

# Neuroergonomische Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion in der Montage

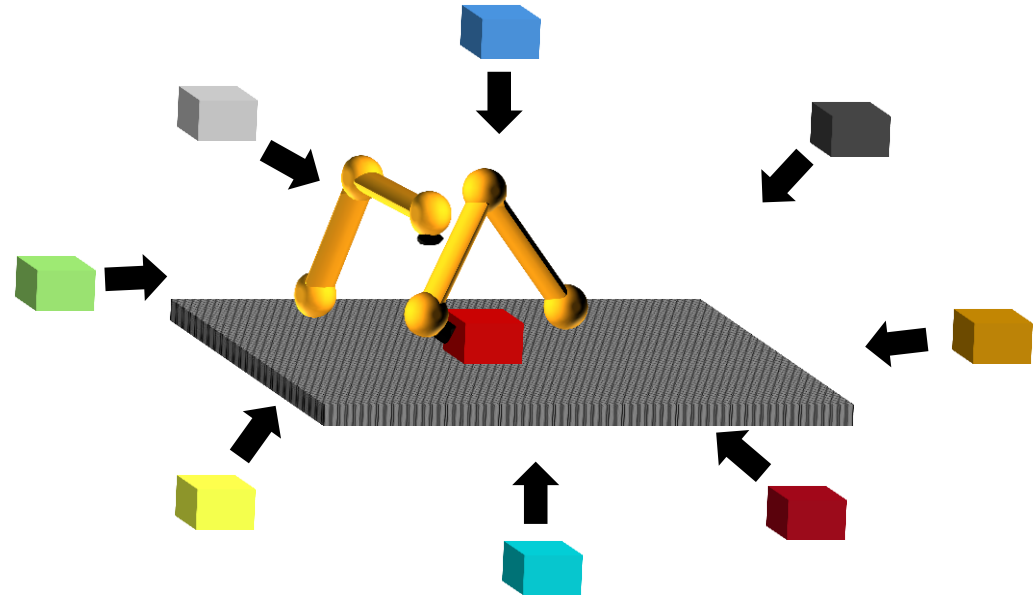
Dipl.-Inform. Sinem Kuz

## Neuroergonomische Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion in der Montage

- Einleitung
- Anthropomorphismus und Spiegelneuronen
- Empirische Studien zur anthropomorphen Bewegungssteuerung eines Knickarmroboters
  - Studie virtuellen Simulation
  - Studie an realer Montagezelle
  - Neurologische Validierung
- Ausblick

### Herausforderungen für automatisierte Produktionssysteme:

- Probleme
  - Stückzahlen werden kleiner
  - Produkte werden variantenreicher
  - Produktionssysteme müssen flexibel auf diese Probleme reagieren können
- Lösungsmöglichkeit
  - Einbindung des Menschen in den Produktionsprozess
  - Mensch-Roboter-Kooperation



### Für eine effektive Zusammenarbeit müssen beachtet werden:

- Sicherheitsaspekte
- Transparenz des Systemverhaltens, damit die Arbeitsperson nachvollziehen kann was das System macht und somit adäquat reagiert



## Anthropomorphie (ἄνθρωπος / anthropos: „Mensch“ und μορφή / morphē: „Form, Gestalt“)

- Projektion menschlicher Eigenschaften auf nicht-menschliche Instanzen
- Mehrere Wissenschaftler konnten zeigen, dass dadurch eine höhere Benutzerakzeptanz bzw. Vertrautheit erreicht werden kann

# Grundlagen

## Anthropomorphismus und industrielle Robotik

---



Klassischer Motoman  
Knickarmroboter

Motoman: **SDA 10D**



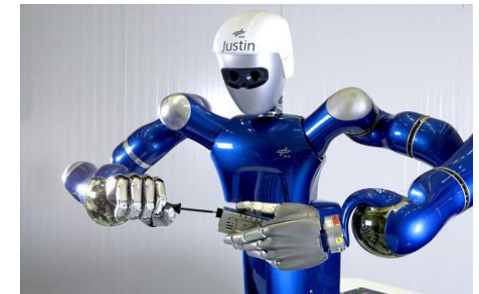
Klassischer ABB  
Knickarmroboter

ABB: **YUMI**



Klassischer kuKa  
Knickarmroboter

DLR/KuKa: **Justin**



# Grundlagen

## Anthropomorphismus und Perzeption (I)

---

männlich



- Anthropomorphismus kann viele Bereiche umfassen wie Aussehen oder Interaktionseigenschaften
- Ein wichtiger Bereich ist das Bewegungsverhalten
- Bewegung ist eine zentrale Quelle zur Übertragung von Informationen über die Handlung oder die Absicht
- wenige „Features“ für eine genaue Zuordnung, was da gerade passiert

weiblich



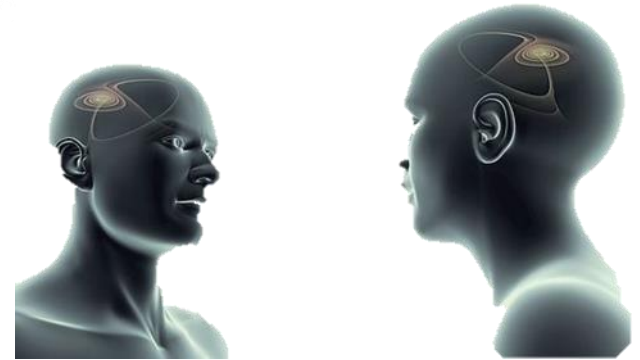
# Grundlagen

## Anthropomorphismus und Perzeption (II)

---

### Bewegungswahrnehmung & -interpretation

- Zwei Bereiche im Gehirn, die bei Bewegungswahrnehmung aktiv sind
- **Spiegelneuronen**
  - Spezielle Hirnareale bei Menschen, die bei der Ausführung und Beobachtung von Handlungen aktiv sind
  - Die Nervenzellen reagieren genauso, als ob man das Gesehene selbst ausgeführt hätte
  - Spiegelneurone sind auch bei der Beobachtung zielorientierter Bewegungen von Industrierobotern aktiv
- **Mentalisierungssystem**
  - immer dann aktiv ist wenn die Intention einer Handlung herausgefunden werden muss, die auf keiner menschlichen Bewegung basiert
  - bspw. bewegte geometrische Modelle



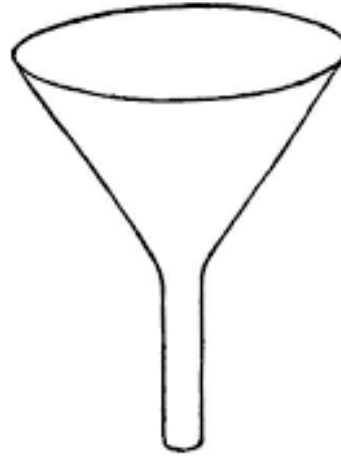
# Grundlagen

## Untersuchungsgegenstand

---

Spiegelneuronen  
Transparenz

Industrielle Robotik  
Anthropomorphismus



Welche Auswirkungen können anthropomorphe Bewegungen eines Industrieroboters auf die Vorhersagbarkeit von Handlungen haben?



