus und sicheres Anhalten
- reduzierte Geschwindigkeit
- Verriegelung trennender Schutzeinrichtungen bei Ausfall eines Bauteiles nicht beeinträchtigt („FAIL-SAVE“)
- Begrenzung des Bewegungsraumes (mechanische Anschläge und/oder gleichwertige Maßnahmen)

### ***Technische Problemstellungen***

- Sensorik, Steuerung
- mechanisches Design: Viele Teile sind bis jetzt noch nicht gelöst (Positionsgenauigkeit nicht „exakt“, „shared control“; Koordination zwischen Arzt & Roboter; Kompatibilität; „Der Mensch ist nicht eingespannt, sondern liegt frei am Bett und bewegt sich.“

#### Industrieroboter für medizinische Aufgaben?

- SW ist nicht das Wichtigste!
- => Spezialroboter für medizinische Aufgaben
- wichtigstes Auslegungskriterium: SICHERHEIT
- Geschwindigkeit, Reichweite
- speziell gewählte Kinematik („mechanical constraints“, Zwangsführungen)

### Roboter in der Medizin: Vor- und Nachteile

- VT: + höhere Genauigkeit (v.a. exakte Position im 3D-Raum)  
+ minimal invasive Eingriffe (Laparoskopie)  
+ Sicherheit (Zwangsführungen)  
+ konsistente Qualität  
+ keine Ermüdung bei repetitiven Tätigkeiten  
+ kleine Begegnungen mit kleinen aufgebrachten Kräften (skalieren)  
+ komplexe Bewegungen mit hoher Genauigkeit  
+ Möglichkeiten zur lückenlosen Dokumentation  
+ „Indexing“ = Fixierung des Roboters in jeweiliger Position, dabei kann sich z.B. der Arzt erholen  
+ grundsätzlich sterilisierbar, resistent gegen Keime, Strahlung
- NT: - keine Entscheidungskompetenz  
- limitierte Flexibilität  
- limitierte Hand-Augen-Koordination  
- Kosten!  
- Komplexität stark zunehmend  
- Sicherheit  
- Wer ist verantwortlich? (Arzt oder Roboter?)  
- Intra-operative Bewegung der Organe / des Gewebes

### Arten der Interaktion

- Autonome Roboterbewegung
  - z.B. bei Einsetzen der Hüftprothesen, Strahlentherapie
- interaktiv / Roboter-„assistenz“
  - Roboter & Chirurg „teilen“ Arbeit („shared control“)
  - „Hands-on-systems“, „active-constraints“ Methode
  - z.B. Fräs- und Schneidevorgänge in der Orthopädie
- explizite Kontrolle durch Arzt („Master-Slave“)
  - Unterstützung bei minimal invasiven Eingriffen
  - „Tele-Operation“, „Tele-Presence“ => funktioniert derzeit am Besten! (auch im AKH)

## ***Kinematik-Konfigurationen***

### Cartesian Robot

Gibt es überall, einfaches mathematisches Modell, mechanisch sehr einfach realisierbar

### Cylindrical Robot

- 1 Drehachse + 2 Linearachsen
- => 1 Radius + 1 Winkel + Höhe = Punktbeschreibung bei Zylinderkoordinaten  
=> 2 Winkel + 1 Radius = Punktbeschreibung bei Kugel

### Spherical Robot

Sehr wenige, Anwendungsmöglichkeit in der Medizin gibt es keine, für Labor geeignet

- entweder reine translatorische oder reine rotatorische Gelenke
- $2^3$  Möglichkeiten der Positionierung bei DDD (D...Drehen)
- je mehr Drehachsen, desto komplizierter (und unangenehmer zu programmieren)

### SCARA Robot

(=assembly Robot) = Horizontaler Knickarm-Roboter

- nicht gut für medizinische Anwendungen geeignet

- kann sehr schnell fahren

### Articulated Robot

#### Vertikal-Knickarm-Roboter

- bildet fast den menschlichen Arm nach
- wird am Häufigsten eingesetzt
- hat einen großen Arbeitsbereich
- auch für medizinische Anwendungen geeignet

