Assistive Robotik

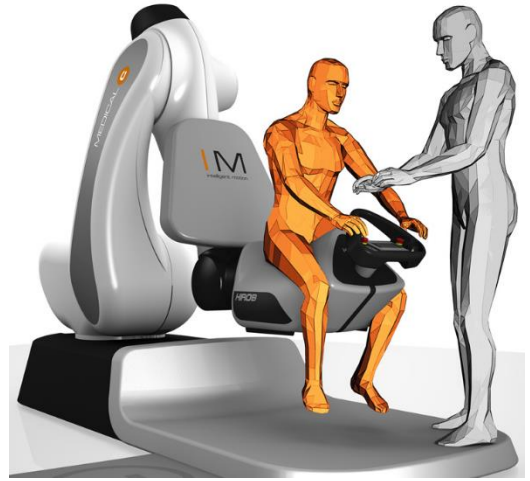
Steigerung der Lebensqualität durch intelligente und adaptive Systeme

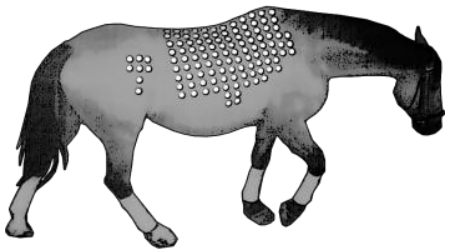
Active and Assisted Living - Hagenberg
14.11.2019

JOHANNES KEPLER UNIVERSITY LINZ

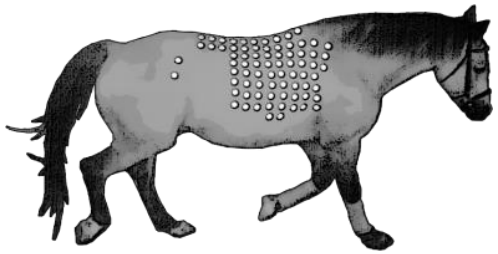
Reha-Roboter

- **Hippotherapie**: Reiten als Physiotherapie, Patient sitzt auf Pferderücken (Gangart: Schritt oder Trab)
- Robotische Hippotherapie
  - Kein echtes Pferd benötigt
  - Therapie in klinischen Umgebungen möglich
  - Hohe Wiederholgenauigkeit, adaptierbar (Bedürfnisse/Fähigkeiten Patient etc.)
- Voraussetzung für Therapieerfolg äquivalent zur klassischen Hippotherapie: möglichst realistische Pferdebewegung
- Motion Capture

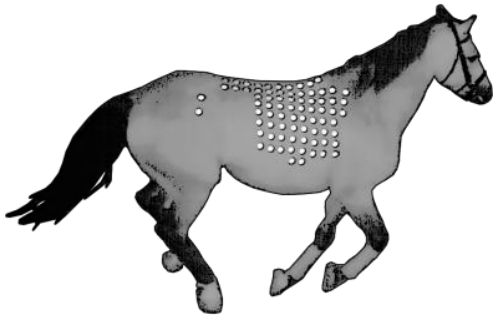




Schritt



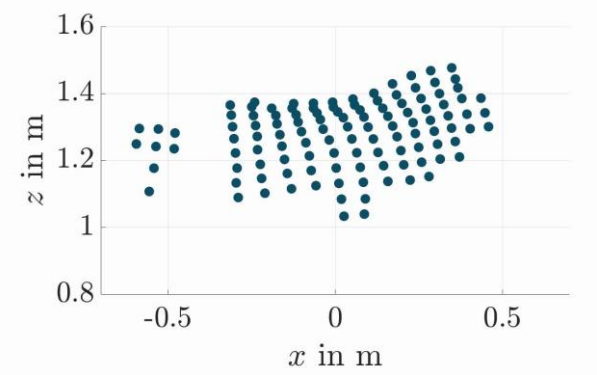
Trab

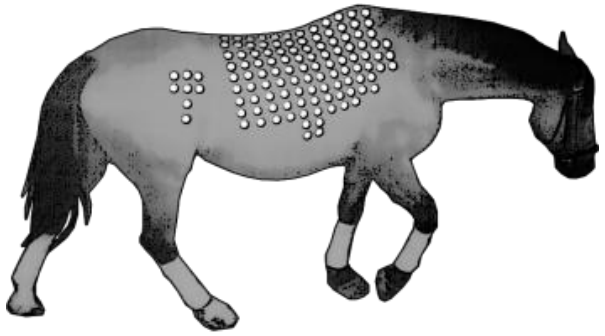


Galopp

Reha-Roboter

- Modellierung der Schrittarten als Starrkörperbewegung: Pferderücken ↔ Therapiesitz
- Markerauswahl
- Referenzpose: stehendes Pferd
- Least-Squares Rigid Motion, Fourier-Approximation