# Empirische Studien zur anthropomorphen Bewegungssteuerung

## Studie 1: Studie virtuelle Umgebung

### Beobachtung von Roboterbewegungen in einer virtuellen Simulation



- Auswirkungen von menschähnlichen Geschwindigkeitsprofils vs. ein konstantes Profil bei menschähnlicher Trajektorie in der virtuellen Umgebung

## Studie 2: Studie an realer Montagezelle

### Beobachtung von Roboterbewegungen in einer realen Umgebung



- Auswirkungen von menschähnlichen Bewegungen vs. robotischen in der realen Umgebungen

## Studie 3: Neurologische Validierung

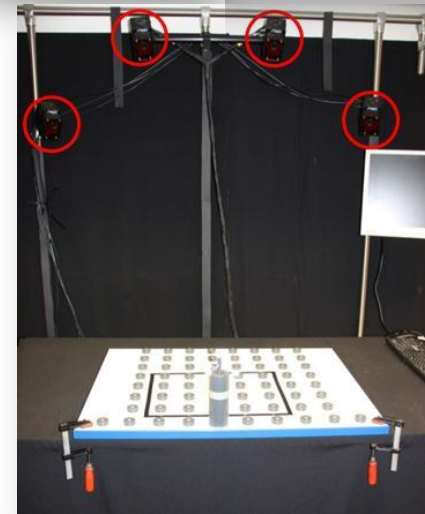
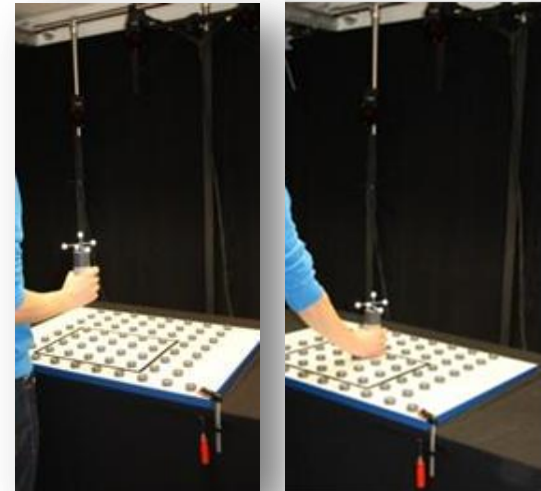
### Beobachtung von Roboterbewegungen im fMRT-Scanner

- Messung der Gehirnaktivität bei Betrachtung von menschähnlichen Bewegungen bei dem Knickarmroboter

# Übergeordnete Methodik

## Erhebung der Bewegungen des Menschen

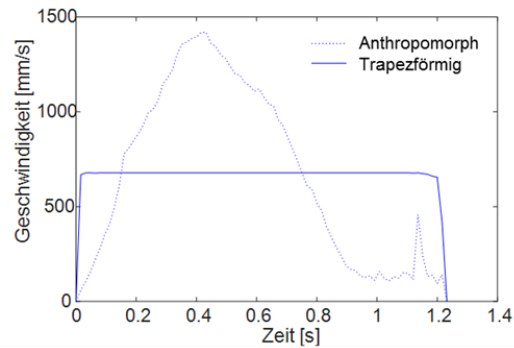
- Positionierung einer normalgroßen männlichen Versuchsperson vor einem Rasterfeld mit 20 Einzelfeldern
- Mehrfache Platzierung eines Kunststoffzylinders mit der rechten Hand auf alle Felder in dem markierten Bereich
- Aufnahme während der Bewegungsausführung mit einem Trackingsystem mit 60 Hz Abtastfrequenz
- Übertragung der Bewegungen auf einen Kuka KR30 Jet Knickarmroboter mit einer Arbeitsfläche (4x5 Felder)



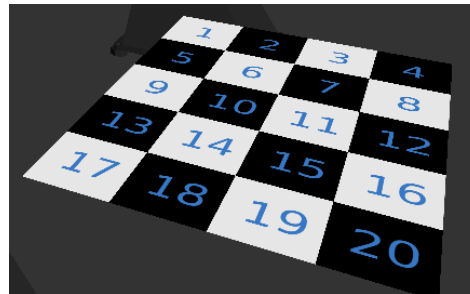
# Studie 1: Studie virtuellen Simulation Methodik - Versuchsdesign

## Unabhängige Variablen

Geschwindigkeitsprofil  
(menschähnlich,  
trapezförmig) bei  
menschähnlicher  
Trajektorie



Position für die  
Ablage (20 stufig)



## Versuchspersonen

- 20 männliche Probanden mit technischem Schwerpunkt
- Alter: MW: 25,39 Jahre, SD: 3,43



Aufgabe:

- Prädiktion der Zielposition



Abhängige Variablen:

