

Mensch-Roboter-Interaktion

Neue Wege und Möglichkeiten
für eine menschenzentrierte Technik

TU Berlin
Nachwuchsgruppe MTI-engAge
www.BioRobotikLabor.de
Dr.-Ing. Ivo Boblan

Inhalt

- Motivation und Stand der Technik
- Bewegung in Biologie und Lösung Muskel
- Roboter-Assistenzsysteme im BioRobotikLabor.de
 - ZAR5 – Humanoider Muskelroboter
 - BROMMI:TAK – Bionische Rüsselkinematik
 - KobotAERGO – Kooperierender Roboter mit MMS
- Forscher-Nachwuchsgruppe MTI-engAge

Motivation/Treiber, Situation, Ziele

1. Abnehmen schwerer und gefährlicher Arbeit
 - nah am Menschen -> ohne Schutzvorrichtung
2. Demographischer Wandel (Pflege, Montage, Heim/Service)
 - Arbeitnehmer ergonomisch entlasten -> Verschleiß verzögern
3. Selbstbestimmtes Leben und Arbeiten im Alter, Renteneintritt
 - ältere Arbeitnehmer unterstützen -> lebenswertere Zukunft

Neue Situation bei direkter MT(R)I:

- physischer Kontakt zw. Mensch und Roboter -> Schnittmenge

Ziel der F&E:

- Sicherheit für den Menschen, Technik passt sich an
- neben Funktion auch ergonomisch, intuitiv bedien-/benutzbar
- Menschen unterstützen, nicht ersetzen

Aktuelle Technik

vs.

Biologie

Statik

- Konstruktion: starr, steif
- Antriebe: starr, mit Getriebe
- Position: in den Achsen

Dynamik

- Aktoren: kraftvoll, schwer
- Sensoren: wenige, teure
- Regelung: zentral, schnell

- weich, elastisch, federnd
- nachgiebige (Zug-)Muskeln
- proximal zum Gelenk

- gewichtsbezogene Leistung
- redundant -> robust
- Bahn zentral, Reflexe lokal

- > Menschzentrierte Technik muss biologische Eigenschaften haben
- > Paradigmenwechsel: weich konstruieren und steif wie nötig regeln

Begriff Mensch-Roboter-Interaktion

Interaktion =

- Wechselseitiges Aufeinandereinfließen von Akteuren o. Systemen
- Dialog, der gestaltet werden muss
 - Dialog ist bidirektional z.B. „fühlen“ vs. „gefühl werden“
 - Wechselspiel zwischen geeigneten Sensoren und Aktoren
- Wahrnehmung, Kommunikation und Handlung
 - Biologie: 5 Sinne (Fühlen, Sehen, Hören, Riechen, Schmecken)
 - Technik: 1D/3D Sensoren physikal. Größen (Kraft, Weg etc.)
- Mensch-Roboter-Interaktion ist Dialog zw. Biologie und Technik

Begriff **Bionik** ist ein Kunstwort aus Biologie und Technik

- „Bionik verbindet ... Biologie und Technik mit dem Ziel, durch Abstraktion, Übertragung und Anwendung ... biologischer [Lösungen] ... technische Fragestellungen zu lösen.“ (VDI)
- VDI-RL Bionik VDI-6220, Bionische Roboter VDI-6222 (2012)

Drei Gründe aus der Biologie zu lernen

Menschliche Bewegungen und (Inter-)Aktionen sind für uns

- Natürlich, vertraut, vorhersagbar, intuitiv und ergonomisch
- > Technik entwickeln mit ähnlichen Eigenschaften, Verhalten

Was kennzeichnet Bewegung in der Natur?

1. Laufen über Extremitäten

Morphologie: leicht, optimiert (Kraftfluss)

- geringe Massen -> schnelle Bewegung
- lokale Verarbeitung -> kurze Reaktionszeit