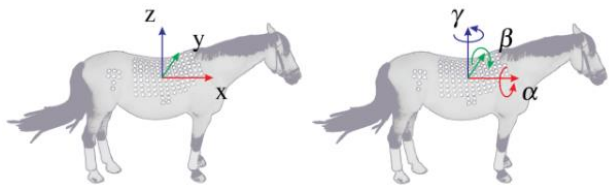


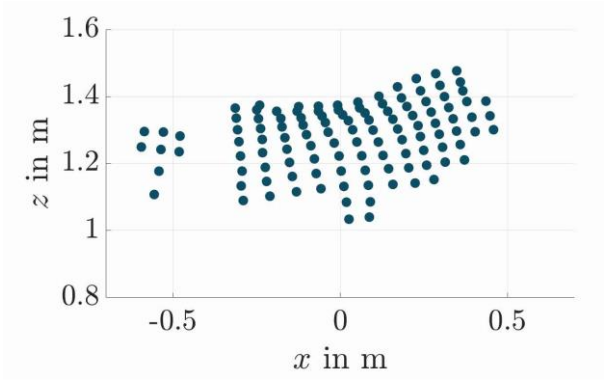


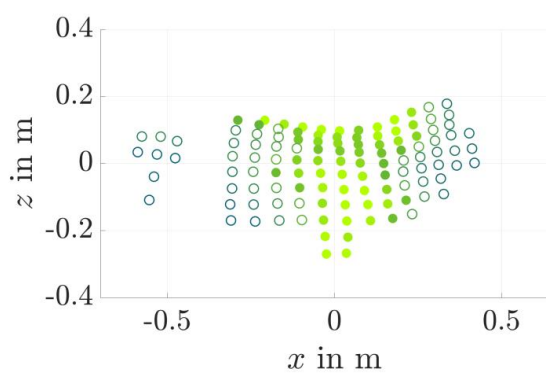
$$(\mathbf{R}_l, \mathbf{t}_l) = \underset{(\mathbf{R}_l, \mathbf{t}_l) \in SE(3)}{\arg\min} \sum_{i=1}^{n} w_i \| (\mathbf{R}_l \mathbf{p}_{i,l} + \mathbf{t}_l) - \mathbf{r}_i \|^2$$

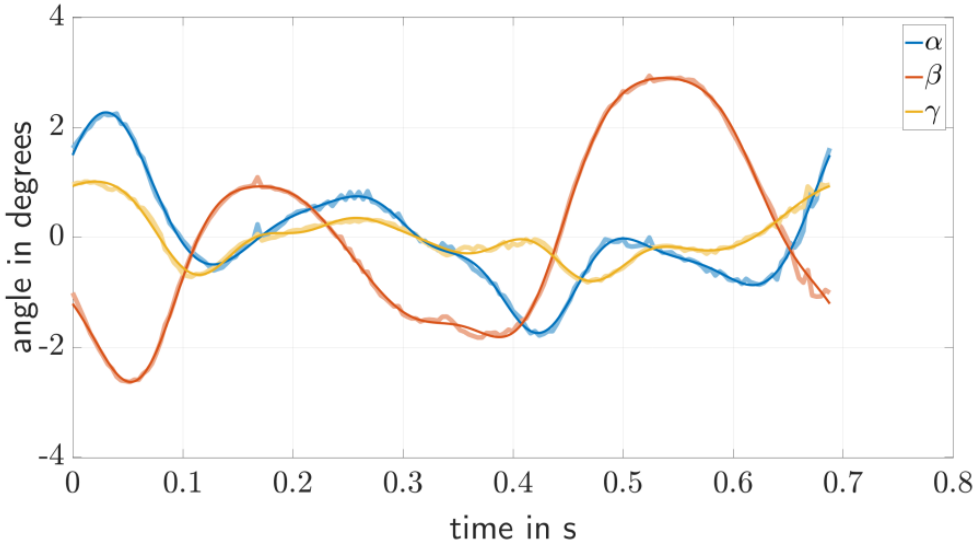
Reha-Roboter

- Modellierung der Schrittarten als Starrkörperbewegung: Pferderücken ↔ Therapiesitz
- Markerauswahl
- Referenzpose: stehendes Pferd
- Least-Squares Rigid Motion, Fourier-Approximation



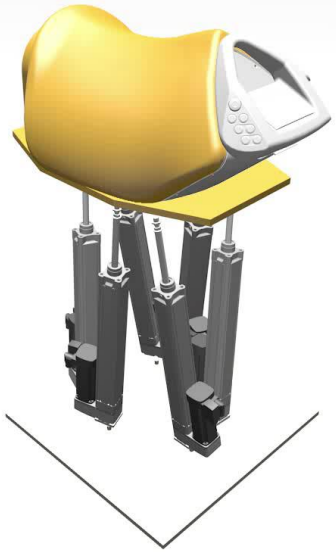




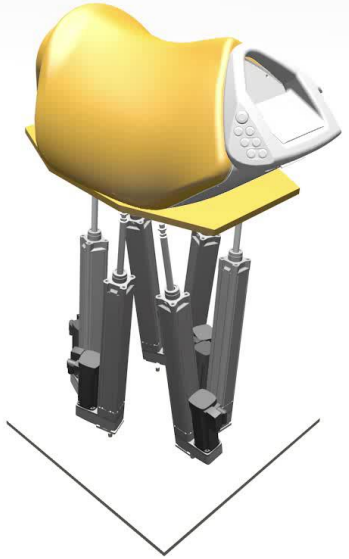


$$(\mathbf{R}_l, \mathbf{t}_l) = \underset{(\mathbf{R}_l, \mathbf{t}_l) \in SE(3)}{\arg\min} \sum_{i=1}^{n} w_i \|(\mathbf{R}_l \mathbf{p}_{i,l} + \mathbf{t}_l) - \mathbf{r}_i\|^2$$