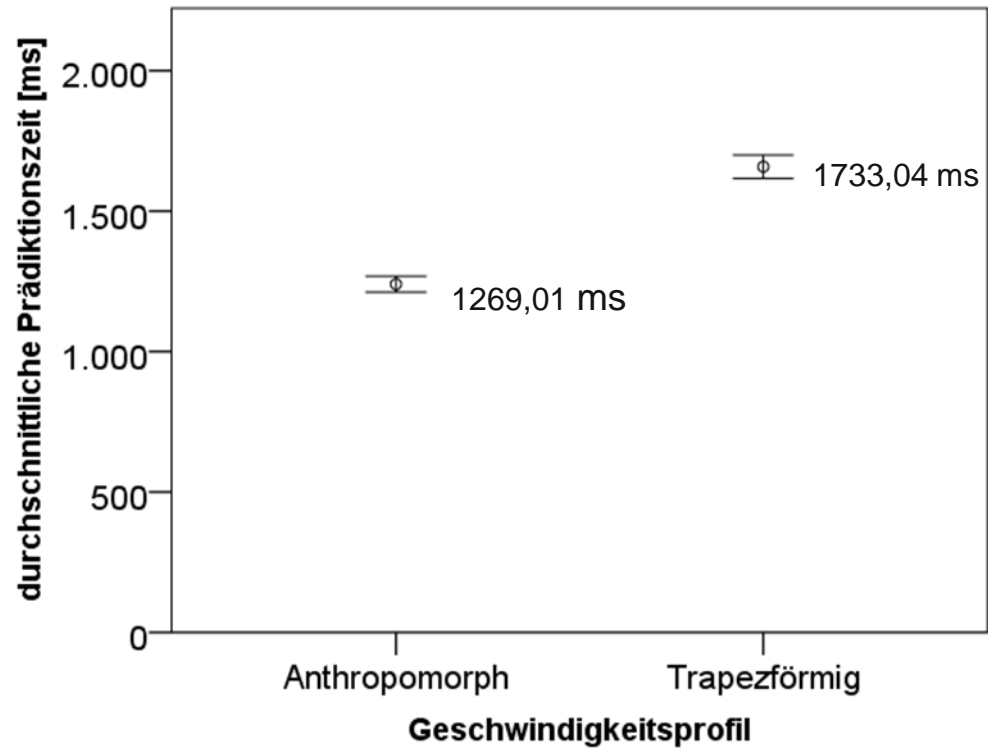
- Prädiktionszeit & -weg
- Prädiktionsfehler
- Mentale Beanspruchung (RSME)

# Studie 1: Studie virtuellem Simulation

## Ergebnisse (I)

### Prädiktionszeit

- Signifikanter Effekt des **Geschwindigkeitsprofils**  
( $F_{(1;19)}=1768,601$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,75$ )
- Signifikanter Effekt der **Zielposition**  
( $F_{(2,074;34,409)}=92,408$ ;  $p<0,001$ ;  
 $\omega^2=0,78$ )

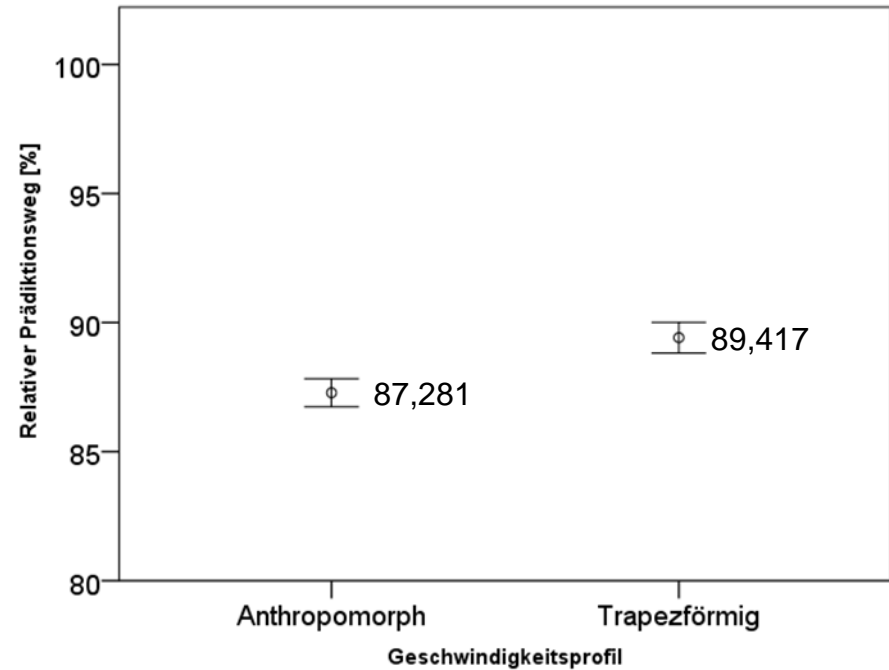


# Studie 1: Studie virtuellen Simulation

## Ergebnisse (II)

### Relativer Prädiktionsweg

- Signifikanter Effekt des **Geschwindigkeitsprofils**  
( $F_{(1;19)}=6,699$ ;  $p=0,019$ ;  $\omega^2=0,91$ )
- Signifikanter Effekt der **Zielposition**  
( $F_{(7,065;120,097)}=7,067$ ;  $p<0,001$ ;  
 $\omega^2=0,61$ )



# Studie 1: Studie virtuellen Simulation

## Ergebnisse (III)

### Prädiktionsgenauigkeit

- Die Ergebnisse unterschieden sich zwischen den Bewegungsarten signifikant voneinander ( $\chi^2_{(2, N=800)}=37,483, p < 0,001$ )

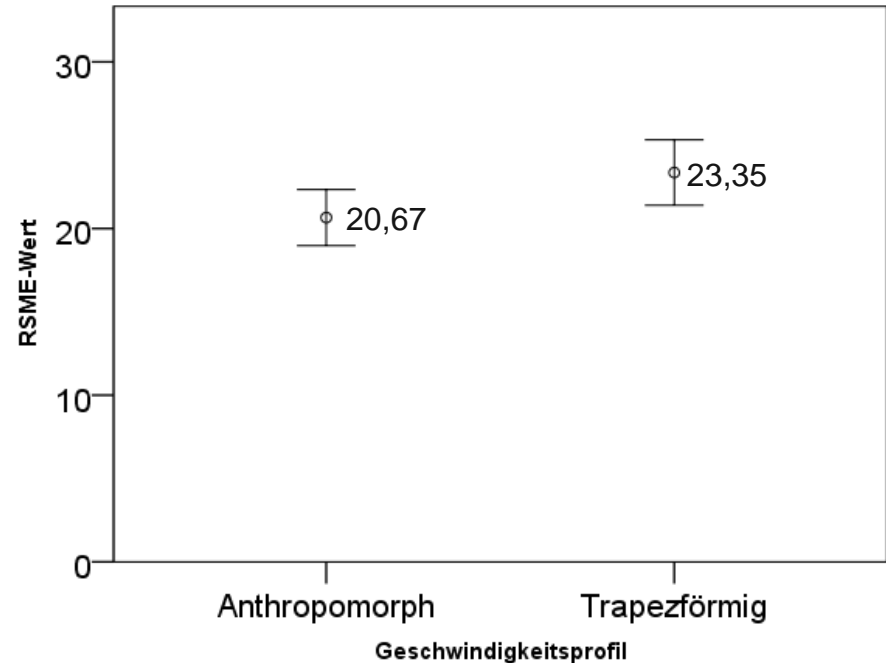
Prädiktion	Geschwindigkeitsprofil		Gesamt
	Anthropomorph	Trapezförmig	
Fehlend	4 (1%)	44 (11%)	48 (6%)
Inkorrekt	88 (22%)	95 (24%)	183 (23%)
Korrekt	308 (77%)	261 (65%)	569 (71%)
<b>Gesamt</b>	400 (100 %)	400 (100%)	800 (100%)