2. Bewegung über Muskel-Sehnen-System

Physiologie: passiv weich, elastisch

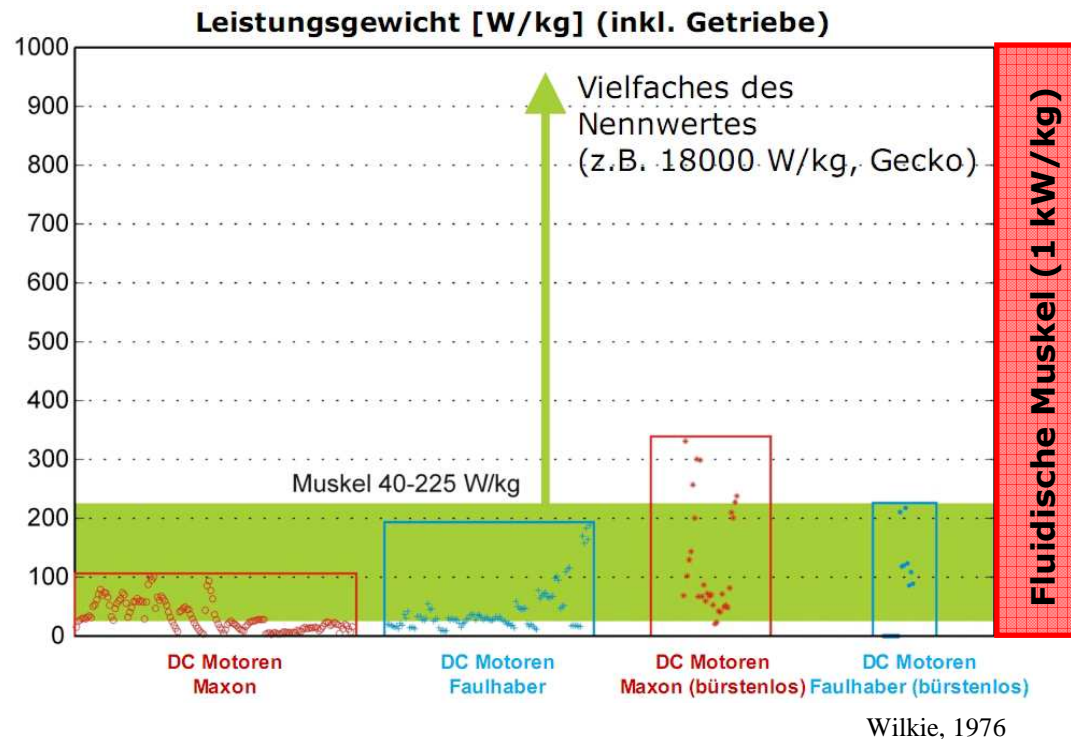
- einstellbar steif -> nachgiebige Bewegung
- antagonistische Verschaltung -> Tonus

3. Energie-Rückgewinnung über Elastizitäten

Energiespeicherung: so viel wie nötig

- Muskel-Sehnen-System -> persistent
- Bandscheiben -> temporär

Natürliche Muskeln vs. Elektrische Motoren vs. fluidische Muskeln



Fluidische Muskel:

- **inhärent passiv nachgiebig** für Kollision und Kontakt
- **einstellbar aktiv nachgiebig** für Bewegung und sichere MTI
- **hohe gewichtsbezogene Leistung** für Energie effiziente MTI
- ähnliche Eigenschaften und Verhalten wie natürliche Muskel

Fluidic Muscle: Verhältnisse, Modellbildung

Verhältnisse:

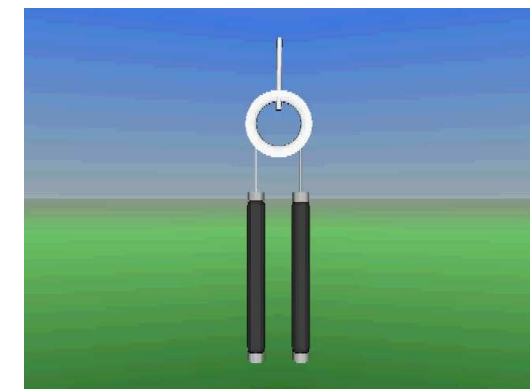
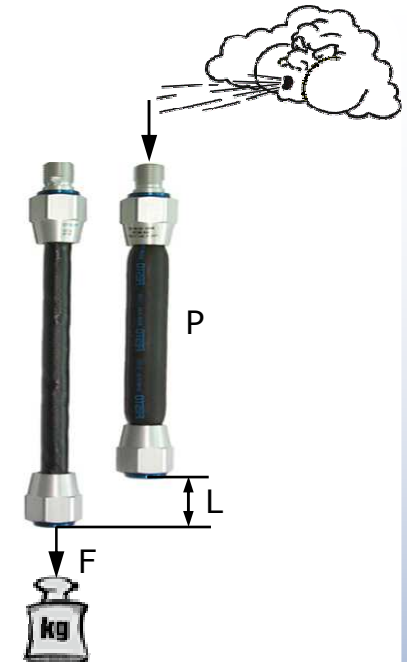
- Kraft \sim Durchmesser (DMSP-5, 10, 20, 40mm)
- Verkürzung \sim Ausgangslänge, Typ (25-35%)
- Steifigkeit \sim Luftdruck (0-8bar)

Teilmodelle:

- Ventiltechnik: Flussprozesse
- Muskel: Thermodyn., Geometrie, Kraftwirkung

Modell antagonistisches Muskelpaar:

$$\begin{bmatrix} \varphi \\ \dot{\varphi} \\ P_1 \\ P_2 \\ m_1 \\ m_2 \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \frac{1}{J} (-\delta\dot{\varphi} + (f(L_1, P_1) - f(L_2, P_2))r + MgR \cos(\varphi) + T) \\ \chi P_1 \left(\frac{\dot{m}_1}{m_1} - \frac{V'(L_1)}{V(L_1)} \dot{L}_1 \right) \\ \chi P_2 \left(\frac{\dot{m}_2}{m_2} - \frac{V'(L_2)}{V(L_2)} \dot{L}_2 \right) \\ u A_{valve} P_V \Psi_1(P_1) \\ -u A_{valve} P_V \Psi_2(P_2) \end{bmatrix}$$



www.BioRobotikLabor.de

Beispiel 1: ZAR - Humanoider Muskelroboter (Festo, TUB, EvoLogics)