### Parallel Robot

#### „Flugsimulatoren“

- hat 6 Freiheitsgrade
- medizinisch höchst interessant

### Serielle vs. Parallele Roboterkinematik

#### Serielle Kinematik

- Singularität: große Bewegungen, große Beschleunigungen, ist in der Medizin nicht günstig

#### Parallele Kinematik

- Positionsfehler ist gemittelt über die Freiheitsgrade, deshalb nicht so groß
- kleiner, kompakter
- kleinerer Arbeitsbereich => Vorteil für medizinische Anwendungen

## ***Rechnergestützte Planung und Durchführung von chirurgischen Eingriffen***

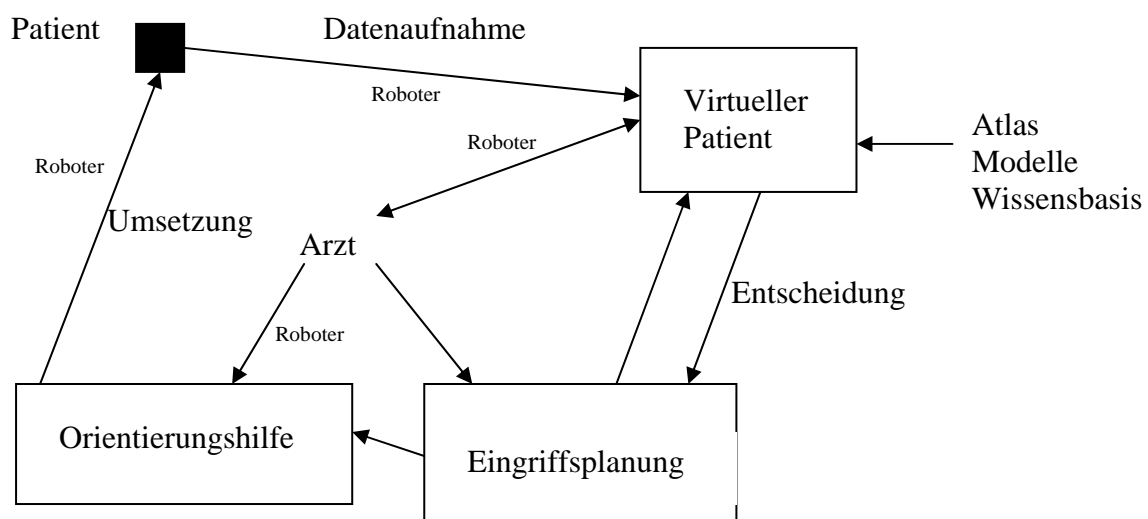
- „chirurgisches CAD/CAM“

- Transformation präoperativer Daten in Modelle, Unterstützung bei der Erstellung eines optimalen Eingriffsplans, Registrierung
- => Schwerpunkt auf prä-operativer Planung und intraoperativer Umsetzung

- chirurgische Assistenten

CIS = Computer integrated surgical Systems CIS

## ***Anwendung von Medizin-Robotersystemen allgemein***



## ***Einsatzgebiete von Medizin-Robotersystemen***

### Neurochirurgie

- stereotaktische OP -> rahmenlose Stereotaxis

### Orthopädie

- THR, TKR Einsetzen von Schrauben

### Allgemeine Chirurgie / Thoraxchirurgie (MIS)

- Kameraführung
- aktive Instrumente
- perkutane Interventionen

## ***Neuro-Chirurgie / Stereotaktischer Rahmen***

### Neurochirurgie

- MIS bei der Neurochirurgie schwieriger
- Fixieren des Rahmens

### Neuromate: Integrated surgical systems inc.

- stereotaktische Chirurgie
- rahmenlose, neurochirurgische Eingriffe

### MINERVA

Roboter ist im Tomograph eingebaut

### System OP 2015 Stuttgart

- Hexapod (6 DOF) als Endoskop & Navigationsroboter => Evolution 1

### Evolution 1

7 Freiheitsgrade + 3 von dem Positionierungstool

- Neurochirurgie
- Wirbelsäulenchirurgie
- Orthopädie
- HNO

### MKM (Mehrkoordinatenmultiplikator)

- Manipulator als Mikroskopträger
- Erweiterung: Fest montiertes Endoskop als Zielinstrument