# Studie 1: Studie virtuellen Simulation

## Ergebnisse (IV)

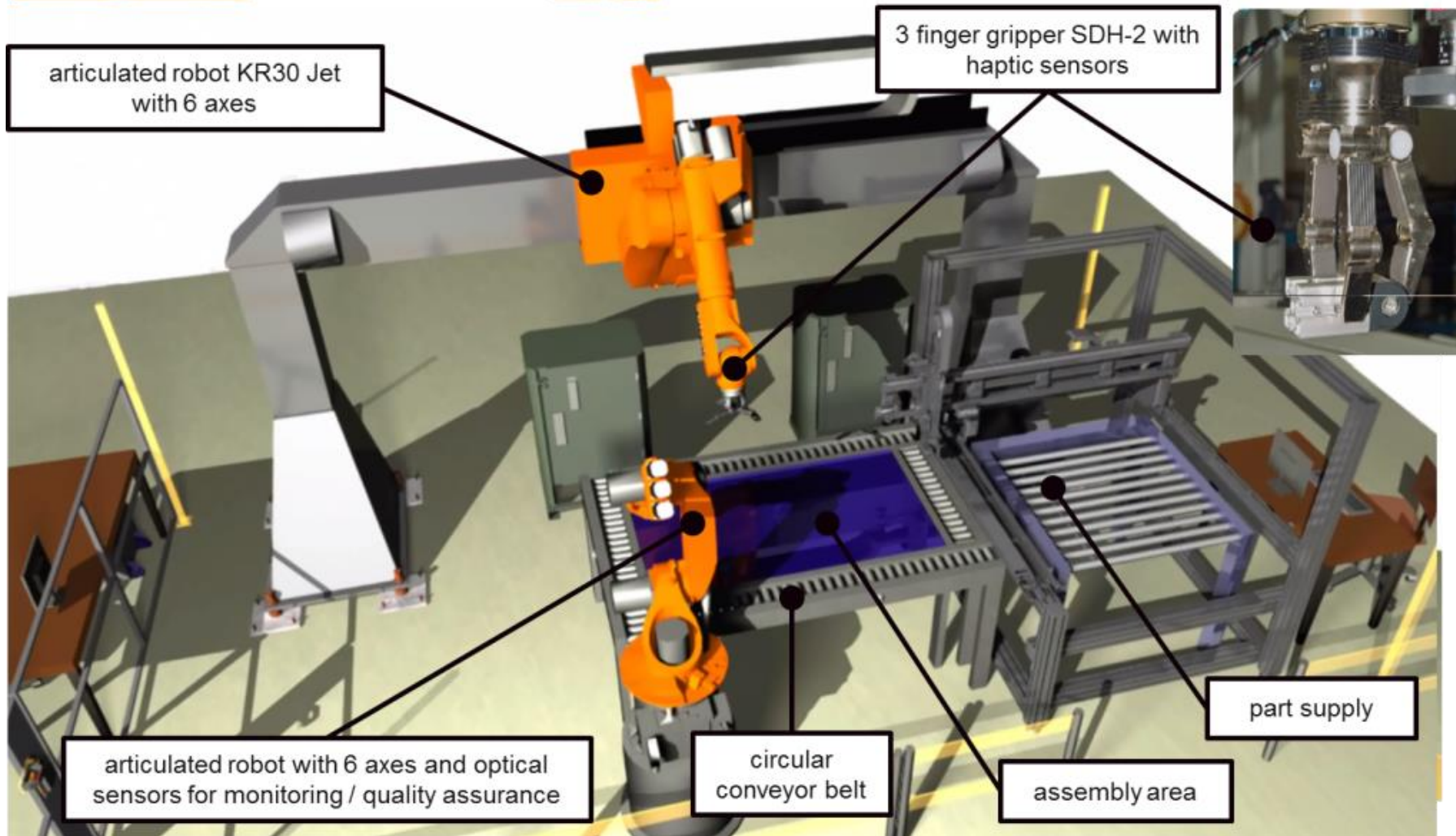
### Mentale Beanspruchung

- Signifikanter Effekt des **Geschwindigkeitsprofils**  
( $F_{(1;19)}=9,496$ ;  $p=0,006$ ;  $\omega^2=0,11$ )
- Signifikanter Effekt der **Zielposition**  
( $F_{(19;7,111)}=3,610$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,08$ )



# Studie 2: Studie an realer Montagezelle

## Kognitive Montagezelle



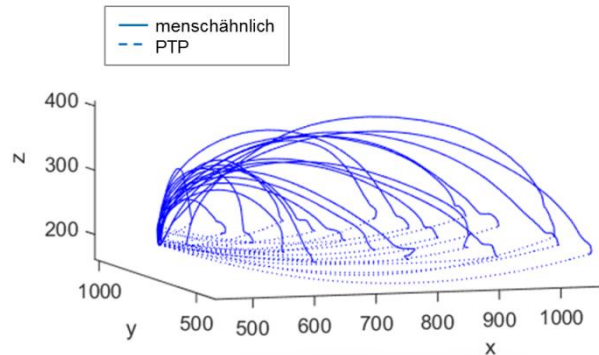


# Studie 2: Studie an realer Montagezelle

## Methodik - Versuchsdesign

### Unabhängige Variablen

Bewegungsart=  
Trajektorie und  
Geschwindigkeit  
(menschähnlich,  
PTP)



Arbeitsfläche (20 stufig)



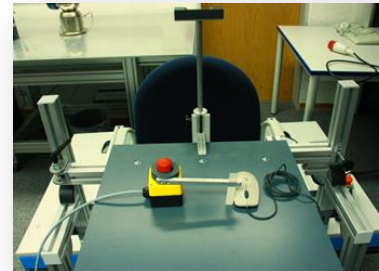
### Versuchspersonen

- 20 männliche Probanden mit technischem Schwerpunkt
- Alter: MW: 25,45 Jahre, SD: 3,55