ZAR5: „Zwei-Arm-Roboter“ Version 5

Torso: 2 Arme und 2 Fünffinger Hände

- 52 = $2 \cdot (10 + 16)$ fluidische Muskeln DMSP-5/10/20/40
- 104 Schaltventile MHE2/MH1
- 32 = $2 \cdot (11 + 5)$ Winkelsensoren KMZ41+UZZ9001
- 20 = $2 \cdot (10 + 0)$ Drucksensoren XFGM
- 8 = $2 \cdot (2 + 2)$ Mikrokontroller PIC18F458

-> Gewicht Torso: ca. 45 kg

Basis: rollend

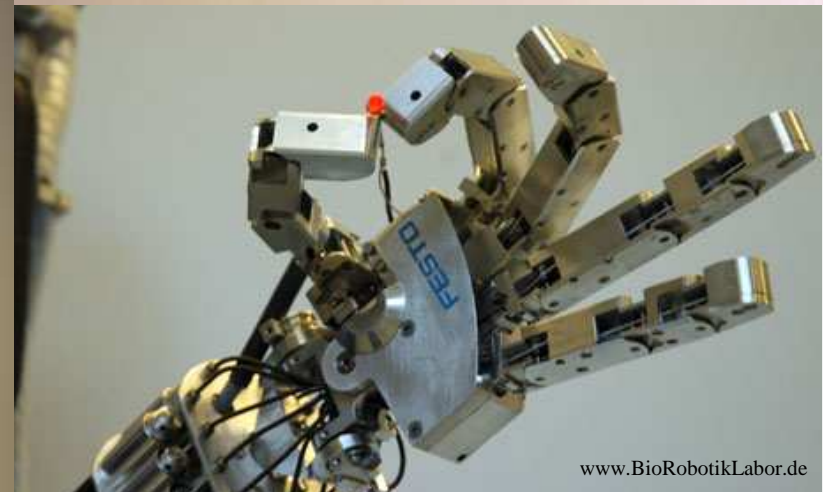
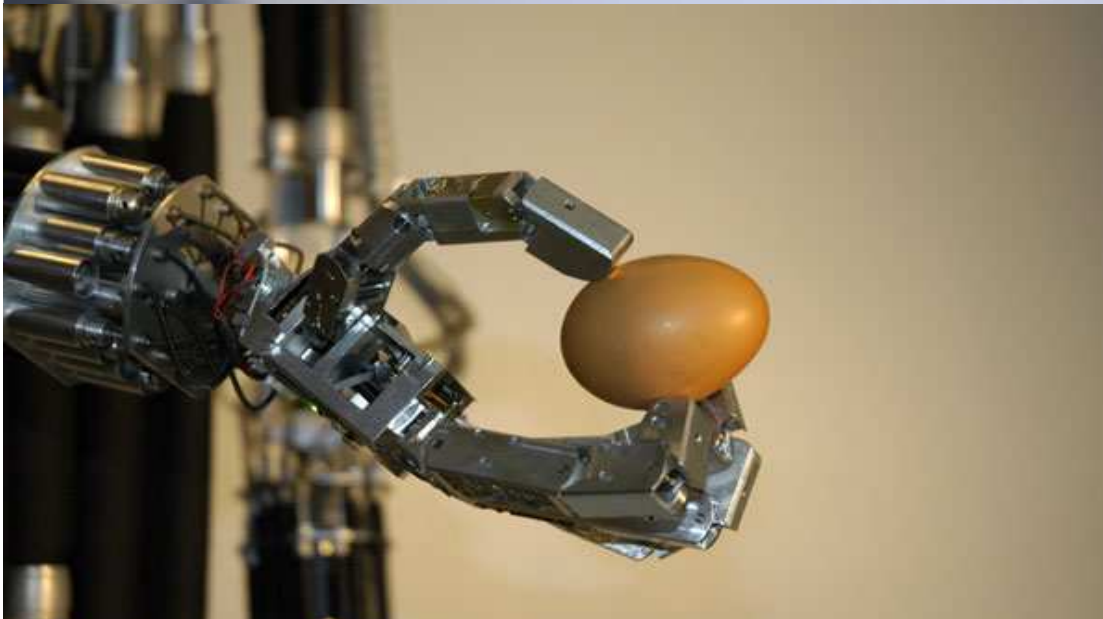
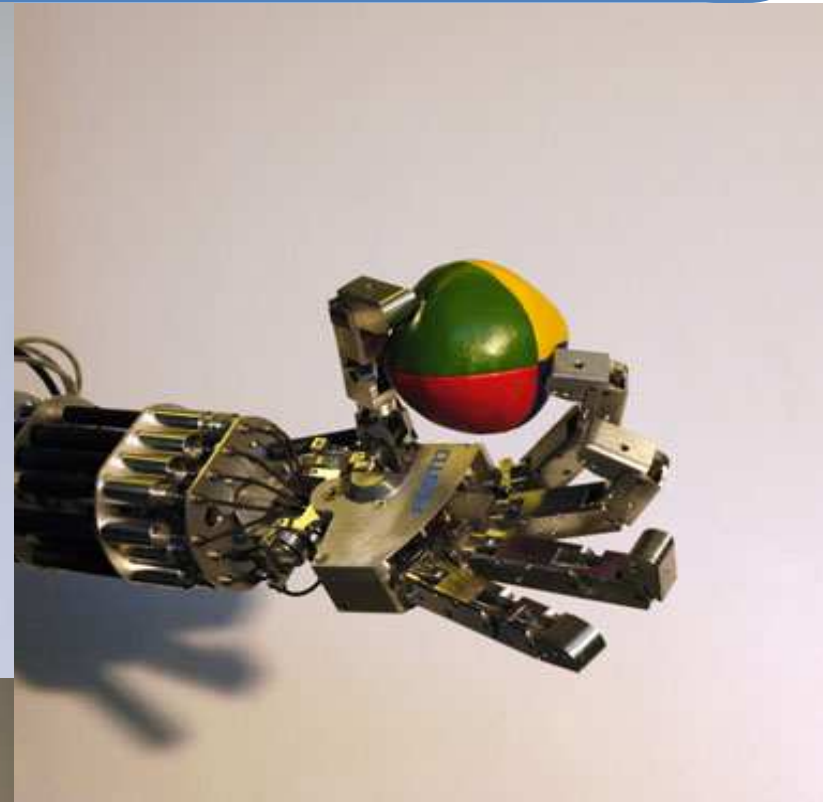
- PC, elektrische Versorgung, Ventile, Elektronik
- Signalkonverter für Daten-Anzug/Handschuhe
- Taucherflasche (16L, 200bar auf 8bar)

