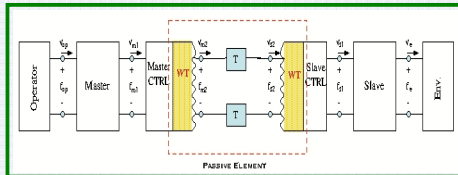


## Konzepte für bilaterale Regelung

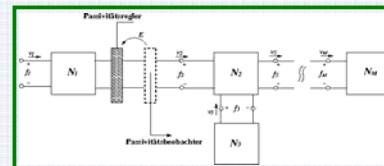
### Wave Variables

- Passivität durch Wave-Variables bildet die Basis robuster Totzeit-behafteter haptischen Telepräsenz.
- Multi-DoF Darstellung der kartesischen Lage des End-Effectors im Wave-Variables Bereich.
- Durch Variation der Totzeit im Kanal erzeugte Aktivität wird mittels
  - a) energetische „On-Line“ Beobachtung und
  - b) Modellen der Totzeitvariation geregelt.



### Time Domain Passivity Control

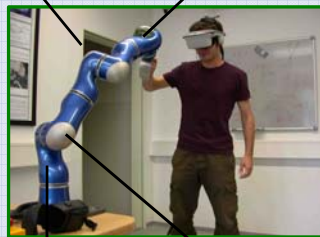
- Durch „On-Line“ Beobachtung des Energieflusses mittels eines sog. Passivitätsbeobachters (Passivity Observer) wird die im Kommunikationskanal erzeugte Energie durch den Passivitätsregler (Passivity Controller) kontrolliert. Die adaptive Eigenschaft dieses Ansatz erlaubt einen hochwertigen Anwendungsbereich.
- Ferner wird TDPC im Wellen Variablen Bereich mittels eines Wellen-Passivitätsbeobachter und Wellen-Passivitätsregler angewandt.



## Testbed

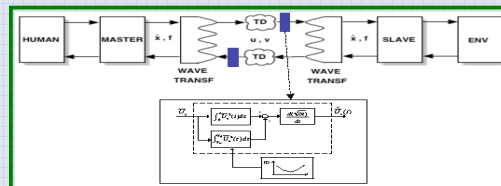
variable Gelenk-Dämpfung um Wave-Reflexionen zu minimieren.

Kraft-Moment Sensor um Dynamik des Masters zu kompensieren.

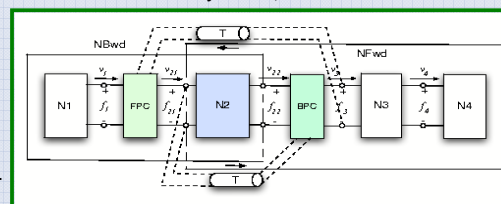


Impedanz / Admittanz lokale Regelung.

passiver Continuous-Discret-Time Konnektor.

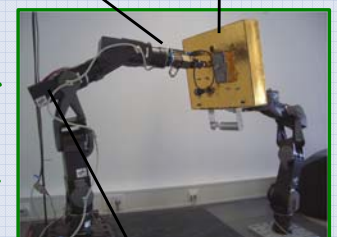


„Wave Variables Base Teleoperation with a Time Delay Model“, ROBOTIKA 2004



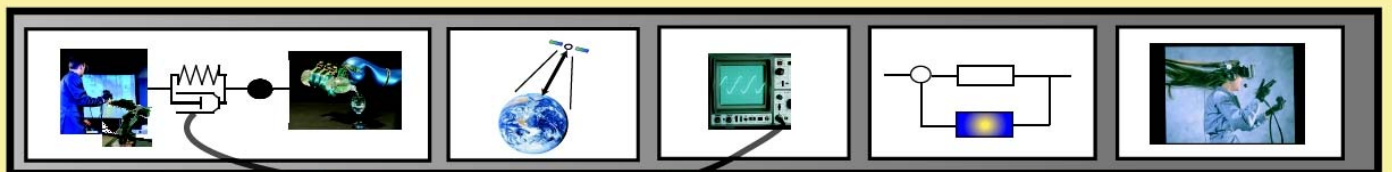
„Time Domain Passivity Based haptic Telepresence with Time Delay“, IROS 2007

Kraft-Moment Sensorik um Teleoperator-Kraft zu messen. bewegte (aktive) Umgebung

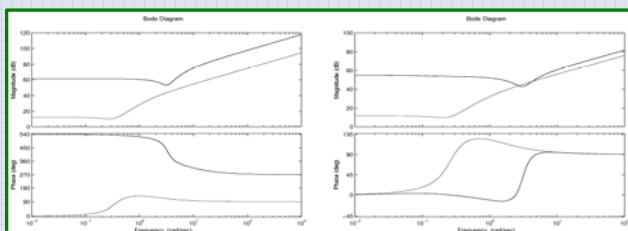


variable Gelenk-Dämpfung um Wave-Reflexionen zu minimieren

## Evaluierung der Transparenz

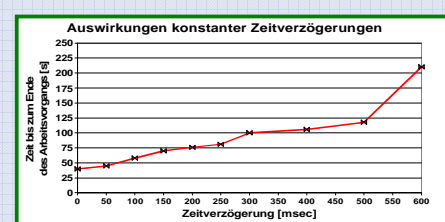


### analytische Berechnung



- analytisches Transparenzmaß: Z-Width ohne/mit Totzeit (188ms); totzeitbehaftete Kommunikation verschmälert den Z-Width Bereich.
- Dominanz der HSI-Dynamik bei hohen Frequenzen.

