

# **Das taktile Internet in der Mensch-Maschine Interaktion**

**Prof. Dr.-Ing. Sandra Hirche**

*Lehrstuhl für Informationstechnische Regelung  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Technische Universität München*

hirche@tum.de



# Haptische Technologien in der minimalinvasiven Chirurgie

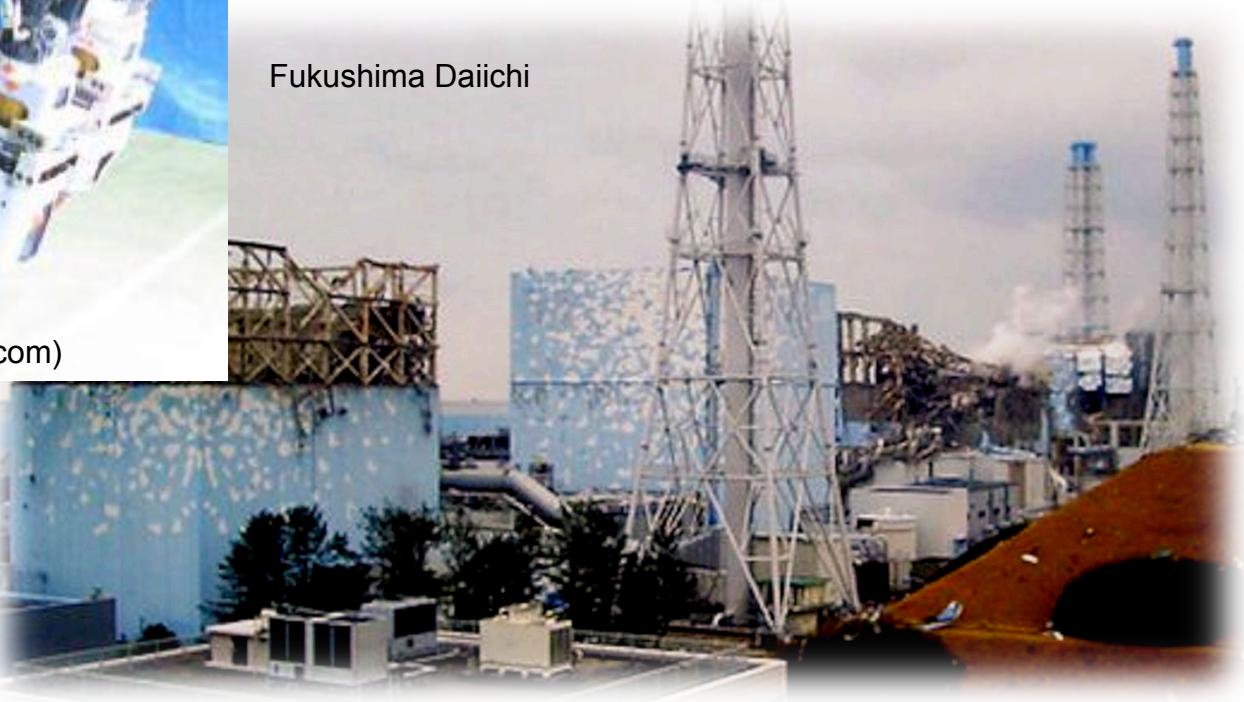


DaVinci Chirurgie-Roboter (Quelle: [www.intuitivesurgical.com](http://www.intuitivesurgical.com))

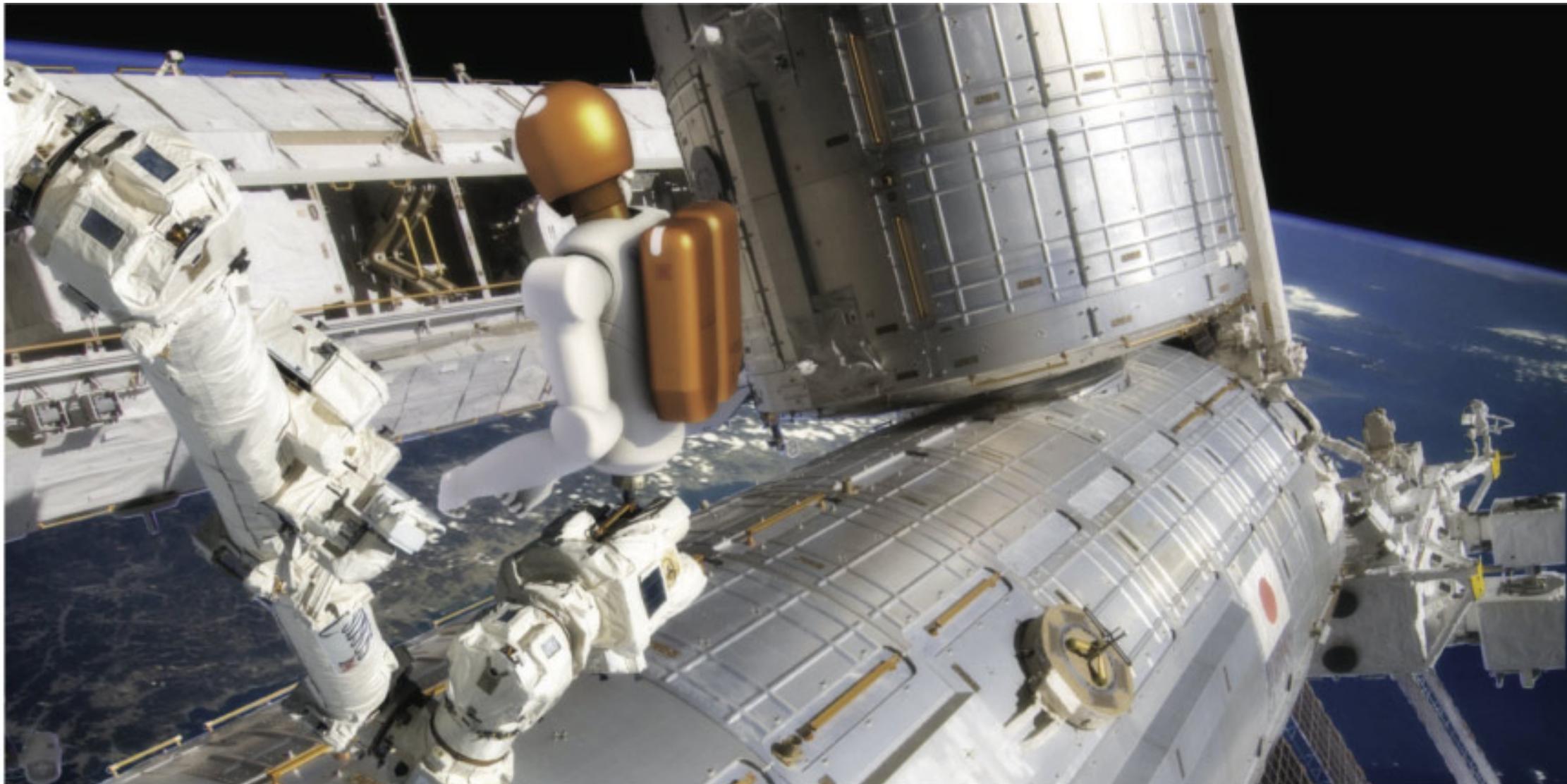
# Teleoperierte Roboter für Überwachung und Räumung in Katastrophenfällen