-> Gewicht Basis: ca. 40 kg

=> Mehr als 750 CNC gefräste Teile und Komponenten

Festo AG & Co. KG

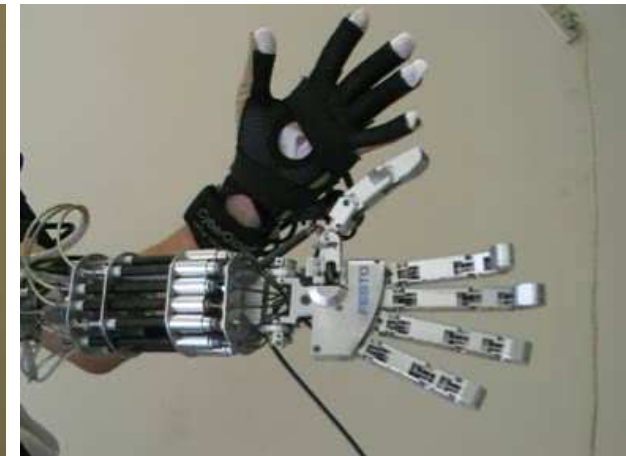
Beispiel 1: ZAR5 – Detailimpressionen der Fünffinger Hand



Beispiel 1: ZAR5 – Steuerung, Ergebnis, Videos

Steuerung des humanoiden Muskelroboters ZAR5

- Heute: über Daten-Anzug/Handschuh = Aktion durch Vormachen
- Morgen: über Gesten, Sprache, Berühren = intuitive MTI