### experimentelle Überprüfung



- psychologisches Transparenzmaß: (Experiment mit 30 Versuchspersonen in Koop. mit M5)
- Ergebnisse: < 300 ms: „High Fidelity Telepräsenz“  
300 – 500 ms: Telepräsenz möglich.  
> 500 ms: signifikanter Leistungsabfall

## Transparentes Haptisches Display

### Kontaktsystem

- Im freien Raum folgt das haptische Display der menschlichen Hand (mittels eines Tracking-systems) berührungslos.
- Kontakte werden durch physikalische Interaktion dargestellt.
- Handgriffprimitiven erlauben taktiles Feedback.



### Art der Auge-Hand Koordination

#### "what-you-see-is-what-you-feel"

1. Auswahl typischer Handhabungssequenzen.
2. Versuchspersonen führen diese Sequenzen unter multipler Videoprotokollierung und Blickbewegungsregistrierung durch.
3. Analyse und Kategorisierung der real stattgefundenen Hand-Umwelt Kontakte.
4. Welche Sequenzen werden rein taktil, welche mit visueller Kontrolle durchgeführt?



### Optimierung der Regelung

- Freiraum-Bewegung und Kontakt mit harten Objekten wird durch Impedanzen mit stark unterschiedlichen Parametern beschrieben, welche am haptischen Displays (HD) dargestellt werden müssen.

$$Z_{\text{frei}} = 0$$

$$Z_{\text{kontakt}} = \infty$$

- Starke Parameteränderungen führen zu schaltenden Reglern, die z.B. einem Positionsregler in der freien Bewegung und einem Kraftregler bei Kontakt-Situationen.

### Design der Bedienelemente

#### Handgriffprimitiven

5. Re-Analyse und Neukategorisierung der oben erhobenen Hand-Umwelt Kontakte.
6. Welche Handkontakte fanden statt?
7. Konstruktion eines Sets von taktilen Primitiven welche möglichst viele der Kontakte abdecken.
8. Vergleich mit Alternativen im Experiment (Immersionwirkung, Handhabungsleistung).



## Bewegungsdarstellung für den Operator

### Robocoaster als Bewegungssimulator

- Dem Operator soll die Bewegungsinformation des Teleoperators immersiv in 6 Freiheitsgraden vermittelt werden.
- **Ausgangspunkt:** Kuka-Robocoaster (TUV zertifiziert).
  - nur vordefinierte (geprüfte) Trajektorien, eingeschränkter Bewegungsraum, keine Interaktivität.



#### Notwendige Entwicklungen:

- Sitzplattform mit haptisch-visuell-auditorischen Feedback für Operator
- Optimierung des Arbeitsraumes (Anpassung des Endanschläge).
- Optimierung der Wash-Out Filter für serielle Kinematiken.
- interaktive Echtzeit-Bahnplanung für Operatorsteuerung der Plattform.
- Sicherheitsaspekte

### transparente Bewegungsdarstellung

Parallel zur Optimierung der Bewegungsmöglichkeiten der Robocoaster-Plattform müssen die Klassifizierung in Bewegungs- und Kontaktsituation überarbeitet und die Auswirkungen der unterschiedlichen Regler-Auslegungen auf das Immersionsempfinden in der Bewegungs- und Kontaktphase optimiert werden.

#### Optimieren der Bewegungs- und Kontaktsituation

1. Auswahl typischer Bewegungs- und Kontaktsequenzen.
2. Versuchspersonen erleben diese Sequenzen auf der Robocoaster-Plattform in abgestuften Regler-Auslegungen.
3. Videoprotokollierung, Messung von Arbeitsleistung, Beanspruchung, Immersionwirkung.
4. Kategorisierung der Abläufe nach Bewegungs- und Kontaktphase, Analyse der Handlungsanteile in der Bewegungs- und Kontaktphase. Diese Untersuchung erlaubt es die theoretischen Überlegungen zur Verteilung von freier Bewegung und Kontakt mit Objekten zu optimieren.
5. Analyse und Bewertung der unterschiedlichen Reglervarianten nach Immersionwirkung, Arbeitsleistung und Beanspruchung.
6. Ausarbeitung von Gestaltungsempfehlungen für assoziierte Projekte.



### Strategien zur 6D Bewegungsdarstellung

- Bewegungsraum des Simulators ist kleiner als der darzustellende Bewegungsraum.
- Darstellung niederfrequenter Beschleunigungen unter Ausnutzung der Erdbeschleunigung.
- Darstellung hochfrequenter Beschleunigungen mittels direkter Robocoaster-Bewegung.
- Rückführung unterhalb der Wahrnehmungsschwelle – Wash-Out Filter.