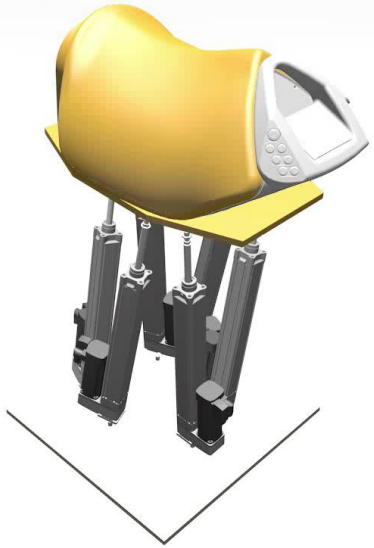
Reha-Roboter



Schritt



Trab



Galopp

Gangsimulator

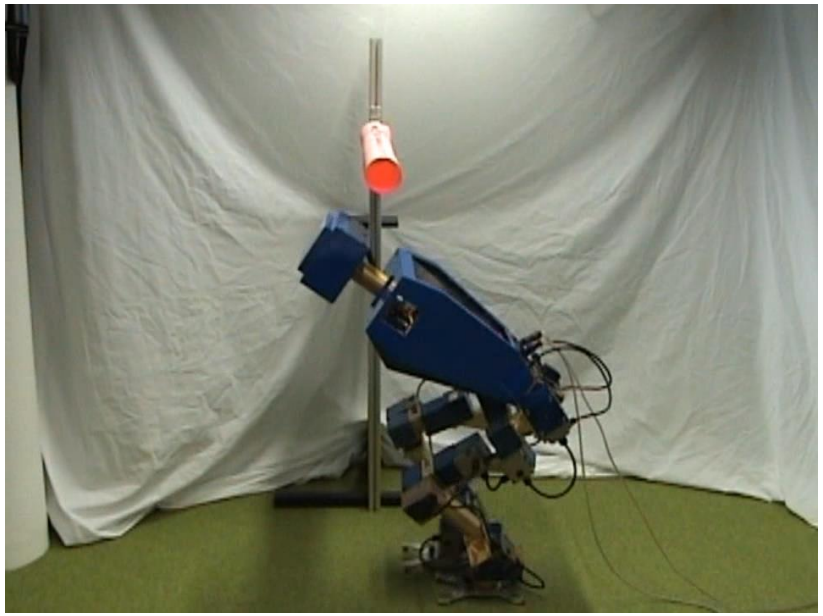
- Prüfmaschine zum Testen von Fußprothesen, Knieprothesen und Beinorthesen verschiedener Größen
- Reproduzierbare Kraftprofile bis 2500 N in 0.6 s Standphase
- Realitätsgetreue Schwungphasen in 0.4 s zum nächsten Kontakt
- Gehen über Ebenen, Stufen, Rampen und Schrägen
- System
  - Serielle Kinematik in Anlehnung an das menschliche Bein
  - Iterativ lernende Kraftregelung
  - Durch Abfahren des Kraftprofils: Identifikation der Prothesenparameter (z.B. Steifigkeitsmatrix)
  - Vergleichbarkeit verschiedener Prothesen

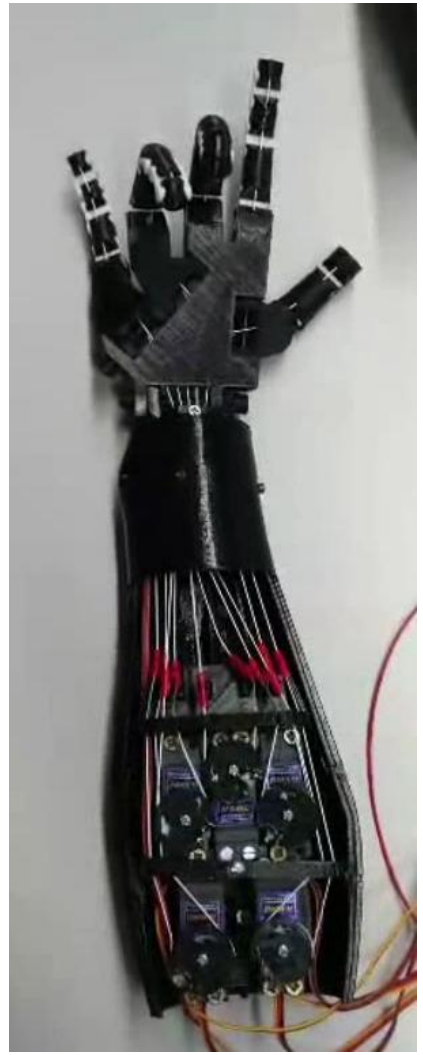
Humanoider Roboter

- Was ist ein humanoider Roboter?
  - Der menschlichen Gestalt nachempfunden, imitiert menschlichen Bewegungsapparat
- Wozu humanoide Roboter?
  - Höhere Flexibilität verglichen mit herkömmlichen Robotern
  - Bessere Integration in den menschlichen Lebensraum (Treppen, Türen, etc.)
  - Simulation/Nachahmung des menschlichen Körpers: besseres Verständnis desselben
- Forschungsthemen
  - Untersuchung der zweibeinigen Fortbewegung
  - Mensch-Maschine-Interaktion
  - Orthetik und Prothetik
  - Neuartige Regelungsmechanismen
  - Generierung stabiler Gangmuster
  - Autonome Navigation
  - …

Humanoider Roboter

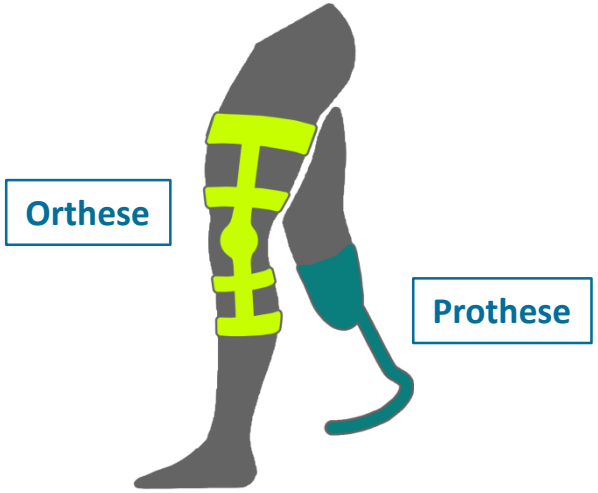
- Was ist ein humanoider Roboter?
  - Der menschlichen Gestalt nachempfunden, imitiert menschlichen Bewegungsapparat
- Wozu humanoide Roboter?
  - Höhere Flexibilität verglichen mit herkömmlichen Robotern
  - Bessere Integration in den menschlichen Lebensraum (Treppen, Türen, etc.)
  - Simulation/Nachahmung des menschlichen Körpers: besseres Verständnis desselben
- Forschungsthemen
  - Untersuchung der zweibeinigen Fortbewegung
  - Mensch-Maschine-Interaktion
  - Orthetik und Prothetik
  - Neuartige Regelungsmechanismen
  - Generierung stabiler Gangmuster
  - Autonome Navigation
  - …