www.BioRobotikLabor.de

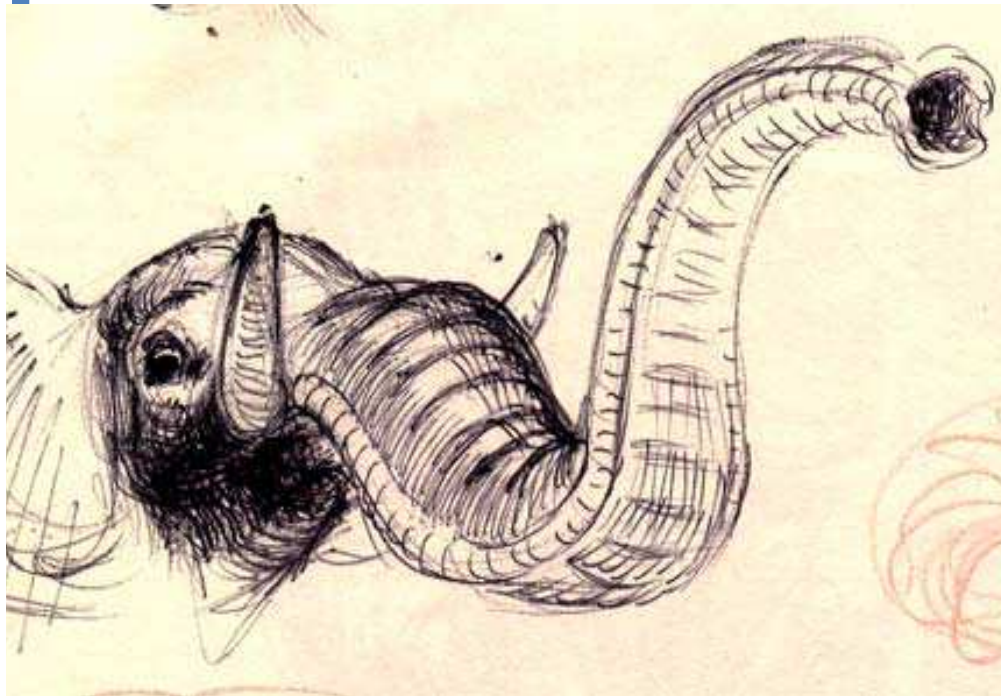
Weg 1: Nachgiebige Bewegungen durch künstliche Muskelaktoren

- Inhärente und aktiv einstellbar Nachgiebigkeit (je nach Situation)
-> (Antriebs-)Technik durch bionische Aktoren näher an Biologie
- Herausforderung: Kraft/Bewegung resultiert aus Druckluft

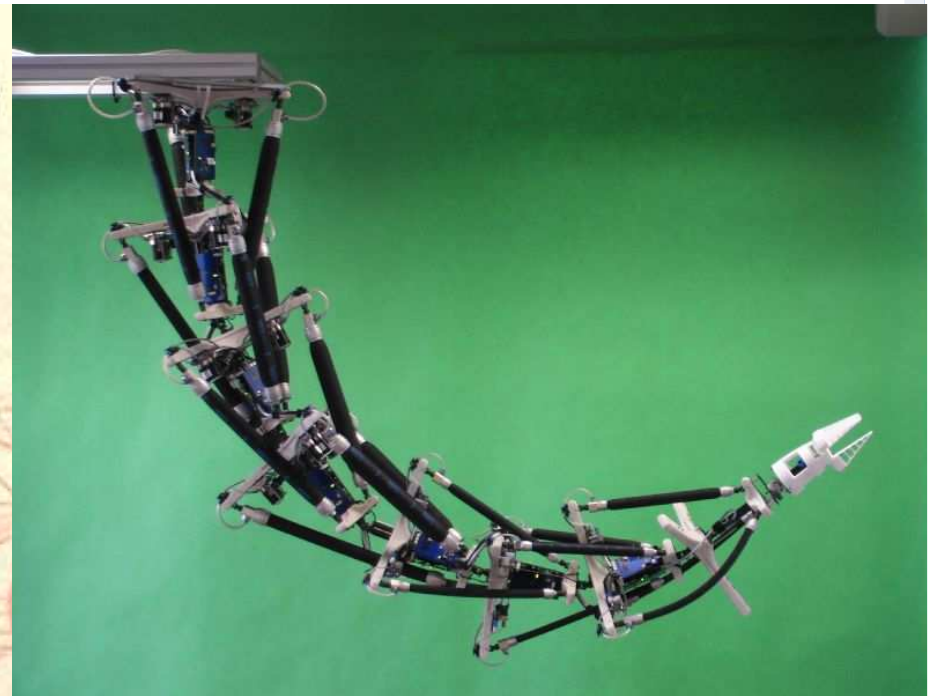
Beispiel 2: BROMMI:TAK – Bionische Rüsselkinematik

BROMMI: „Bionische Rüsselkinematik für sichere Roboter-
Anwendungen in der Mensch-Maschine-Interaktion“

TAK: „Tripedale Alternanzkaskade“



Lincoln Court mural, Derry (Londonderry) Northern Ireland, 2004



TU Berlin, U. Dahl

Beispiel 2: BROMMI:TAK – Motivation, Vorbild Elefant , Ziele

Motivation, Anforderungen

- Biologisches Vorbild: große Kräfte bei industriellen Proportionen

Ziele

- Redundante Kinematik: gelenkig, mehrdeutig und kostengünstig
- Muskulärer Antrieb: inhärent nachgiebig, variable Steifigkeit
- Hohe gewichtsbezogene Leistung: leicht, kraftvoll, effizient

Biologische Besonderheiten

- Muskulärer Hydrostat, keine Knochen: kontinuierliche Krümmung
- Trotzdem Vorzugsknickstelle: fungiert als Gelenk
 - weniger DOFs, energetisch günstiger, dort muskulär verstärkt