Fukushima Daiichi

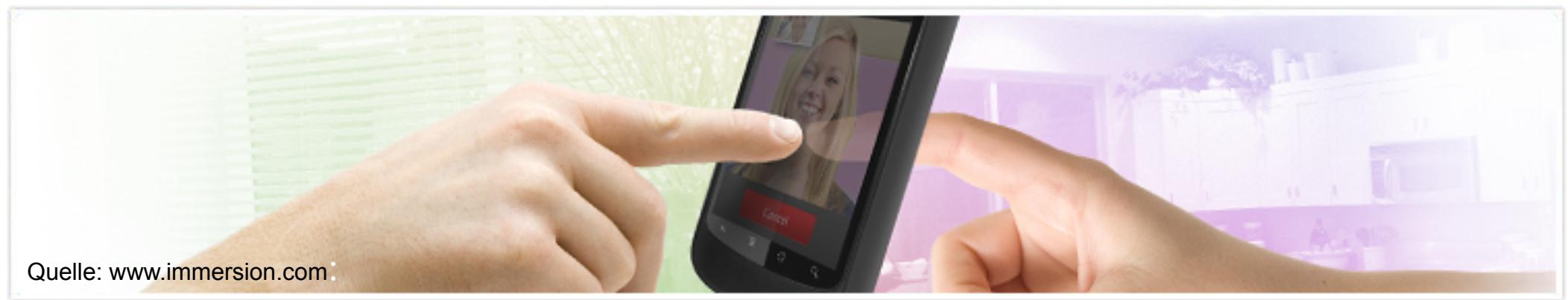
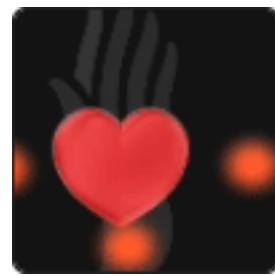


# Teleoperierte Roboter für Diagnose und Wartung



NASA Robonaut auf der ISS (Quelle: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov))

# Taktiles Feedback für neue digitale Kommunikation



Quelle: [www.immersion.com](http://www.immersion.com):

# Haptische Simulatoren für Training, Ausbildung und virtual Prototyping



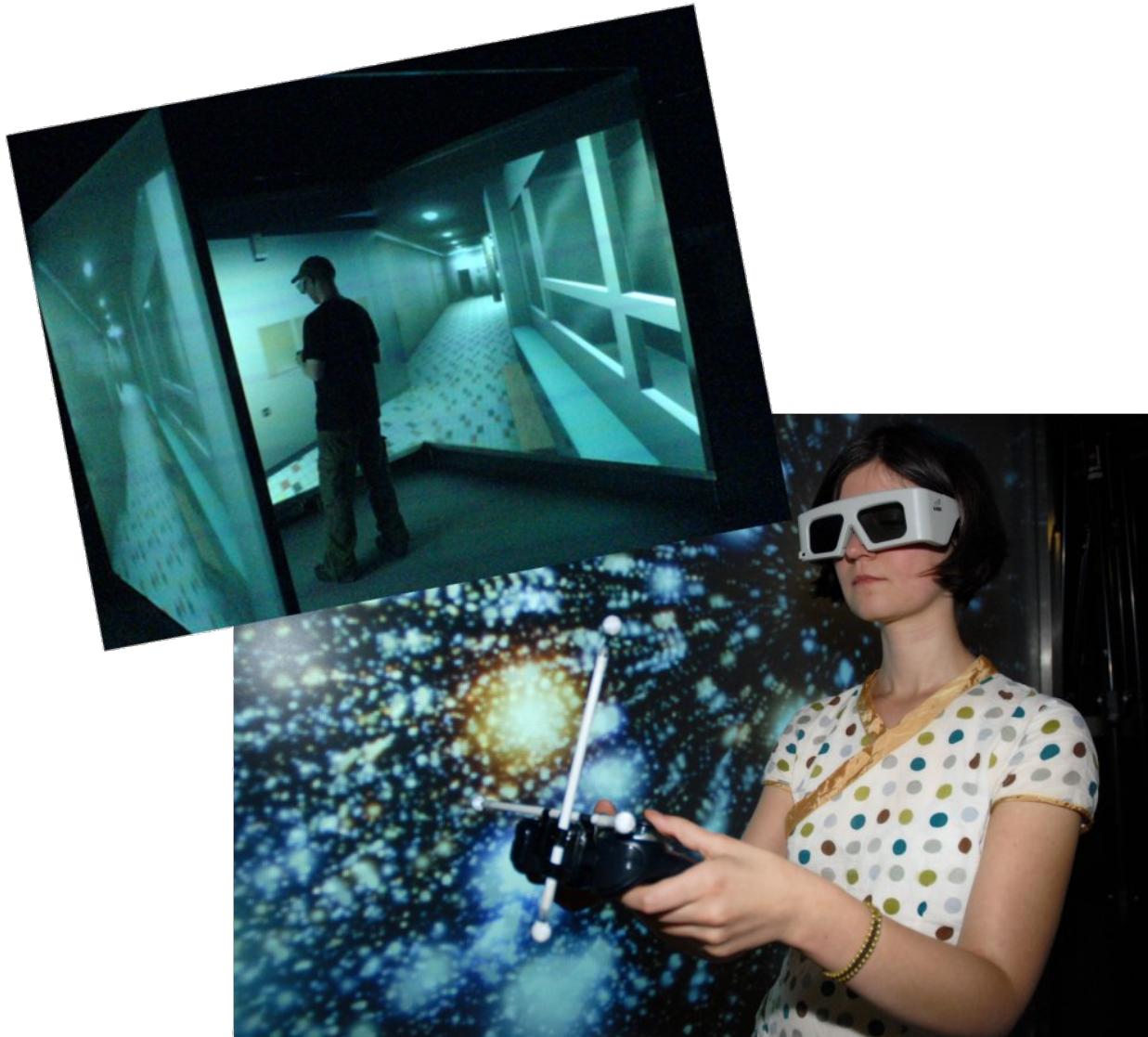
EndoVR (Quelle: [www.caehealthcare.com](http://www.caehealthcare.com))