Aufgabe:

- Prädiktion der Zielposition



Abhängige Variablen:

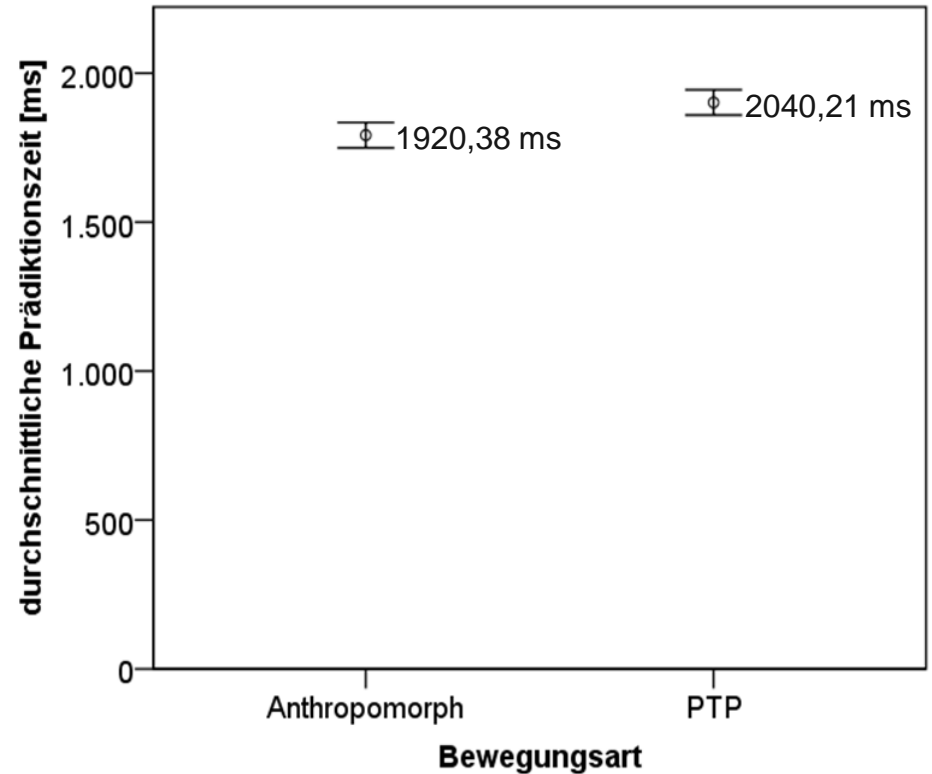
- Prädiktionszeit
- Prädiktionsfehler
- Mentale Beanspruchung (RSME)
- Blickbewegungsdaten

# Studie 2: Studie an realer Montagezelle

## Ergebnisse (I)

### Prädiktionszeit

- Signifikanter Effekt der **Bewegungsart** ( $F_{(1;19)}=14,834$ ;  $p=0,001$ ;  $\omega^2=0,2$ )
- Signifikanter Effekt der **Zielposition** ( $F_{(7,343;140,324)}=53,783$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,7$ )



# Studie 2: Studie an realer Montagezelle

## Ergebnisse (II)

### Prädiktionsgenauigkeit

- Die Ergebnisse unterschieden sich zwischen den Bewegungsarten signifikant voneinander ( $\chi^2_{(2, N=800)}=114,921, p = 0,000$ )

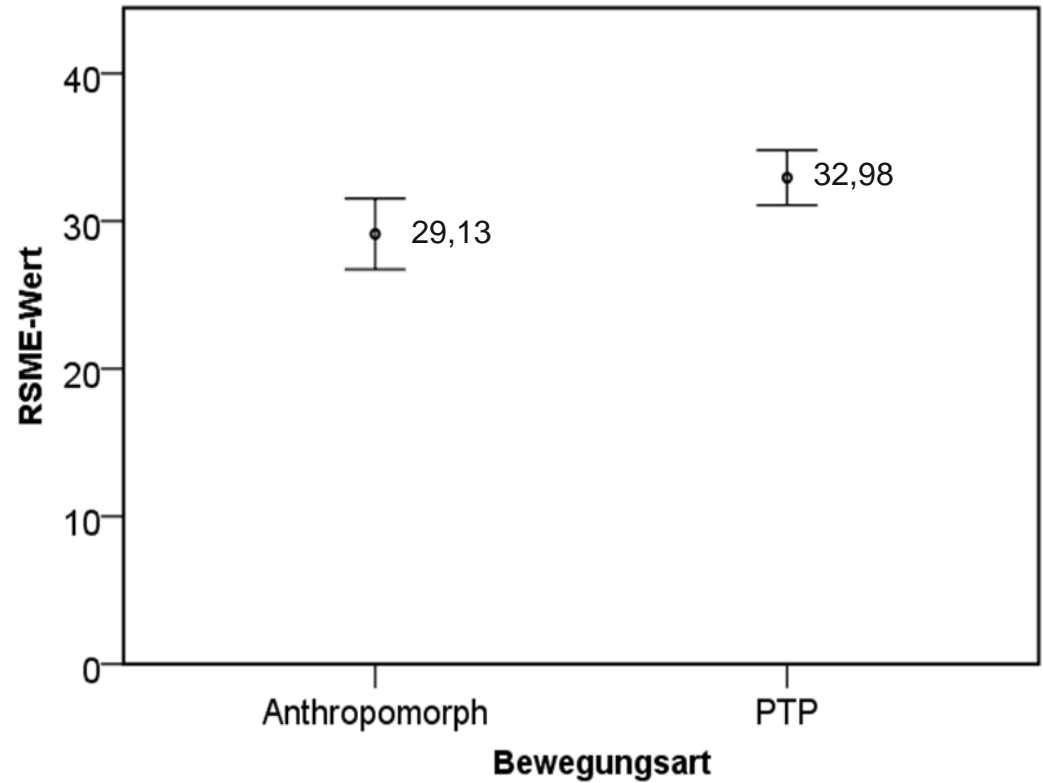
Prädiktion	Bewegungsart		Gesamt
	Anthropomorph	PTP	
Fehlend	5 (1,3%)	37 (9,3%)	42 (5,3%)
Inkorrekt	36 (9,0%)	138 (34,5%)	174 (21,8%)
Korrekt	359 (89,8%)	225 (56,3%)	584 (73,0%)
<b>Gesamt</b>	400 (100 %)	400 (100%)	800 (100%)