=> Technische Umsetzung: Muskel betriebene Gelenkkette

Beispiel 2: BROMMI:TAK – Aufbau

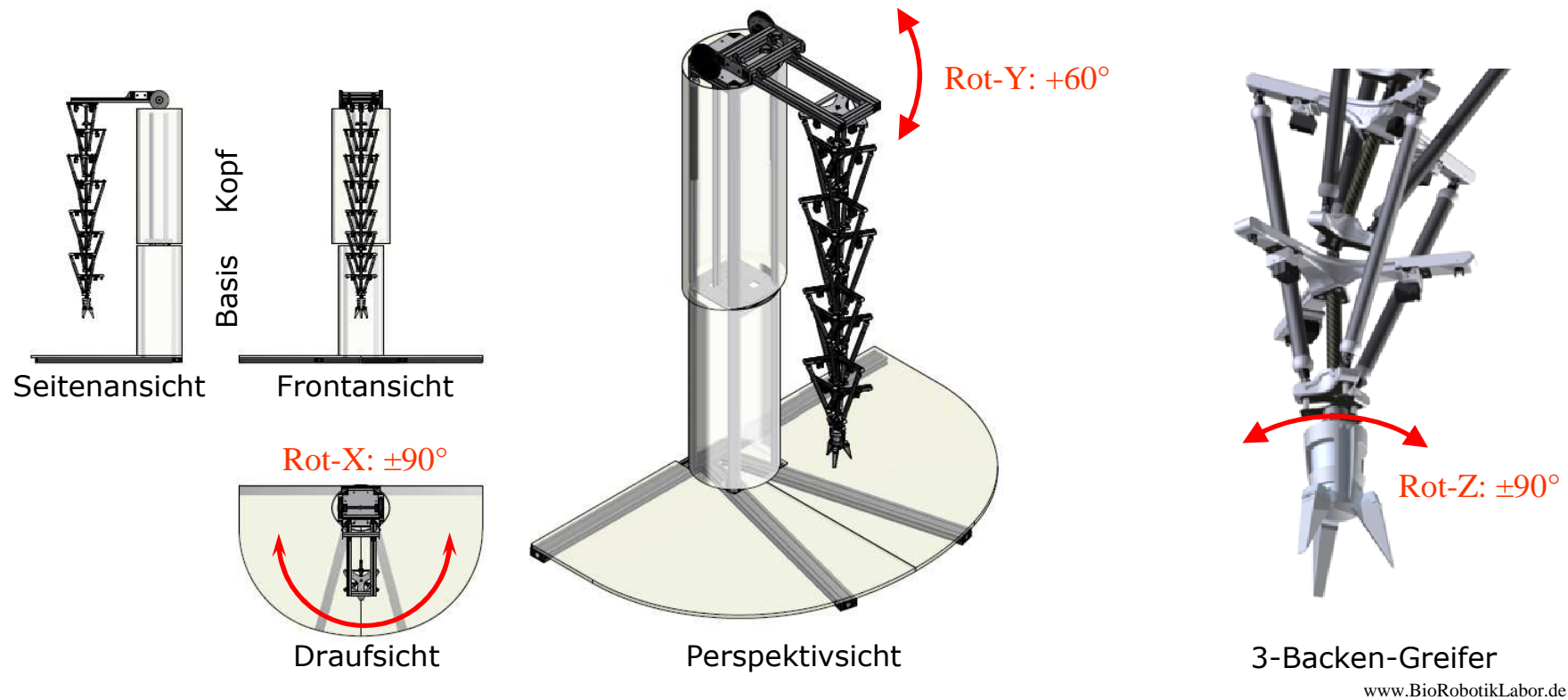
Rüssel: PA6 (SLS), Carbon, Federstahl, kerbspannungsfrei (SKO)

1. Kopf: horizontale X- und vertikale Y-Rotation (DMSP-40)

2. 7-Segment-Rüssel: je 2 Rotationen (4x DMSP-20, 3x DMSP-10)

3. Greifer: Z-Rotation und 3-Backen-FinRay[®] aus PA6 (SLS)

Gesamt: 27 Muskeln, 48 Ventile, 24 Mikrokontroller => **18 DOF**



Beispiel 2: BROMMI:TAK – Ergebnisse



Qualitativ:

- redundant, robust, organisch
- leicht, nachgiebig, weich, sicher

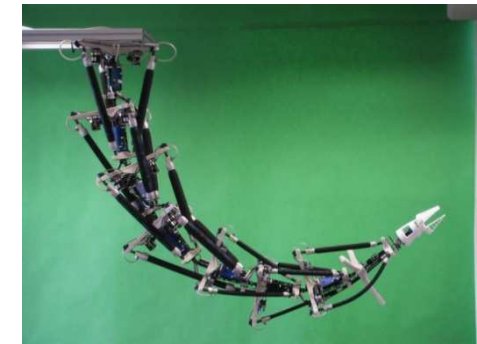
Technisch:

- Stellung im Raum durch Transformationen
 - Vorwärtsrechnung: Gelenk-Winkel -> Greifer-Koordinaten
 - Rückwärtsrechnung: Greifer-Koordinaten -> Gelenk-Winkel
- Stellung und Bewegung mit unterschiedlichen Qualitäten

Quantitativ:

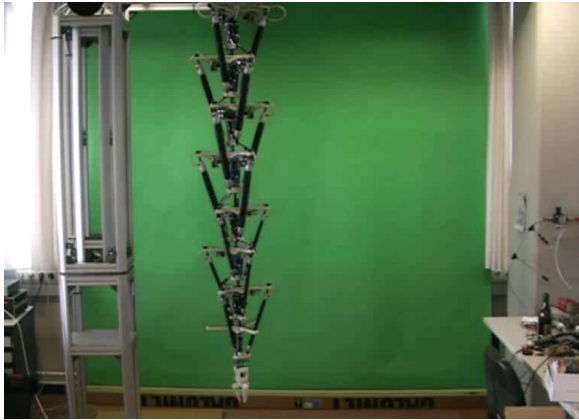
- Geschwindigkeit Greifer: 250mm/s (max. 1m/s)
- Positions-/Wiederholgenauigkeit: $\pm 15\text{mm}/\pm 5\text{mm}$
- Rüssel-Eigengewicht: 18kg (Elefantenrüssel 16kg)
- Handhabungsgewicht: bis 5,0kg horizontal haltend
- Elektr. Leistung Stand-by/Betrieb: 10W/50W + Druckluft
- Materialkosten: ca. 10TEuro

www.BioRobotikLabor.de



TU Berlin, U. Dahl

Beispiel 2: BROMMI:TAK – Ergebnis, Videos mit 250mm/s lt. BAuA



Test: Maximalwinkel mit 7 Seg. (2012)



Anwendung: Haushalt (2013)



Anwendung: Montage (2013)

www.BioRobotikLabor.de

Weg 1: Nachgiebige Bewegungen durch künstliche Muskelaktoren

- Nachgiebige Antriebe

Weg 2: Energie effiziente Bewegungen durch neue Materialien

- Kinematik-Materialien
 - Volumen: Kunststoff PA6 -> optim. nach Baumwachstum (SKO)
 - Funktion: Carbon, Federstahl -> Bruchfestigkeit, Biegesteifigkeit

Herausforderung

- Stabilisierung großer Hebelarme bei elastischen Systemen
- Erhöhung der Nachgiebigkeit der MRI bei steifen Systemen

Beispiel 3: KobotAERGO – Motivation, Problem, Ziel

KobotAERGO: „Adaptive kollaborative Roboter als altersangepasste Begleiter für ein ergonomisches und flexibles Material-Handling“

Motivation

- Unterstützung körperlich schwerer Arbeit (Heben, Schieben...)
- Präzision und Fachkunde bleibt beim Werker (Positionierung...)

Problem

- Weg-, Kraft- und Ruck-Übertragung zwischen Werker und Kobot

Ziel der TU Berlin

- Intuitive, menschenzentrierte Mensch-Maschine-Schnittstelle MMS

Titel: Mensch-Roboter-Interaktion ...

Neue Wege und Möglichkeiten für eine menschenzentrierte Technik

- **Weg 1:** Nachgiebige Bewegungen durch künstliche Muskelaktoren
 - **Nachgiebige Antriebe** -> mechanische Stoßaufnahme >3Hz
- **Weg 2:** Energie effiziente Bewegungen durch neue Materialien
 - **Leichtbau** -> Volumen-/Funktionsmaterialien (SLS), SKO
- **Weg 3:** sichere MRI durch Transformation physikalischer Größen
 - **Wertebereichsanpassung** -> mechan. Lösung, Ort beliebig

Vorgaben/Regeln für F&E von Systemen für sichere MT(R)I

- Technik muss sich an den Menschen anpassen
 - > Technikentwicklung für den Menschen
- Mensch entscheidet, was intuitiv und menschenzentriert ist
 - > Menschen der Gesellschaft in Technikentwicklung einbeziehen
- Interaktion = Wahrnehmung, Kommunikation und Handlung
 - > 5 Sinne, Austausch/Übertragung von Informationen, Aktion

MTI-engAge:

BMBF Förderprogramm: „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Forschungsschwerpunkt MTI für den demografischen Wandel“

MTI-engAge: „Sozio-technische Interaktion von Mensch und Roboter im Kontext des demographischen Wandels“