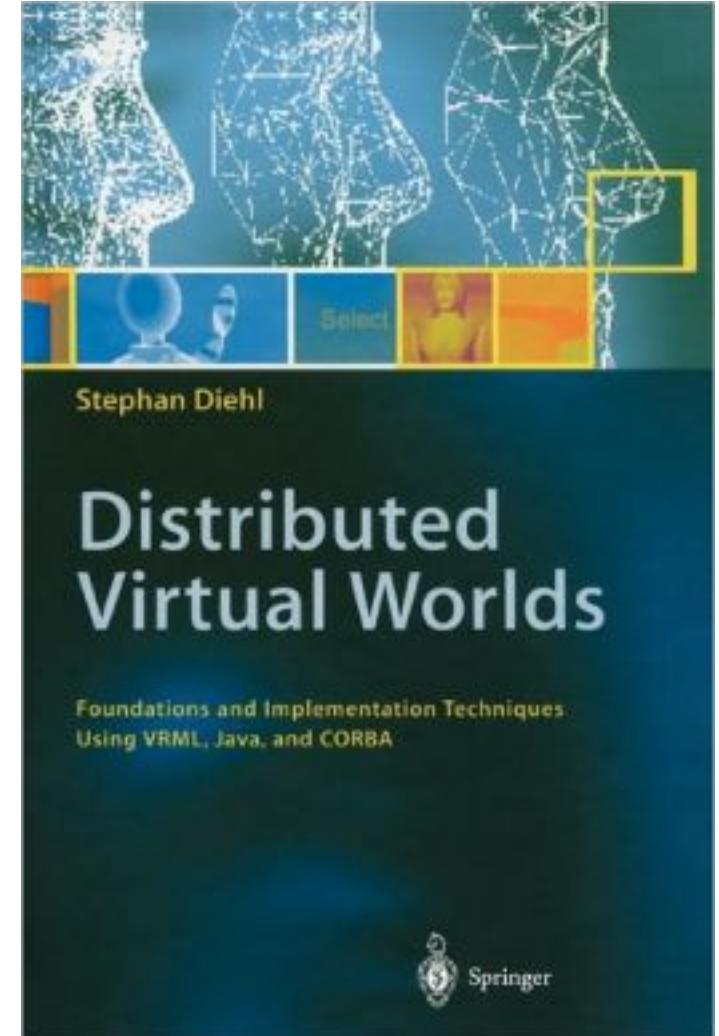
Immersion Haptic Workstation (Quelle: [www.gizmag.com](http://www.gizmag.com))



# Entertainment: Virtuelle Welten erfahren



CAVE to CAVE: Communication in Distributed Virtual Environment (Quelle: archive.cesnet.cz)



# Haptische Technologien

**Haptik** (Überbegriff für kraft- und bewegungsbasierte Sinneseindrücke incl. Taktilität)

- Etabliertes Wissenschaftsgebiet (20+ Jahre) mit eigener Zeitschrift & Konferenzen
- Haptische Technologien machen erfühlbar und erfahrbar → neue Dimension
- Anwendungspotenzial haptischer (taktiler) Technologien ist immens