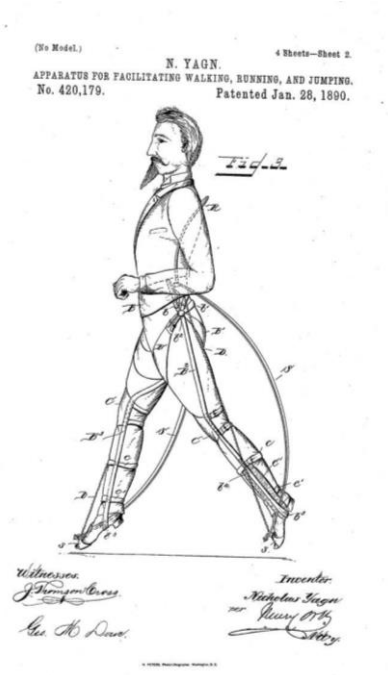


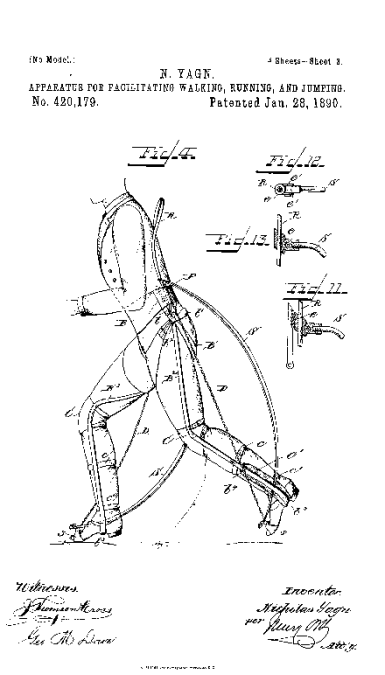


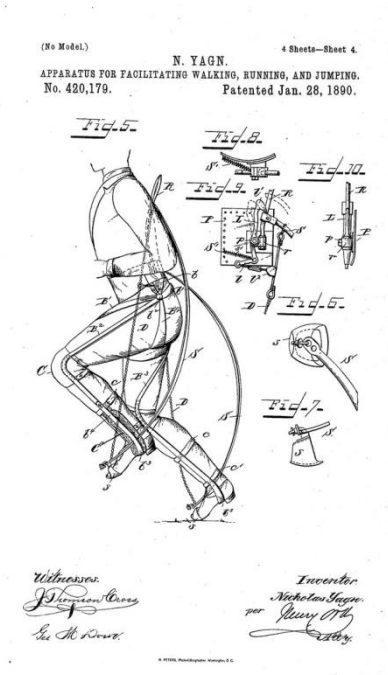
Exoskelett

- Etymologie: aus dem Altgriechischen, “**exos**“ → “*außen*“, “**skeletós**“ → “*getrockneter Körper, Mumie*“
- **Wearable robotic device:** *“A technology that extends, complements, substitutes or enhances human function and capability or empowers or replaces (a part of) the human limb where it is worn.“*
  (Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons, J. L. Pons, 2008)
- Definition beinhaltet Orthesen und Prothesen, Exoskelett: Orthese
- Eines der ersten Exoskelette bereits 1890: *„Apparatus for Facilitating Walking, Running and Jumping“*