MTI-engAge: Bestandteile, Ziel

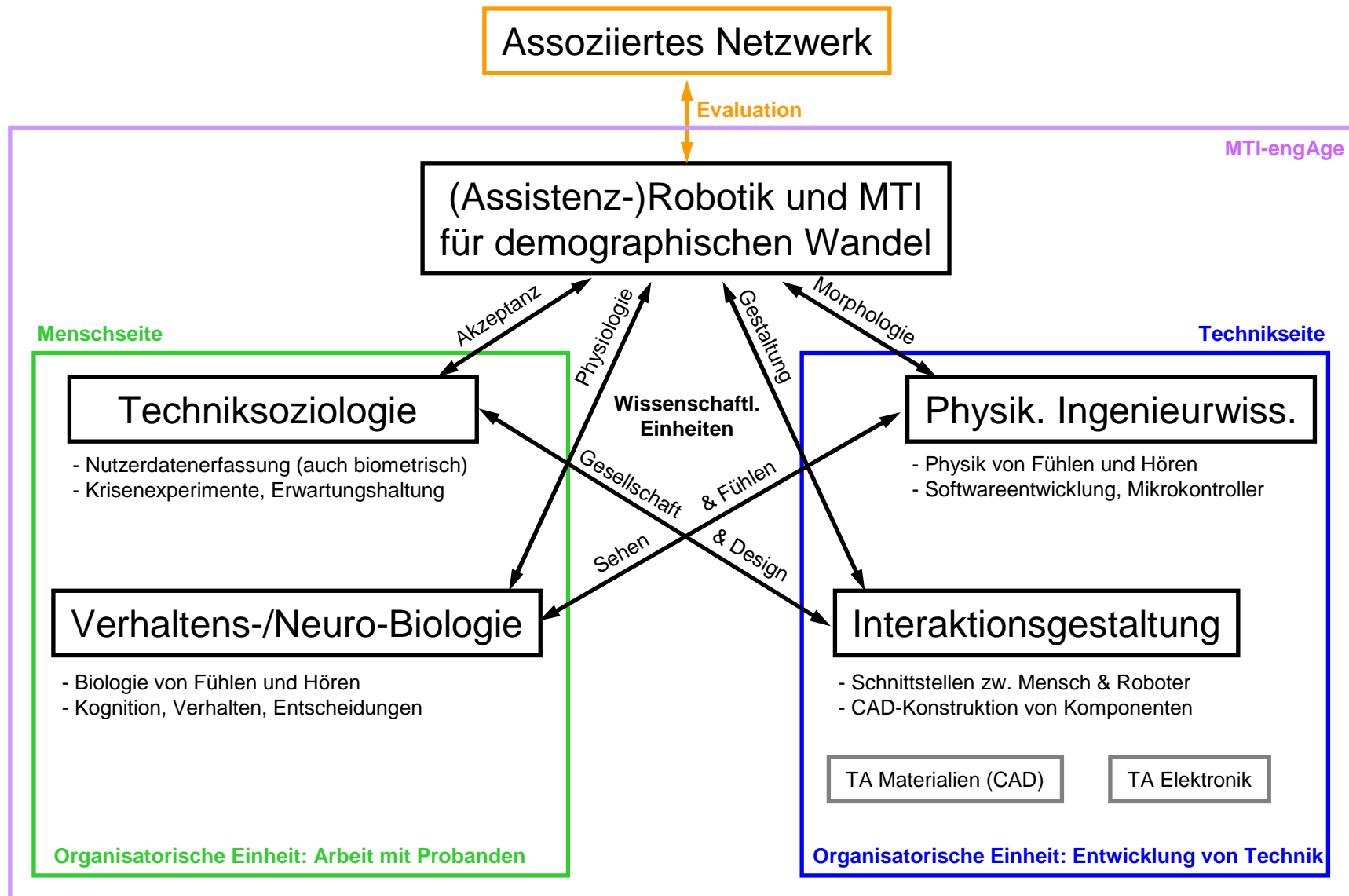
MTI-engAge: 3.3 Mio Euro über 5 Jahre besteht aus

- **Nachwuchsgruppe:** F&E für menschenzentrierte MRI
 - 5 Wissenschaftler, 2 Technische Angestellte, 5 stud. Mitarbeiter
- **MTI-FabLab:** Ideen- und Erfinderwerkstatt für jedermann
 - ZAR5, BROMMI:TAK, KobotAERGO + 5 kaufbare Robotersysteme
- **MTI-Netzwerk:** assoz. Netzwerk aus Industrie, Organ., Verbän.
 - VW, MetraLabs, Charite, BAuA, BAGSO, FST, BIODON u.a.

Forschungsgegenstand

- F&E für Mensch angepasste Technik (menschenzentriert)
 - Experimente mit Probanden aller Gesellschaftsschichten
- Interdisziplinäre Forschung für den demographischen Wandel
 - Techniksoziologie, Physik, Biologie, Interaktionsgestaltung, Ing.
- Sozio-technische Betrachtung für die Gesellschaft
 - Technik als vollwertiger sozialer Partner (Erwartungshaltung)
- Intuitive Wahrnehmung, Kommunikation und Handlung
 - geeignete Kombination aus Haptik, Akustik und Vision

MTI-engAge: Interdisziplinäre Aufgabenverteilung



www.BioRobotikLabor.de