### PathFinder

Präziser „Localizer“ für die neurochirurgie-Positionierung von chirurgischen Instrumenten entlang einer direkten Trajektorie

### BencaFlex

Gibt es noch nicht (Design), modular, integriert

### LurgiScope

Parallelroboter mit 7 DOF

### LurgiScope 2000

Verschiedene Tools (Bohrer, Fräser, Säge)

### Viewing Wand

Passiver 6 DOF Manipulator

Messung der Winkelpositionen durch Encoder => Bezeichnung von Position und Orientierung

### Surgical Robotics Lab SRL

März 2001: Robodenkt (Dental Implantate)

=> experimental OP

-> reines Navigationssystem

## **Orthopädie**

### CASPAR

- Computerunterstützte Endoprothetik des Hüftgelenks
- Idee = zementfreies Implantieren, Zement ist sehr giftig, man muss aufpassen, dass er nicht in den Blutkreislauf kommt, die Knochenzellen werden damit getötet
- dreidimensionale Planungsstation
- Robotersystem

### ROBODOC

Sicherheitspakete:

- Erkennung der Femur-Position während CT-Scan
- laufende Fehlerprüfung
- Bone motion monitor
- automatische Diagnosefunktion bei Systemstart

### CRIGOS

- 6 DOF
- Spezialroboter für orthopädische Eingriffe
- Steuerung durch Joystick, Sprachkontrolle

### ACROBOT

- höhere Genauigkeit durch Robotereinsatz -> genaue Geometrie, höhere Lebensdauer der Prothese
- semi-aktiver Roboter für Operation am Knie
- Unterstützung bei (manuell geführten) Schneidevorgängen -> verhindert Fehlbewegungen

## **MIS minimal invasive Chirurgie, Tele-Chirurgie**

Probleme MIS/Endoskopie

VT für Patienten, aber erhöhte Schwierigkeit für Chirurgen

- offene Chirurgie: maximale Beweglichkeit / Einsicht OP-Feld unbeschränkt / visuelles + taktiler Feedback
- Endoskopie:
  - Begrenzte Freiheitsgrade / unnatürliche Hand-Augen-Koordination (gespiegelte Bewegung), keine Tiefeninformation, Kamera in dem Roboter durch Assistenten geführt -> Blickfeld nicht unter Kontrolle des Chirurgen / kein taktiler Feedback
  - Arbeit mit langen Instrumenten



Endo assist (= die 3. Hand des Chirurgen)

4 DOF Roboter + Hilfgelenke

- Steuerung durch Kopfbewegung des Chirurgen (+ gleichzeitigem Drücken eines Fußpedals)
- weniger Kamerawechsel, keine Missverständnisse Chirurg-Assistent

Da Vinci

Der am weitesten entwickelte Roboter -> heute)

- minimal – invasive Bypass-Operation
  - zusätzliche Freiheitsgrade an med. Instrumenten („Endowrist“)
  - Eingabe über Joystick-Bewegungsbefehle werden „gespiegelt“
  - „Motion Lealling“-Funktionen, Filterfunktionen
  - Force-Feedback Aufnahme der Kraft, die das Tool auf das Gewebe entwickelt hat und Übergabe an den Master.
  - > 300 Eingriffe erfolgreich absolviert
- => Herzzentrum Leipzig => sind auf die Bypass-OPs mit daVinci spezialisiert, AKH hat's auch!

HUMAN

- 3 Werkzeug/Kameraführungen innerhalb Schaft mit 10 mm Durchmesser
- Zusätzliche Gelenke auf einzelnen Werkzeugen

## **AI Lab MIT**

PHANTOM

- Eingabegerät mit „high fidelity“ Feedback
  - 3 DOF Mechanismus-Antrieb über DC Motor
  - Positionsmessung über Encoder + „Fingerhut“ – montiert auf (passivem) 3 DOF Gelenk
- => Fingerspitze als Punkt modellierbar