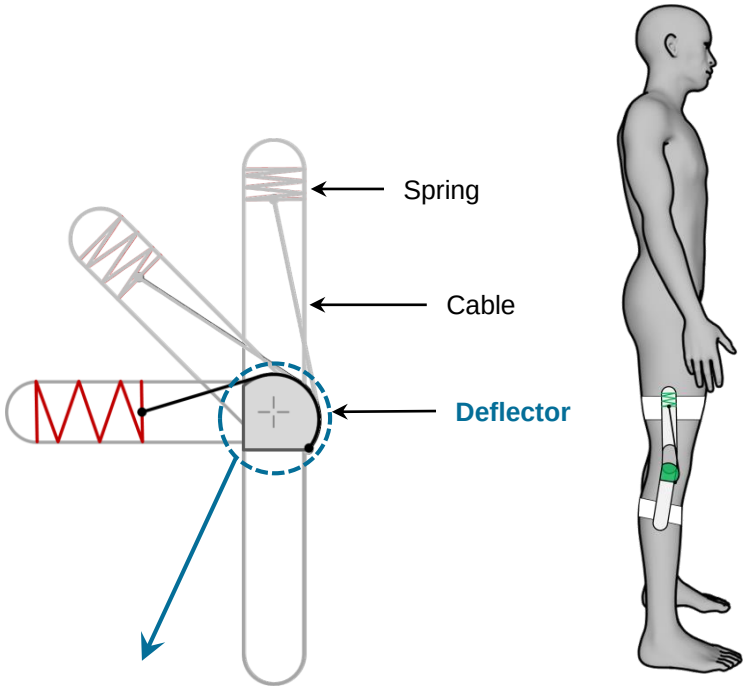


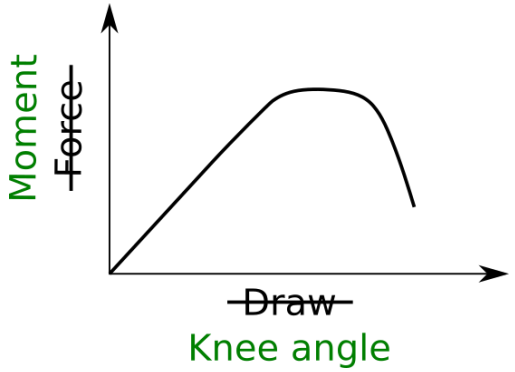


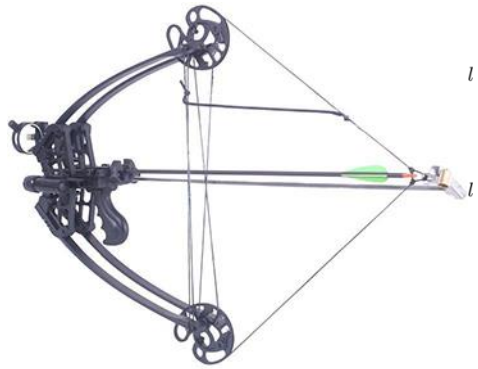


Exoskelett (passiv)

- Unterstützung der Sit-to-Stand Bewegung
  - Von der sitzenden in die stehende Position: ca. 60x pro Tag
  - Grundvoraussetzung für andere Aktivitäten des täglichen Lebens
- **Konzept:**
  - Energiespeicherung beim Hinsetzen (passiv-elastisches Element)
  - Wiederverwendung der gespeicherten Energie beim Aufstehen
  - Unterstützung der Knie-Extension
- Regulierung der Unterstützung
  - Spitzenmoment zwischen den Endpositionen
  - Reduziertes Risiko der ungewollten Kniestreckung
  - Reduzierte Beanspruchen Verriegelungsmechanismus
  - Erhöhte Sicherheit und Usability

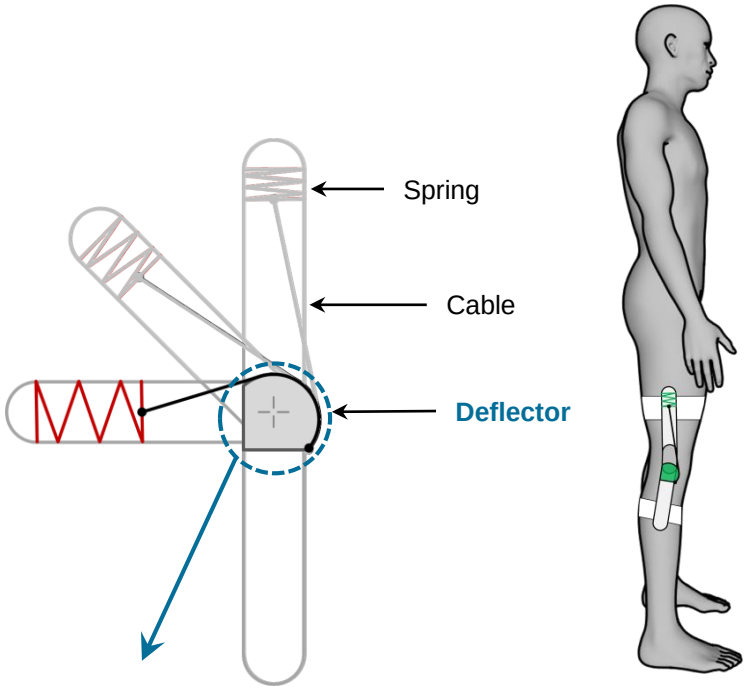


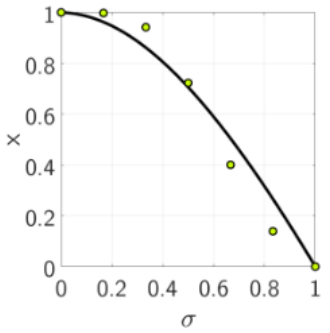


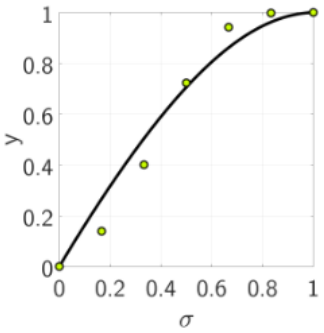


Exoskelett (passiv)

- Unterstützung der Sit-to-Stand Bewegung
  - Von der sitzenden in die stehende Position: ca. 60x pro Tag
  - Grundvoraussetzung für andere Aktivitäten des täglichen Lebens
- **Konzept:**
  - Energiespeicherung beim Hinsetzen (passiv-elastisches Element)
  - Wiederverwendung der gespeicherten Energie beim Aufstehen
  - Unterstützung der Knie-Extension
- Regulierung der Unterstützung
  - Spitzenmoment zwischen den Endpositionen
  - Reduziertes Risiko der ungewollten Kniestreckung
  - Reduzierte Beanspruchen Verriegelungsmechanismus
  - Erhöhte Sicherheit und Usability
- Optimierung der Deflektorgeometrie (B-splines)







$$\mathbf{c}_x(\sigma) = \sum_{l=0}^{n_D} N_{l,d}(\sigma)\mathbf{d}_{x,l}$$

$$\mathbf{c}_y(\sigma) = \sum_{l=0}^{n_D} N_{l,d}(\sigma)\mathbf{d}_{y,l}$$

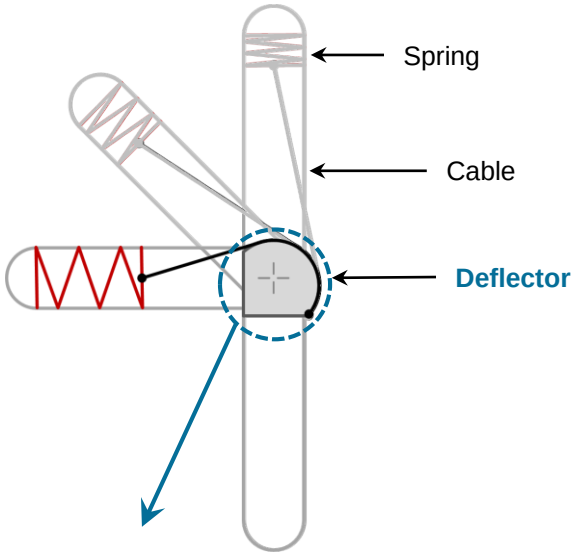
$$M = f(\mathbf{d}_x, \mathbf{d}_y, q)$$