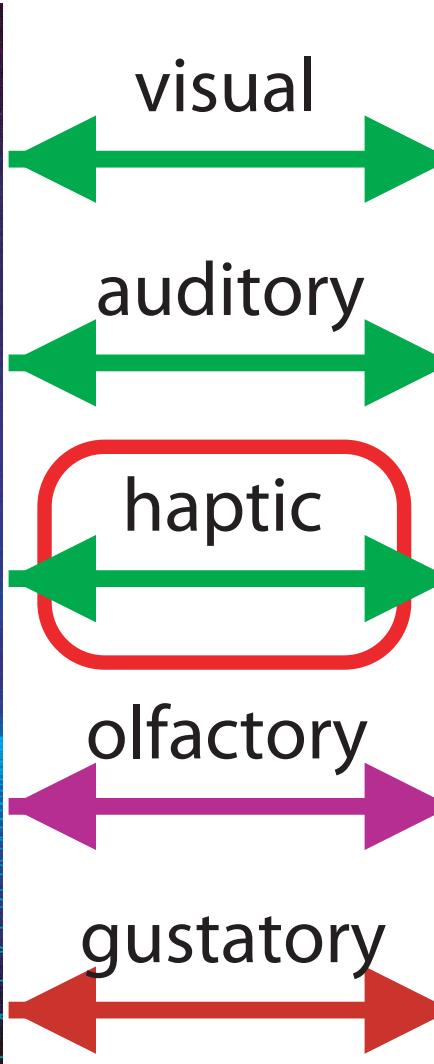
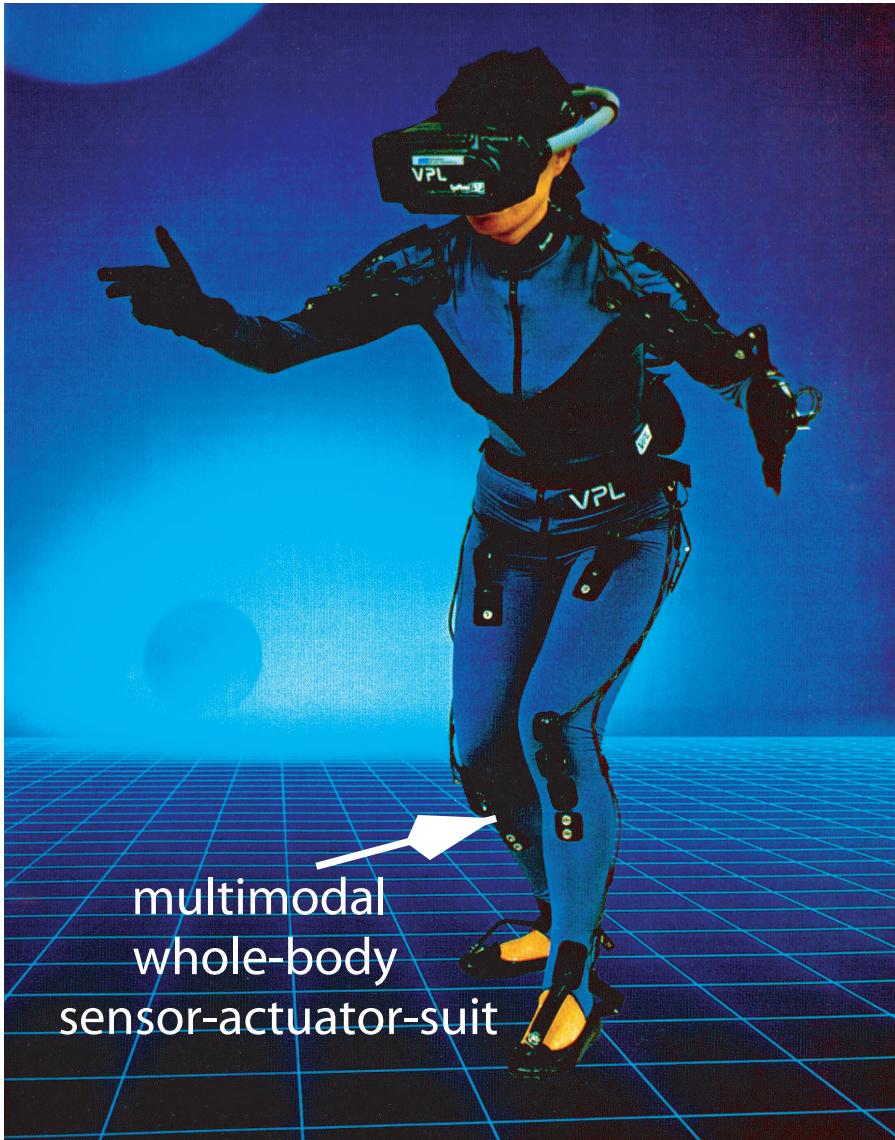