## **Interventionelle Radiologie**

- CIS-System zur zielgenauen Positionierung von dünnen, flexiblen Instrumenten (Nadeln, Bohrer, Laserpointer) im Körperinneren unter Kontrolle durch intra-operative Bildgebung (CT, MRI, Röntgen, US)
- Brachytherapie, Biopsie an weichem Gewebe (Leber, Lunge, Niere) und an Knochen (Hüftknochen), Produktion von Abszessen
- Roboterunterstützung: Genauigkeit erhöht, Dauer der Therapie reduziert, Konsistenz der Therapie, Verbindung mit real-time Bildgebung

=> Anwendungen der interventionellen Radiologie

- Brachytherapie (Prostata, Brust // US, MR)
- Gentherapie (Prostata // US, MR)
- Biopsie an weichem Gewebe (Gehirn, Nieren // CT, MR)
- Biopsie an der Prostata (Prostata // US, MR)
- Biopsie an Knochen (Hüftknochen // CT, Fluoroskopie)
- Laparoskopie (Abdomen, Nieren // CT, Fluoroskopie)
- Einsetzen von Wirbelschrauben (Wirbelsäule // CT, Fluoroskopie)
- ablative Techniken (Leber, Prostata // US, MR)
- Radiochirurgie (Gehirn, Leber, Wirbelsäule // US, MR)

### Kritische Faktoren

- Registration (Koordinatentransformation BV  $\Leftrightarrow$  Roboterbasis  $\Leftrightarrow$  Instrument)
- schnelles zuverlässiges Backtracking
- Roboter kompatibel zur Bildgebung (CT, MR, Röntgen) und sterilisierbar

### ARCS

- 7 DOF Robotersystem
- programmierbares Remote-Center
- Verwendung mit CT und US (Daten&Videoschnittstelle)

Fluoroskopie-gestützte Intervention

### **Roboter-gestützte Radiochirurgie**

- statt Fixierung des Patienten -> Vision System zur Aufnahme der Patientenbewegungen
- Strahlungsquelle wird von 6 DOF Roboter bewegt
- Überwachung der Roboterposition durch US-System
- Cyberknife-Accuracy

### **Mikro-Chirurgie**

- Eingriffe an der Netzhaut
- HNO (Hals, Nase, Ohren)
- Anastomase (Gefäßchirurgie)
- Neurochirurgie
- Herzchirurgie
- Orthopädie

## **Folien**

### **Serviceroboter**

Roboter überwiegend im Dienstleistungsbereich. Im medizinischen Bereich muss ein Roboter im steten Kontakt mit Personen stehen.

#### Serviceroboter

- VT:    + Reduzierung der Dienstleistungskosten  
         + Dienstleistung kann industriell orientierte Rationalisierungsmaßnahmen nutzen  
         + Größere Zuverlässigkeit bei der Erbringung der Dienstleistung  
         + Entlastung des Dienstleisters von Routineaufgaben  
         + Wahrung der Diskretion  
         + Steigerung der Verfügbarkeit der Dienstleistung
- NT:    - Kunde (Patient) verliert das Gefühl der persönlichen Betreuung  
         - Dienstleistung reduziert sich auf sachliche Zweckerfüllung; Befriedigung sozialer und psychologischer Bedürfnisse entfällt  
         - Wegfall der Individualität und Einmaligkeit der Dienstleistung  
         - Notwendige Lernprozesse und Akzeptanz im Umgang mit Automaten

## ***Roboter in der Rehabilitation***

- Fahrhilfe und intelligente Rollstühle
- Handhabungshilfe + rollstuhlbasierte Manipulation
- Unterstützung Pflegepersonal
- Servicezentren Rehabilitation; Rollstuhlssystem; Fähigkeit zur Steuerung (selbstnavigierende Rollstühle); Entlastung des Pflegepersonals
- Grenzen der Sensorik + geringe Akzeptanz bei Patienten

## ***Roboter in der Chirurgie***

z.B.: robotergesteuerte Laserskalpelle / Endoskope

- VT:
- + wesentlich höhere (und konstante) Genauigkeit
  - + Verkürzung Operationsdauer ( Regenerationsphase
  - + Verminderung postoperativer Schmerzen
  - + Verbesserung des Heilprozesses