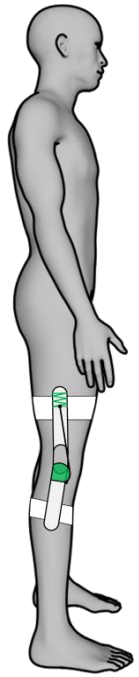
$\mathbf{d}_x, \mathbf{d}_x \ldots$ spline control points

$q \ldots$ knee angle

Exoskelett (passiv)

- Unterstützung der Sit-to-Stand Bewegung
  - Von der sitzenden in die stehende Position: ca. 60x pro Tag
  - Grundvoraussetzung für andere Aktivitäten des täglichen Lebens
- **Konzept:**
  - Energiespeicherung beim Hinsetzen (passiv-elastisches Element)
  - Wiederverwendung der gespeicherten Energie beim Aufstehen
  - Unterstützung der Knie-Extension
- Regulierung der Unterstützung
  - Spitzenmoment zwischen den Endpositionen
  - Reduziertes Risiko der ungewollten Kniestreckung
  - Reduzierte Beanspruchen Verriegelungsmechanismus
  - Erhöhte Sicherheit und Usability
- Optimierung der Deflektorgeometrie (B-splines)



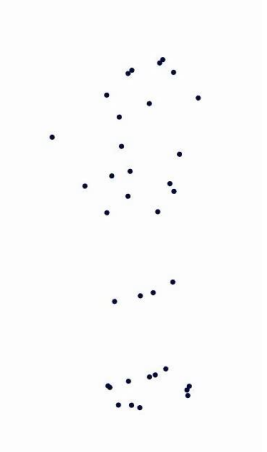


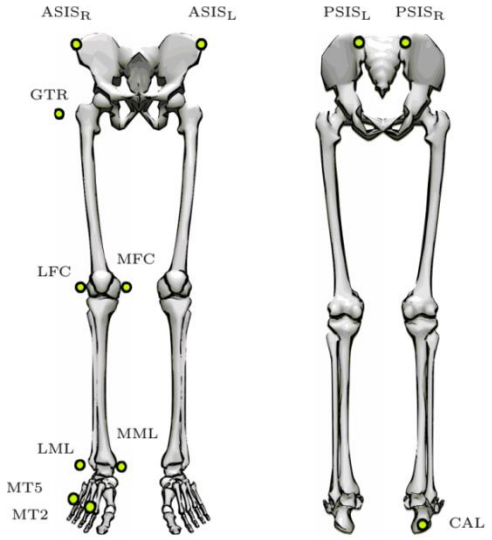
Exoskelett (aktiv)

- Motivation: alternde Gesellschaft, erhöhter Bedarf an Systemen zur Bewegungsassistenz/Rehabilitation
- Projektziele
  - Konstruktion eines Exoskelett-Prototypen als Testplattform
  - Entwicklung von Methoden zur adaptiven und intelligenten Bewegungsunterstützung
- Kernthemen
  - Kinematische und dynamische Modellierung des menschlichen Körpers
  - Erkennung der Bewegungsintention des Anwenders
  - Personalisierte Bewegungsplanung
  - Adaptive Regelungsstrategien
- Prototyp
  - Derzeit: 2 Antriebe, Flexion/Extension Hüfte
  - Geplant: gesamte untere Extremität

Bewegungsanalyse

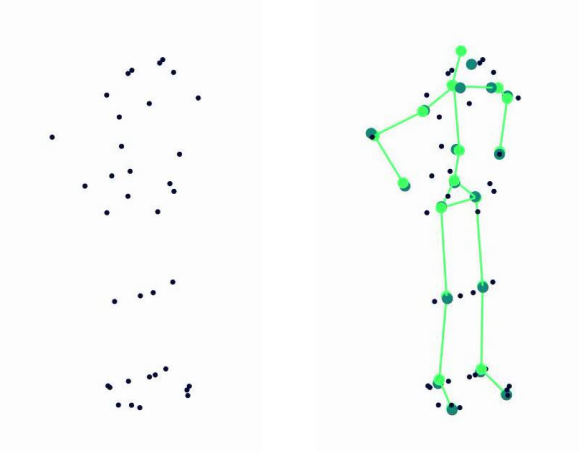
- Bsp. Gang: Untersuchung des Einflusses von Gehgeschwindigkeit, Geschlecht, Alter, ... auf das Gangbild
- Zur Erzeugung von künstlichen, aber physiologisch sinnvollen Gelenkstrajektorien
- Basis für Simulationen von Bewegungsassistenzsystemen und Algorithmen
- Grundlage: (markerbasiertes) Motion Capture, kinematisches Modell