# Studie 2: Studie an realer Montagezelle

## Ergebnisse (III)

### Mentale Beanspruchung

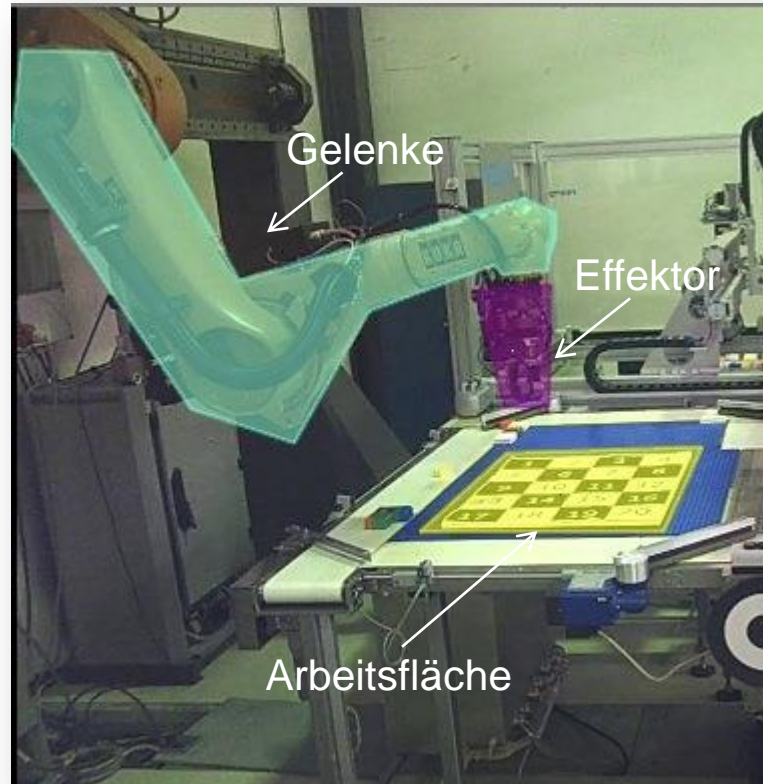
- Kein signifikanter Effekt der **Bewegungsart**
- Deskriptiv höhere Beanspruchungswerte bei Betrachtung der PTP Bewegungen



## Studie 2: Studie an realer Montagezelle

### Ergebnisse (IV)

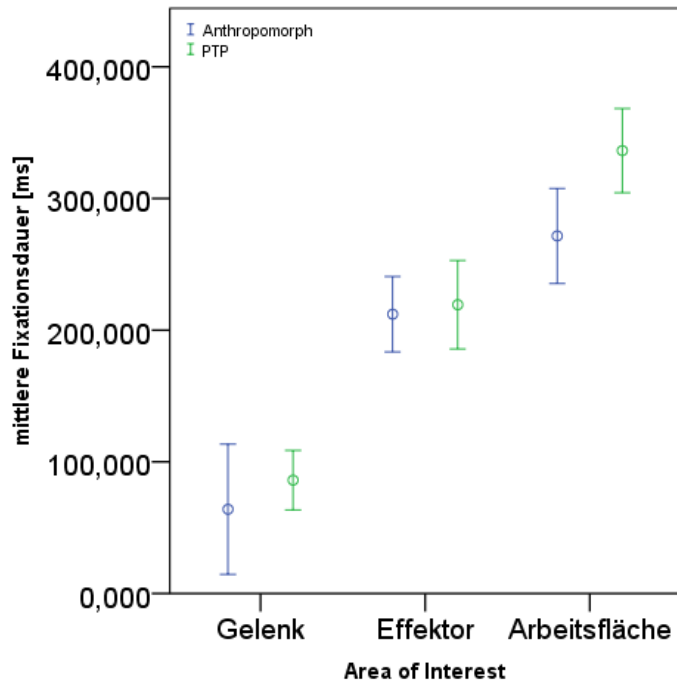
- Einteilung in drei Areas of Interest (Arbeitsfläche, Effektor, Gelenke)
- Ermittlung der mittleren Fixationsdauer auf die AOIs und der Pupillendilatation in Abhängigkeit von der Bewegungsart



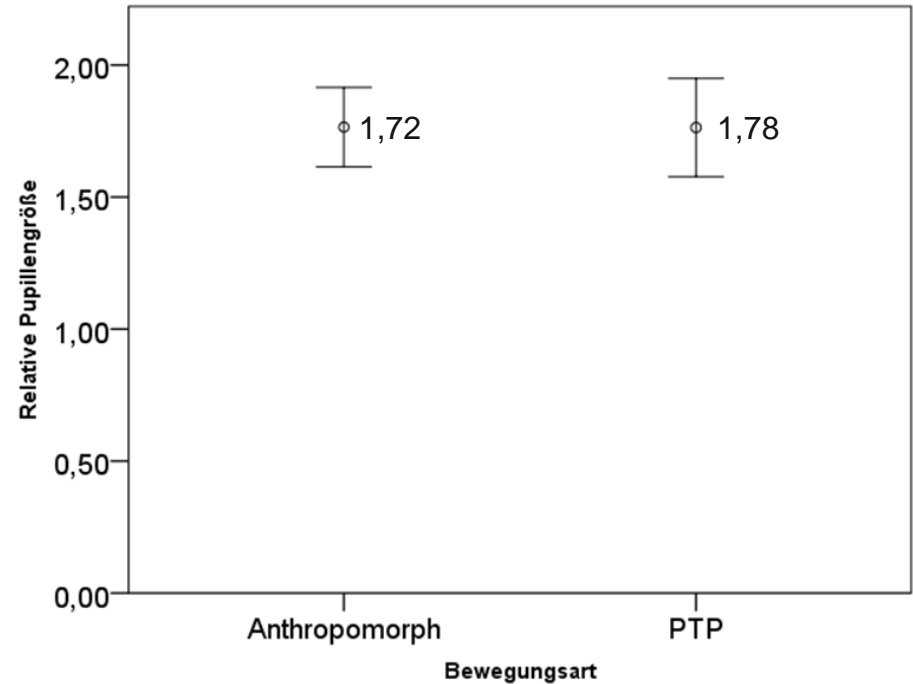
# Studie 2: Studie an realer Montagezelle