### Behandlung:

- Absaugen von Hämatomen
- Entfernen kleinerer Tumore
- Implantationen von Strahlenquellen zur Zerstörung größerer Tumore
- Biopsie
- Elektrotherapie bestimmter Gehirnbereiche
- Thermische Behandlung im Bereich des Thalamus bei starkem Zittern zufolge der Parkinson'schen Krankheit

Operation von Hirntumoren: Chirurg mit Hilfslaserstahl zu Tumor geführt, 3D Computersystembild + akt. Status OP

### Lokalisierende Kinematiken

- Passive Kinematiken zur Lokalisierung:

Körperteile wie Kopf, Kniegelenk fest positioniert. Operationswerkzeug oder Hilfsvorrichtung in einer konstanten Relativstellung zum fixierten Körperteil.

- positionierbare Kinematiken:

Dienen als Instrumententräger, welche außerhalb des Patienten fernbedient oder automatisch positioniert werden.

- automatisch positionierbare Kinematiken:

Unmittelbare Verbindung von Diagnose und Therapie, Positionsfindung + Korrelation, Operationsfindung + Training

## ***Mikroroboter***

Besteht aus:

- Hardware: „Gehirn“ Mikrochips
- Charged coupled Device – Chips Kamera
- Sensoren für die Orientierung und Bewegung
- Antriebsmotor
- Chassis (Gehäuse)
- Verschiedene Leitungen und Schläuche

Fortbewegung:

- Piezoelectric-inch-worm
- „pneumatischer Balken“
- Luftkissenantrieb
- steuerbarer Schwimmer in einem Magnetfeld

## **Roboter in der Medizin**

Allgemein:

- Verwendung spezieller und auf die Anwendung „maßgeschneidertes“ Robotersystem statt Robotern von der Stange.
- Roboter ist Werkzeug für Chirurgen und kein Ersatz
- Visualisierung ohne Berücksichtigung des Tastsinnes ist „blind“
- Simulation spielt eine zentrale Rolle bei der Verwendung medizinischer Robotersysteme
- Ein neuer Entwicklungsschwerpunkt sollte die Entwicklung verbesserter, anwenderorientierter Mensch-Maschine-Schnittstellen sein

IARP „International Advanced Robotics Programme“

Ziel: zur Förderung der Entwicklung fortgeschrittener Robotersysteme

Beschäftigungsbereiche:

- Steuerungstechnik
- Sensorik
- Antriebstechnik
- Mensch-Maschine-Schnittstelle
- Sicherheitstechnik

Diffusionshemmnisse:

- hohe Systemanschaffungskosten
- lange Entscheidungswege Kranken- und Pflegeeinrichtungen
- weitestgehend Abhängigkeit Hersteller von staatlicher Förderung

Entwicklungsparameter:

- Dienstleistungsmarketing
- Organisation der Dienstleistungserbringung
- öffentliche Akzeptanz
- Umgebungsgestaltung
- Ergonomie
- Mensch-Maschine Interaktion

## **Grundbegriffe und Definitionen**

- Roboterglieder, Robotergelenke

bilden die eigentliche medizinische Struktur eines Roboters

- Freiheitsgrad (DOF)

Jedes Gelenk liefert Freiheitsgrade

Dreh- oder Linearfreiheitsgrade mit je 1 DOF

für beliebige Position und Orientierung im Raum => 6 DOF

- Orientierungsachsen

Beschreibung der Orientierung des End-Effektors (Roll, Pitch, Yaw); 6 Gelenke => 5 Freiheitsgrade. Grundsätzlich orientiert man sich nach dem menschlichen Arm.