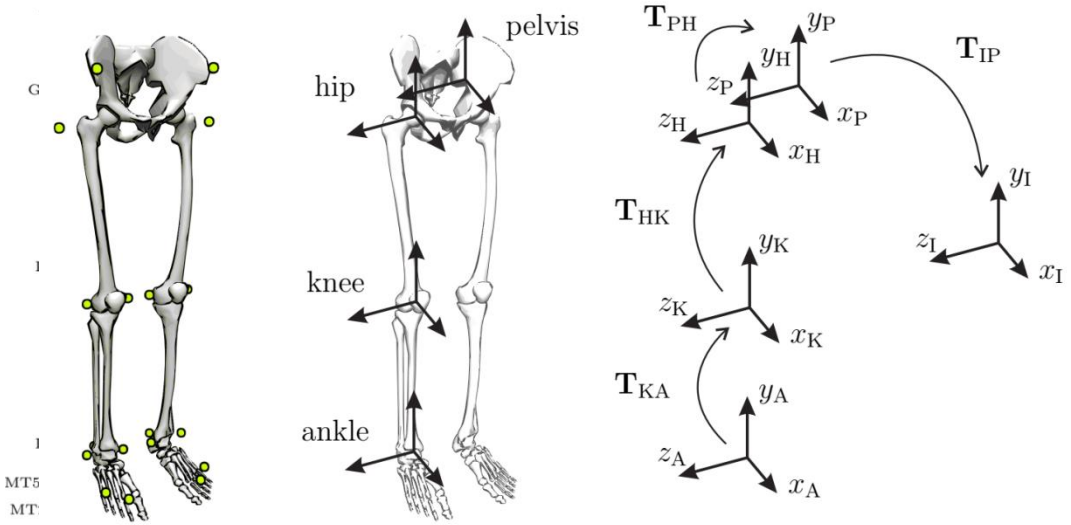




Bewegungsanalyse

- Bsp. Gang: Untersuchung des Einflusses von Gehgeschwindigkeit, Geschlecht, Alter, … auf das Gangbild
- Zur Erzeugung von künstlichen, aber physiologisch sinnvollen Gelenkstrajektorien
- Basis für Simulationen von Bewegungsassistenzsystemen und Algorithmen
- Grundlage: (markerbasiertes) Motion Capture, kinematisches Modell
- Geometrische Parameter $\boldsymbol{\pi}_g$, Trajektorienparameter $\boldsymbol{\pi}_t$, $\boldsymbol{\pi} = [\boldsymbol{\pi}_t^\mathsf{T}, \boldsymbol{\pi}_g^\mathsf{T}]^\mathsf{T}$



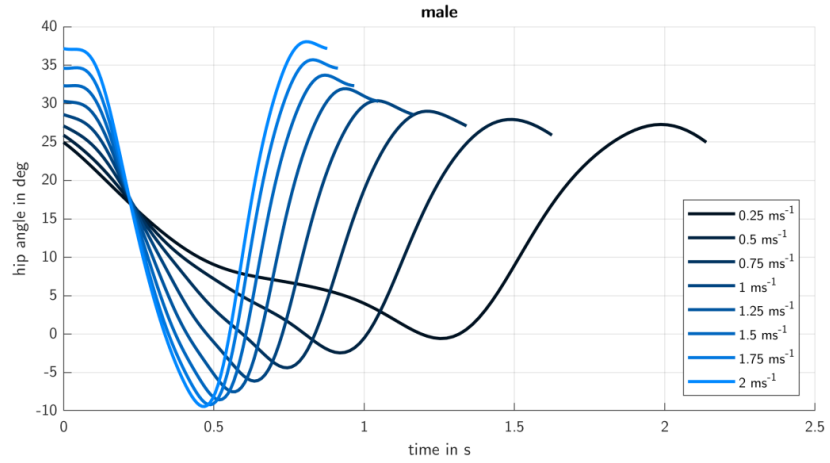


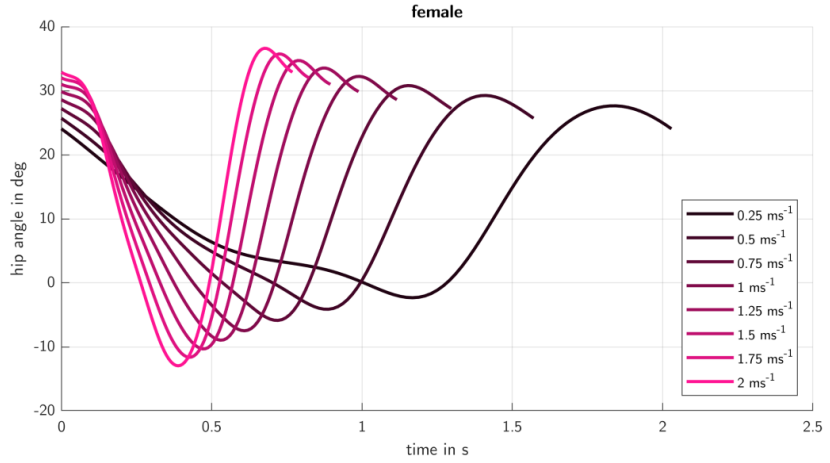
$$\boldsymbol{\pi}^* = \arg\min_{\boldsymbol{\pi}} \sum_{s=1}^{S} \sum_{n=1}^{N_s} \sum_{m=1}^{M} w_m (\mathbf{m}_{m,n,s} - \hat{\mathbf{m}}_{m,n,s}(\boldsymbol{\pi}))^2$$