**Haptische (taktile) Kommunikation**

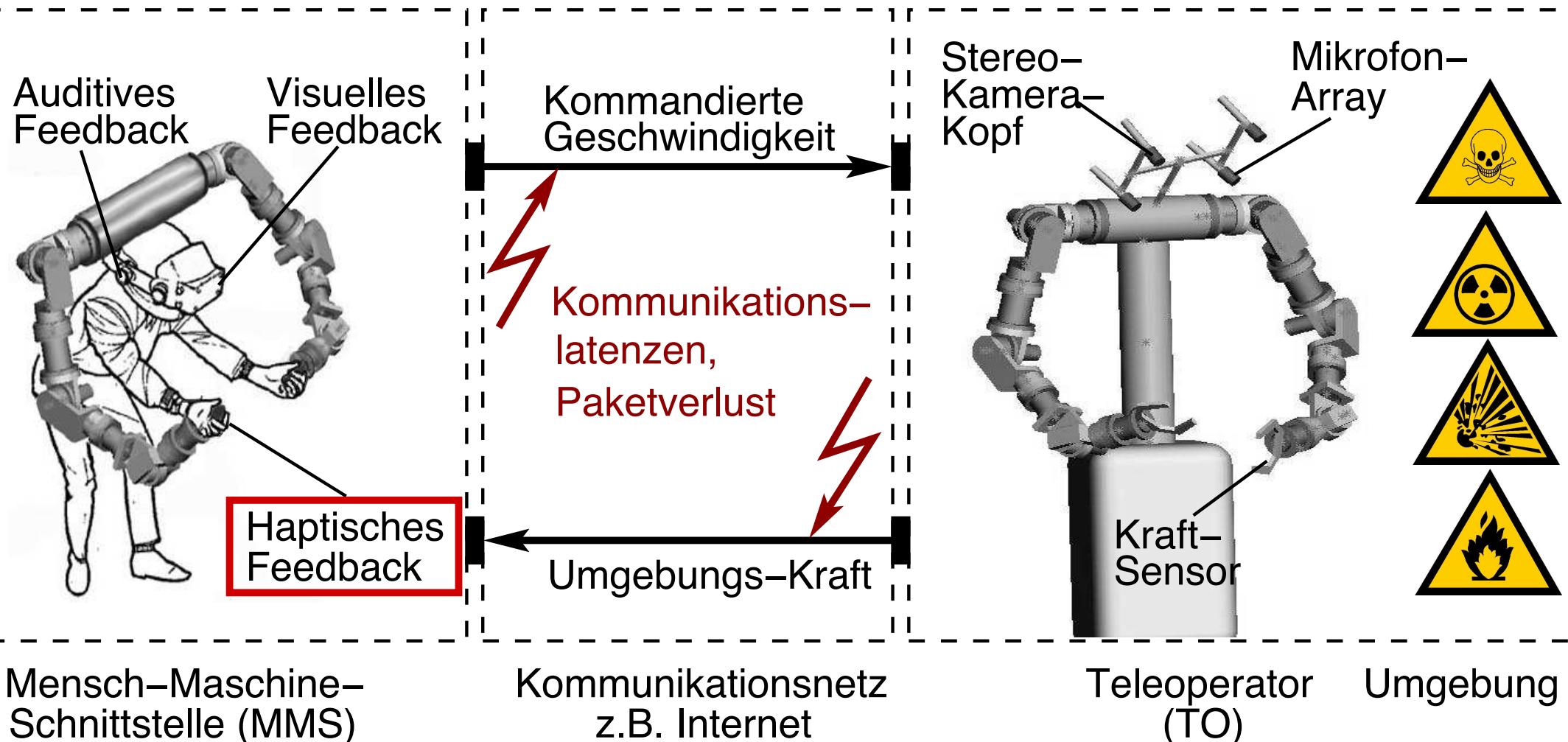
- Notwendig wenn Systeme örtlich verteilt
- Neue Echtzeitherausforderungen für die Kommunikation
- Wichtiges Forschungsgebiet der Zukunft



# Multimodale Telepräsenz

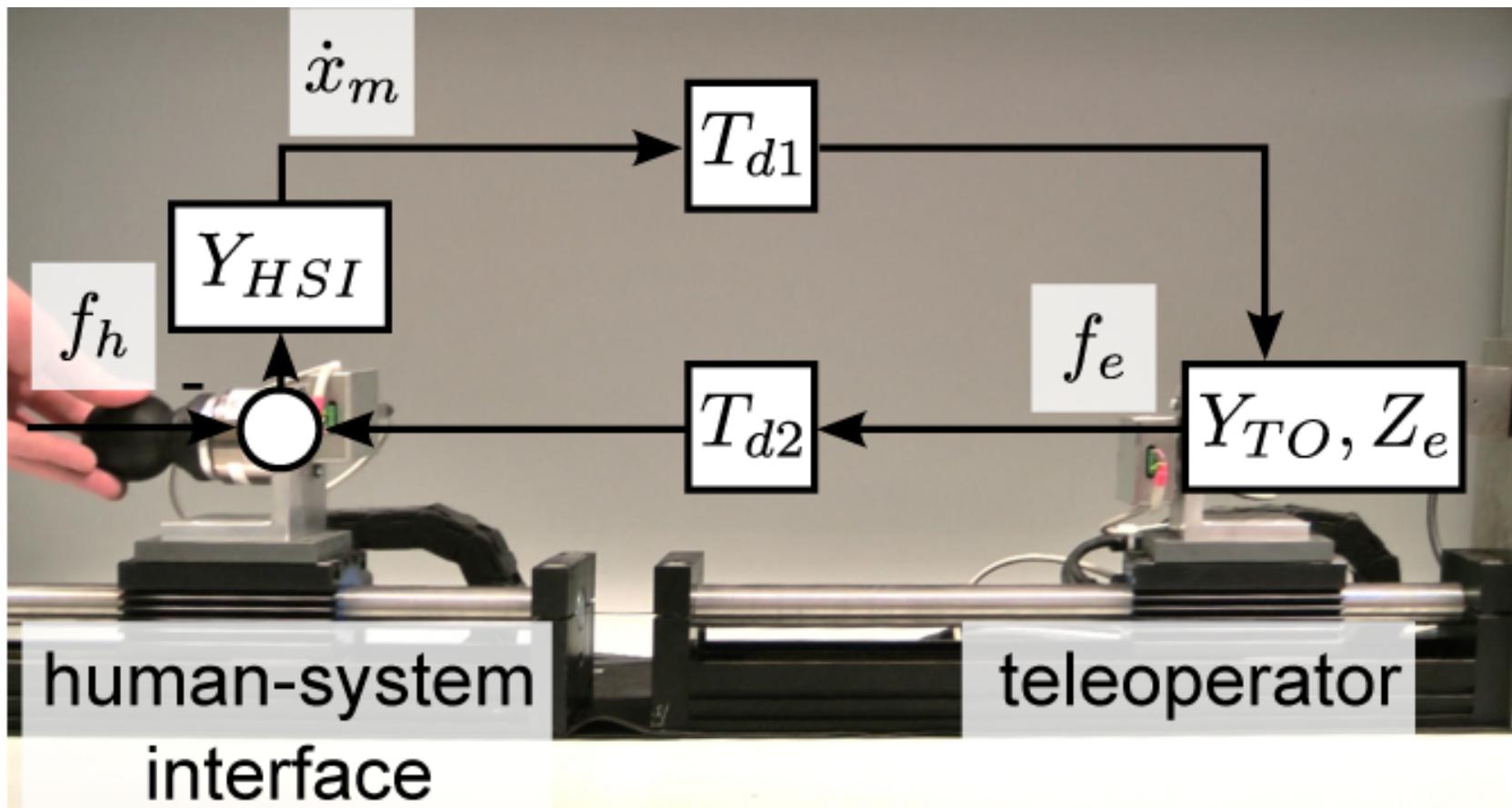


# Haptische Telepräsenz über Kommunikationsnetze



- Transparenz und Stabilität sind wichtigste Ziele für Kommunikation & Regelung

# Instabilität mit Latenzen



## Fakten:

- selbst geringe Latenzen führen zu Instabilität → gefährlich für Bediener
- Transparenzeinbußen durch Latenzen → schwierige bis unmögliche Bedienung