## Ergebnisse (V)

### Fixationsdauer



### Relative Veränderung der Pupillengröße

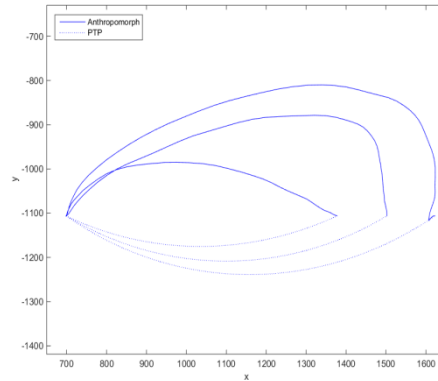


Keine signifikanten Effekte, da eine kleine Stichprobe (n=7)

# Studie 3: Neurologische Validierung Methodik - Versuchsdesign

## Unabhängige Variablen

Bewegungsart=  
Trajektorie und  
Geschwindigkeit  
(menschähnlich,  
PTP)



## Versuchspersonen

- 33 Probanden
- Alter: MW: 24,73 Jahre, SD: 3,55



## Aufgabe:

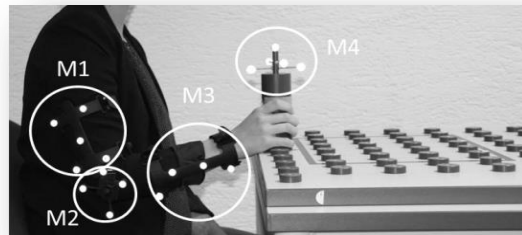
- Beobachtung von simulierten Roboterbewegungen
- Bewertung des Anthropomorphismus mittels einer Likert-Skala



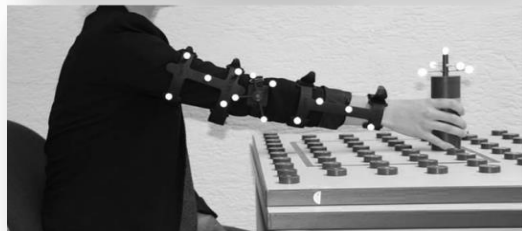
## Abhängige Variablen:

- Bewertung Anthropomorphismus
- Bildgebende Daten über aktivierte Gehirnbereiche

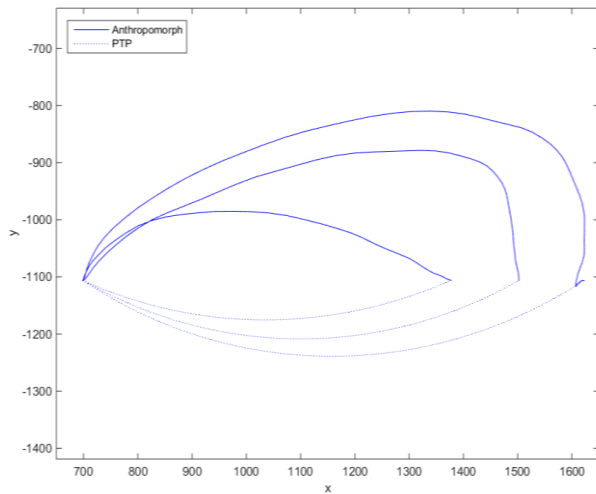
# Studie 3: Neurologische Validierung Versuchsdaten



(a) Startposition

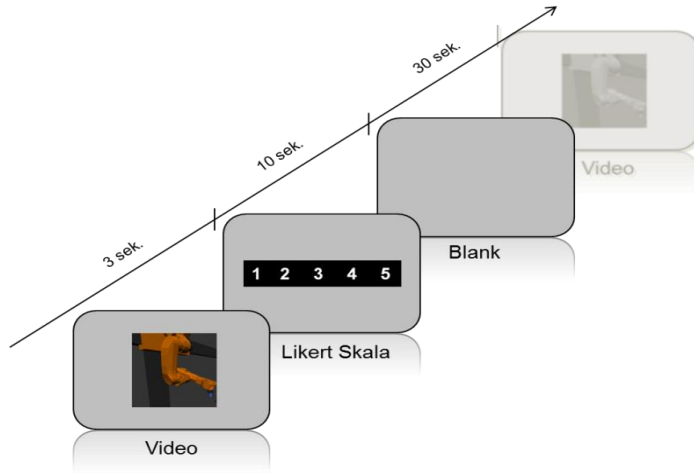


(b) Zielposition





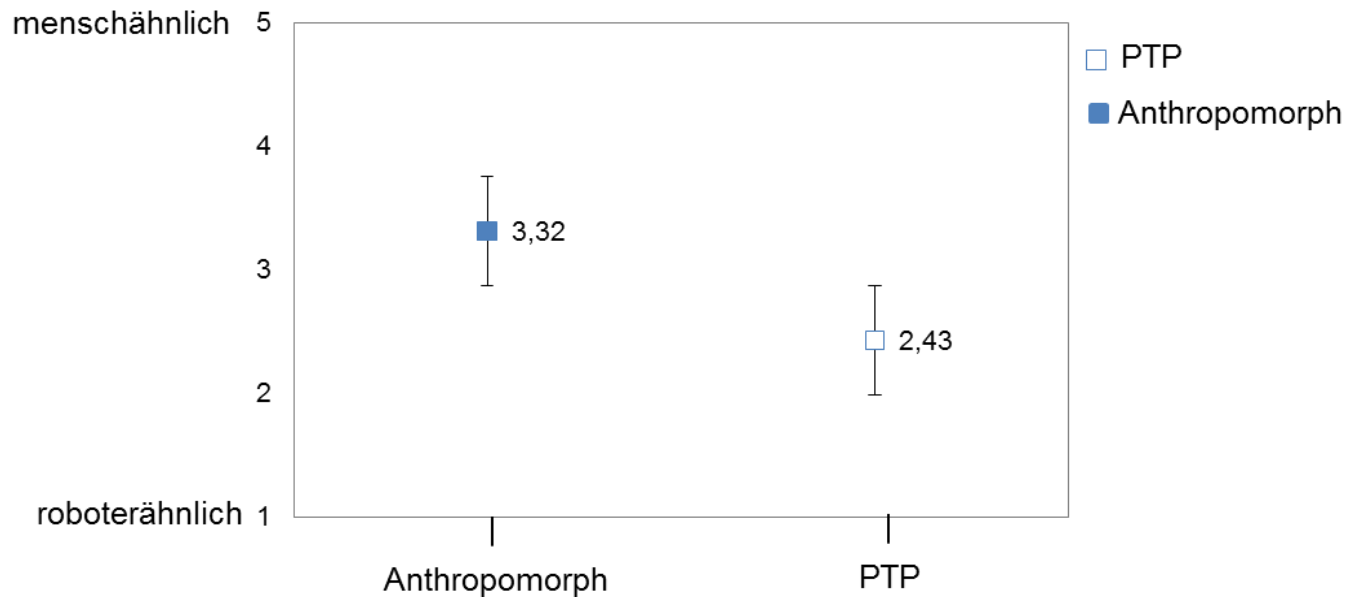
# Studie 3: Neurologische Validierung Prozedur