- Tool Centre Point (TCP)

TCP liegt entweder am Roboter oder am End-Effekt

Beschreibung in kartesischem, zylindrischen Koordinatensystem

- Arbeitsbereich

Kinematische Struktur + Arbeitsbereiche der Gelenke ergeben fixen Arbeitsbereich

- Nennlast = Nutzlast + Werkzeuglast

Last, die der Roboter ohne Einschränkung der für die Achse eingegebenen Geschwindigkeiten, Arbeitsbereiche und Genauigkeiten handhaben kann

- Wiederholgenauigkeit

Mechanisch, rechnerische Faktoren -> Abweichung bei wiederholt angefahrenen Punkten

## ***Komponenten des Robotersystems***

- Mechanischer Arm

Roboterlieder, Gelenke, Basis; genügend strukturelle Stabilität zur Aufnahme der Nennlast

- Antriebssystem

Motor, Kolbenantrieb, Getriebe, Bremseinrichtung

- Steuerungssystem

Interface zum Operation; Ansteuerung der Roboterachse

- End-Effektor, End-of-Arm Tooling (EOAT)

Spezielles Werkzeug, angepasst an Anwendung; Greifer, Schrauben

- Programmiereinrichtung (SW-Test)

Teach Panel, Bewegung der Achsen, Speicherung der Punkte, Programmerstellung, Not-Aus...

## ***Anwendungen von Robotern in der Medizin***

- Laborroboter

Labortest (z.B.: Bluttests)

VT: wiederholende Tätigkeit bei hoher Geschwindigkeit ohne zu ermüden, hohe Zuverlässigkeit; Zeit, Kosten, Personal sparend

- Krankenhausroboter

Transporttätigkeit im KH (Medizin, Essen, Wäsche ...)

- Rehab-Roboter

Unterstützung von vorübergehend/dauerhaft behinderten Menschen

Stationäre Roboter (einfache Handling-Aufgaben)

Mobile Roboter (Roboterarm montiert an Rollstuhl)

## ***Roboter in der Telechirurgie***

- Roboter direkt und in „real-time“ vom Chirurgen angesteuert
- Distanz OP-Chirurg beliebig
- Feedback (visuelles, haptisches Feedback)
- Chirurg muss auf Feedback vertrauen

## ***Sicherheit von Medizin-Robotern***

- Konsequenz aus Fehlverhalten
- Jeweils anzupassen an den Patienten (Tests, Simulation...)

Mögliche Fehlerquellen:

- fehlerhaftes Design
  - Fehlfunktion von HW oder/und SW Komponenten
  - Fehlinterpretation
  - fehlerhafte/unvollständige Spezifikation
- => absolute Sicherheit ist nicht möglich  
=> „Fail-save“ Verhalten von med. Robotern.

Sicherheitsstrategien

- Redundanz

Verdopplung oder Verdreifachung wesentlicher Module (HW, SW)

Verwendung sich ergänzender Sensorsysteme -> „Sensor-Fusion“

- Einschränken der Funktionsvielfalt

Fehlerwahrscheinlichkeit steigt mit zunehmender Komplexität

Mögliche Abhilfen:

Beschränkung Freiheitsgrade

Beschränkung Arbeitsbereich

Verringerung Arbeitsgeschwindigkeit

=> Spezielle Anforderungen für Rehab-Roboter

## ***Anwendungen Serviceroboter in der Rehab***

- Faltbarer mobiler Rollstuhl (für Kfz-Kofferraum)
- Handhabungshilfe Behinderte (Mehrachsige Kinematik + Greifer)
- Handhabungshilfe im Heimbereich (Mehrachsige Kinematik + Greifer auf Fahrzeug)
- Körperteilführung (Führung betroffener Körperteile)
- aktive Endprothese (Myoelektrische Signale werden über Stellmotor in entsprechende Bewegung an der Prothese übersetzt)

## ***Medical Robots Entwicklungspotentiale***

- Steuerungstechnik

Dezentrale Steuerungsarchitektur, Integration, Neuroinformatik

- Sensorik

Integration von Erkennen + Eingreifen; standardisierte Sensorschnittstelle; Bildverarbeitung

- Antriebstechnik

Höhere Leistungsdichte, Miniaturisierung

- Mensch-Maschine-Schnittstelle

Verbesserung der Sprachverarbeitung, Erlernen und Integration von Gestik, Verständnis-multimodale Eingabe; Plausibilitätskontrolle

- Sicherheitstechnik

Entwicklung raumüberwachender Sicherheitssensoren, Gestaltungsregeln für den Entwurf sicherheitsgerechter Systemlayouts

Weitere Folien (25-38)