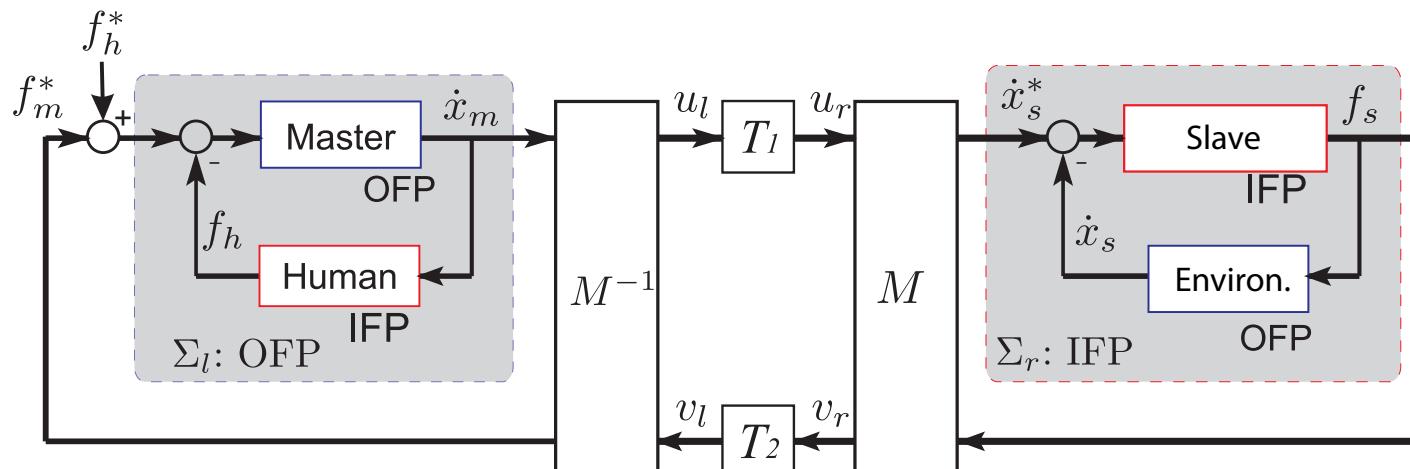
# Methode zur Stabilisierung bei Latenzen

**Neuer Ansatz:**

- Passivitätsbasierte Regelung mit generalisierter Leistungswellentransformation

→ Stabilisierung auch bei hohen Latenzen aber Einbußen bei Transparenz

- Dargestellte Masse steigt mit Roundtrip-Verzögerung T
- Dargestellte Steifigkeit fällt mit höherer Roundtrip-Verzögerung T
- T>200ms schwierig bedienbar, T>1s Bedienung nahezu unmöglich



$$m_h = \frac{Tb}{2}$$

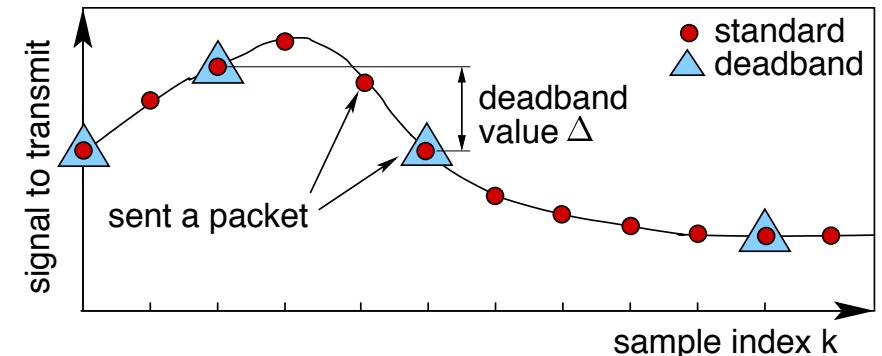
$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{k_e} + \frac{T}{2b}$$