- Video mit dem virtuellen Modell des Knickarmroboters und der entsprechenden Bringbewegung
- Der wahrgenommene Anthropomorphismus der Bewegung (5-Punkte Likert-Skala)
- Ein starres Bild mit grauem Hintergrund

# Studie 3: Neurologische Validierung

## Ergebnisse (I)

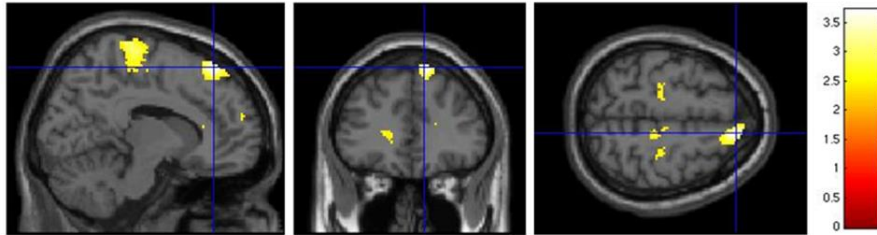


- Probanden bewerteten die Bewegung, getrennt nach antropomorph und PTP, mithilfe einer 5-Punkte Likert-Skala
- Anthropomorphe Bewegungen werden im Mittel als menschähnlicher und PTP-Bewegungen im Mittel roboterähnlicher bewertet
- Ergebnisse weichen signifikant voneinander ab ( $p \leq 0,001$ )

# Studie 3: Neurologische Validierung

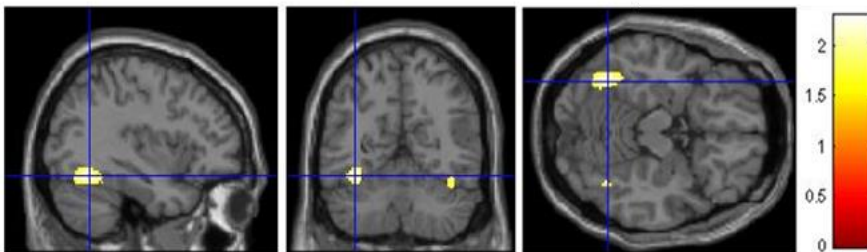
## Ergebnisse (II)

### PTP-Bewegungen



- Frontallappen
- **Keine bekannte Bewegung**
- Probanden haben versucht, die Bewegung zu verstehen, aber konnten keine Plausibilität oder Darstellung im eigenen Motorikrepertoire finden

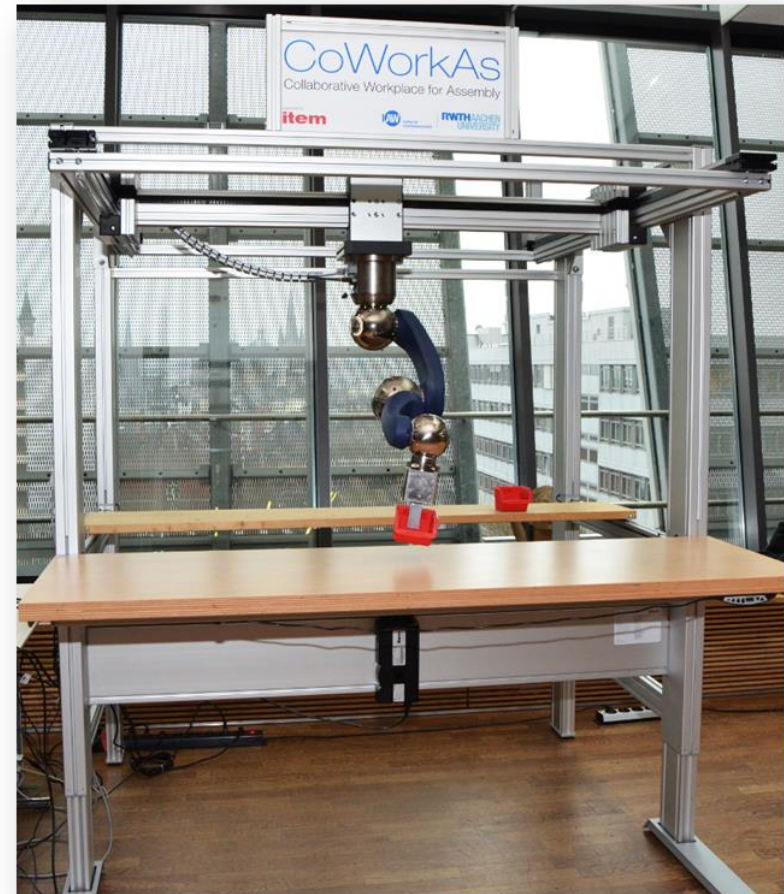
### Anthropomorphe Bewegungen



- Temporallappen, linke Gehirnhälfte im Hippocampus
- **Bekannte Bewegung**
- Die Ergebnisse bestätigen die Annahmen über anthropomorphe Bewegungen und deren Verbindung zu den Spiegelneuronen

# Zusammenfassung & Ausblick

- Menschähnliche Bewegungen führen zu einer
  - signifikant kürzeren Prädiktionszeiten
  - Genaueren Prädiktionsgenauigkeit
  - geringeren mentalen Beanspruchung
- Nachweis sowohl in Simulationsumgebung als auch an realer Montagezelle
- Untersuchungen von Anthropomorphismus in der direkten Mensch-Roboter-Interaktion
  - Montagearbeitsplatz für die MRK
  - menschähnliche Übergabeprozesse
  - Anbindung an die kognitive Montagezelle



# Danke!

**Sinem Kuz**

Stellv. Abteilungsleiterin Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme

Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen

Telefon: +49 241 80 99491

Mail: [s.kuz@iaw.rwth-aachen.de](mailto:s.kuz@iaw.rwth-aachen.de)