# Ereignisbasierte Regelung und Kommunikation

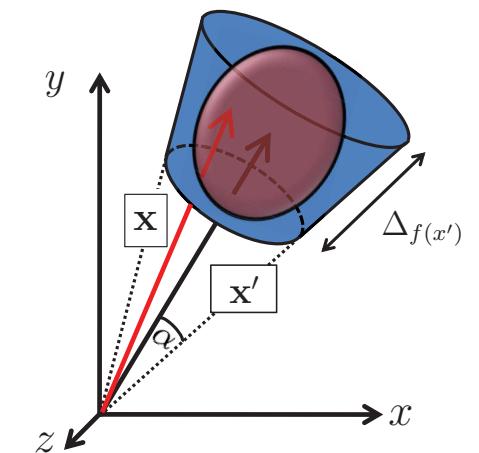
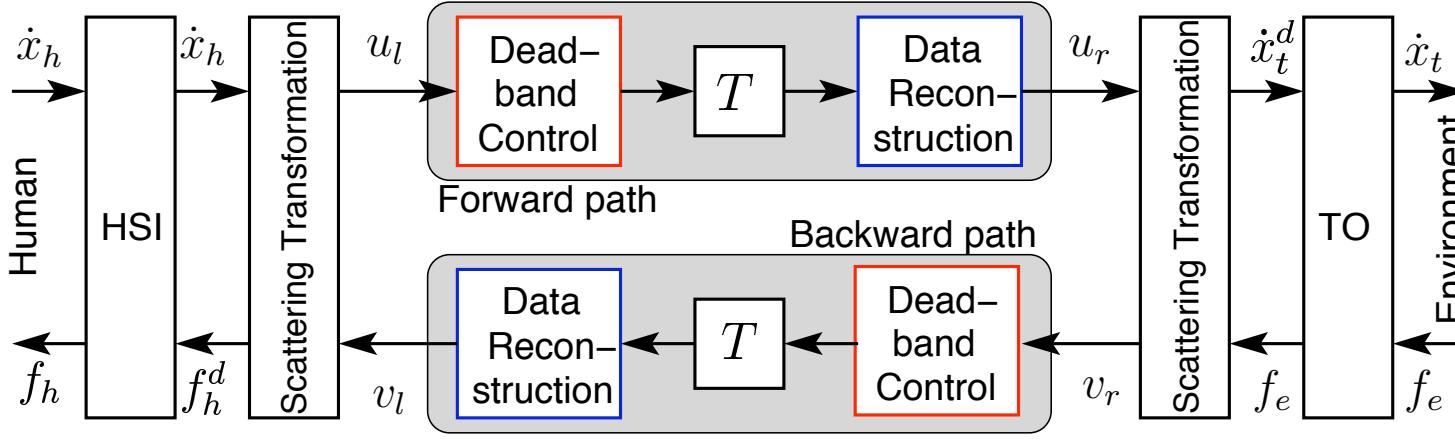
- Abtastung in lokalen Regelkreisen mit ca 1000Hz → 1000 Datenpakete/s !?

## Neuer Ansatz:

- Daten werden nur gesendet wenn “nötig”
- Erfordert passivierende Maßnahmen um Stabilität zu garantieren



→ Ergebnis: 96% Einsparung bei Datenpaketen ohne Transparenzverlust

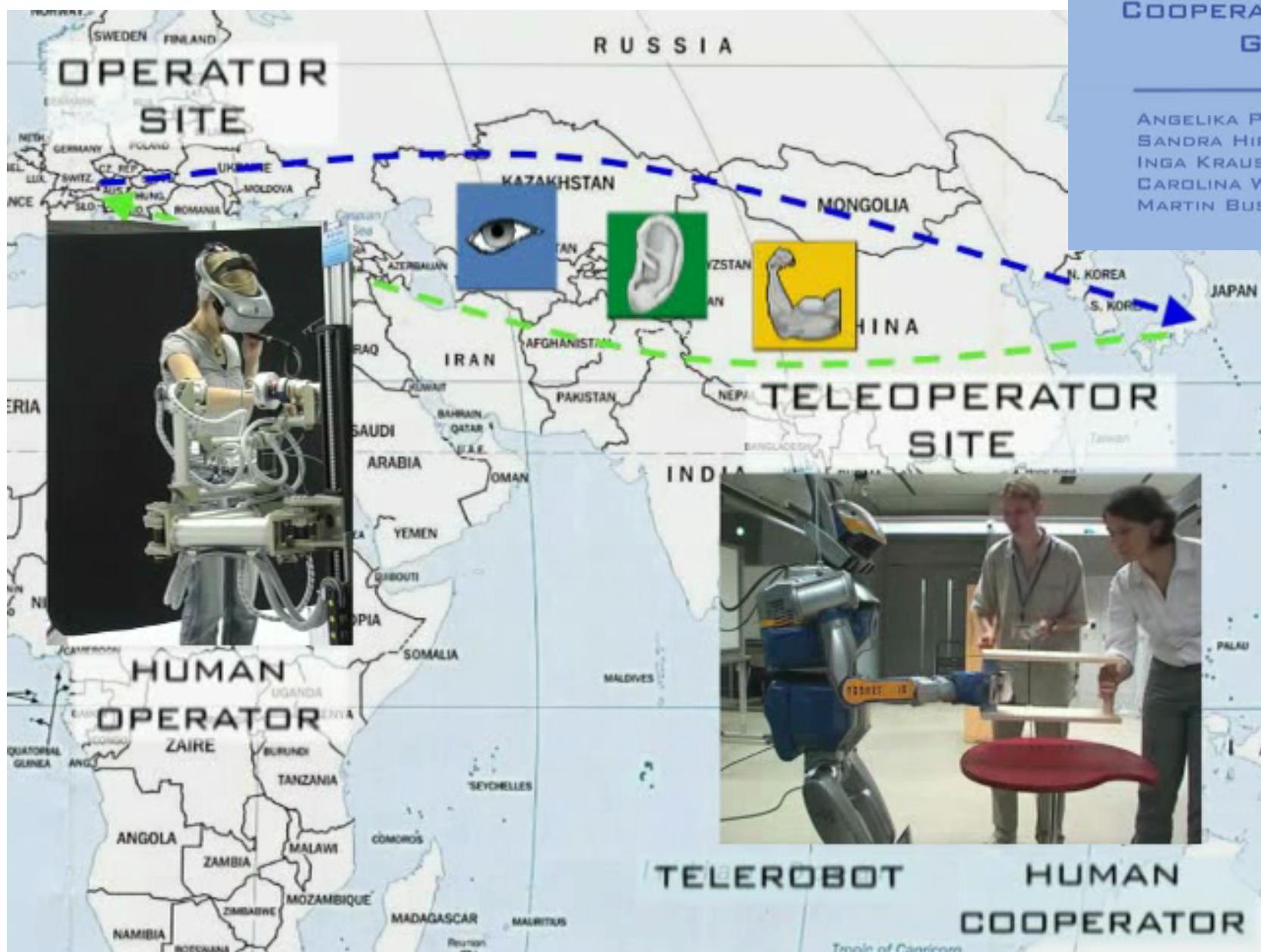




## INTERCONTINENTAL COOPERATIVE TELEMANIPULATION GERMANY - JAPAN

ANGELIKA PEER\*  
SANDRA HIRCHE\*  
INGA KRAUSE\*  
CAROLINA WEBER\*  
MARTIN BUSS\*

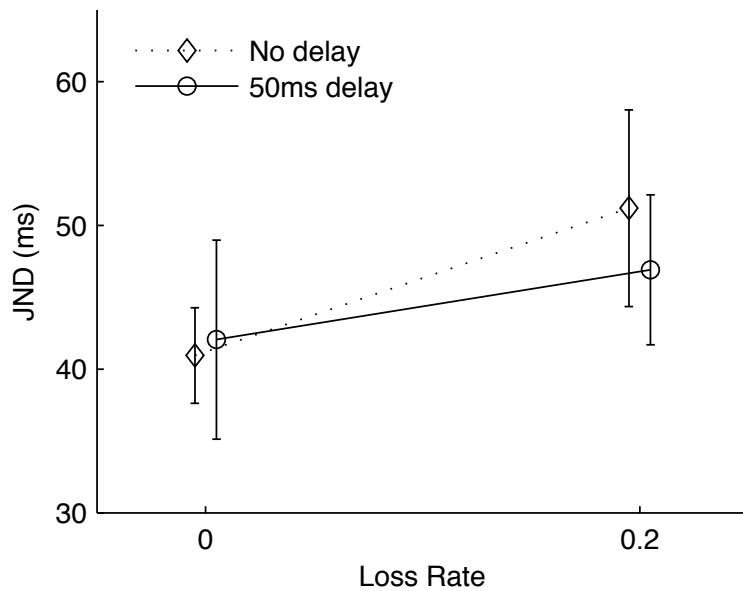
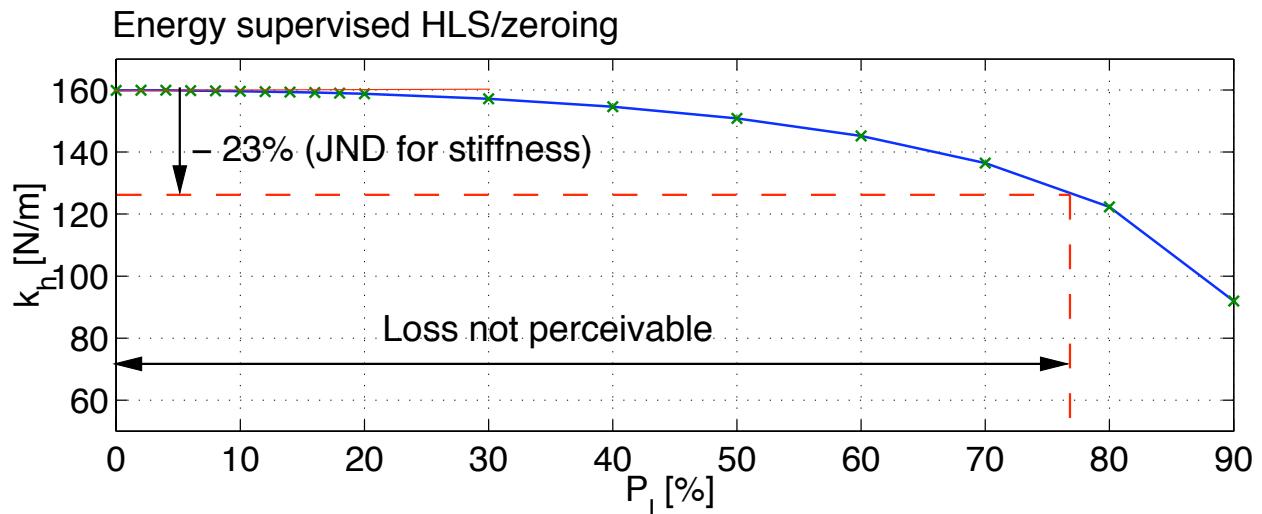
SYLVAIN MIOSSEC\*\*  
PAUL EVRAD\*\*  
OLIVIER STASSE\*\*  
NEO EE SIAN\*\*  
ABDERRAHMANE KHEDDAR\*\*  
KAZUHITO YOKOI\*\*



# Weitere Kommunikationsaspekte

## Paketverluste:

- Moderate Paketverluste sind handhabbar (hängt von Paket/Abtastrate ab)
- Paketverluste in Bursts sehr problematisch



## Multimodale Synchronizität:

- Übertragung multi-modaler Datenströme
- Für perzeptuelle Integration eines multimodalen Ereignisses Grenzen an maximalen zeitlichen Versatz (ca 50ms)

# Das taktile Internet – Fazit

## Hohe Echtzeitanforderungen an Kommunikation

- Möglichst geringe end-to-end Latenz für haptische Datenströme
- Vermeidung von Paketverlusten in Bursts
- Je nach Anwendung/Regelungsentwurf sehr unterschiedliche Anforderungen

## Enges Zusammenspiel zwischen Kommunikation und Regelung

- Bisheriger Separationsansatz beim Entwurf nur begrenzt leistungsfähig
  - Regelungsentwurf bei gegebenen Kommunikationsprotokoll
  - Kommunikationsprotokollentwurf bei gegebenen Regler

## Wichtiges Forschungsthema der Zukunft – mehr Forschung notwendig!

- Co-Design von Regelung und Kommunikation
- Wahrnehmungsorientierte Regelung und Kommunikation



Forschung gefördert von DFG (SFB453 1999-2013, SPP1305 2007-2013)