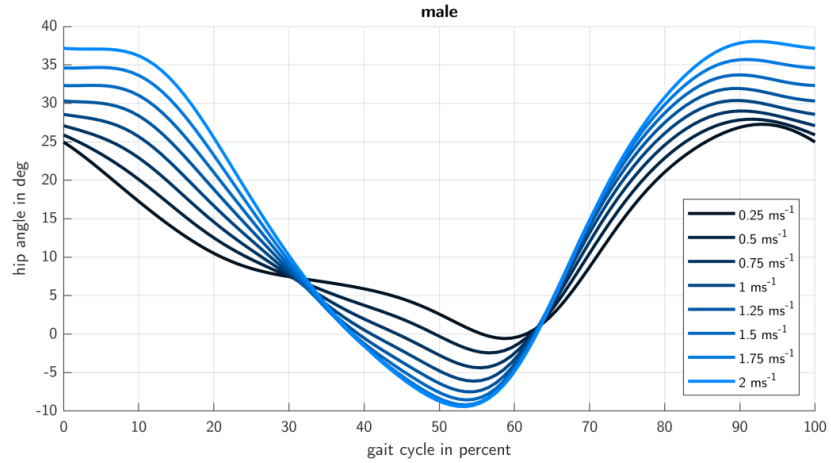
w_m	marker weight
$\mathbf{m}_{m,n,s}$	measured marker position
$\hat{\mathbf{m}}_{m,n,s}(\boldsymbol{\pi})$	estimated marker position
M	markers
N_s	cycle samples
S	movement cycles

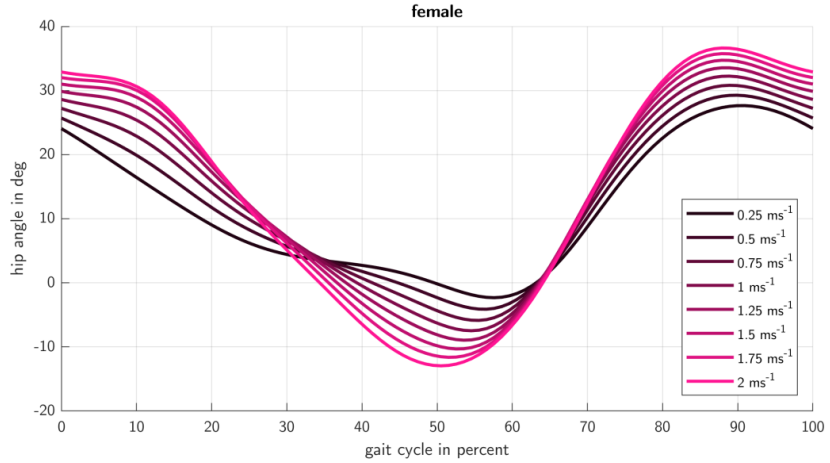
Bewegungssynthese

- Bsp. Gang: Hüftwinkelverlauf basierend auf Gehgeschwindigkeit und Geschlecht





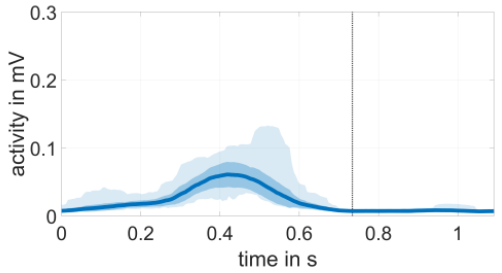




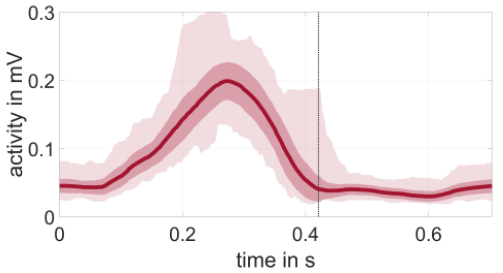
Bewegungsunterstützung

- Robuste **Erkennung der Bewegungsabsicht**: Klassifikation von Bewegungen und Bewegungsübergängen
- Akkurates **Timing der Unterstützung**: Klassifikation von Bewegungsphasen (z.B. Gangphasen)

Stance Phase					Swing Phase		
0% IC	0-12% LR	12-31% MSt	31-50% TSt	50-62% PSw	62-75% ISw	75-87% MSw	87-100% TSw

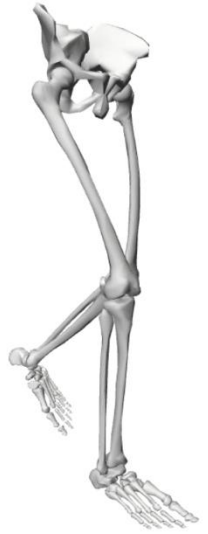


Musculus soleus: 1.0 m/s



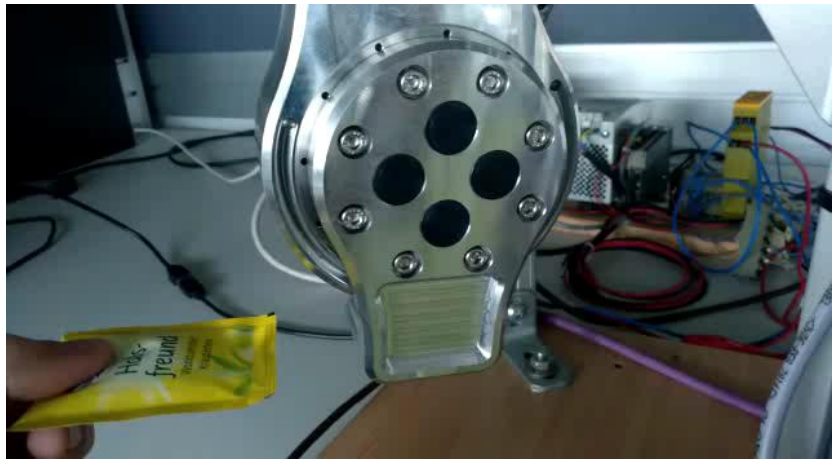
Musculus soleus: 2.0 m/s

- Beispiel: Support Vector Machines
  - Klassifikation von Gangphasen anhand von EMG Signalen
- Beispiel: Adaptive Oszillatoren
  - Lernen von (quasi-)periodischen Bewegungen
  - System erlernt zur Laufzeit das aktuelle Gangmuster
  - Unterstützung kann entsprechend angepasst werden



Demo

Bewegungssynthese
(Hüfttrajektorie)



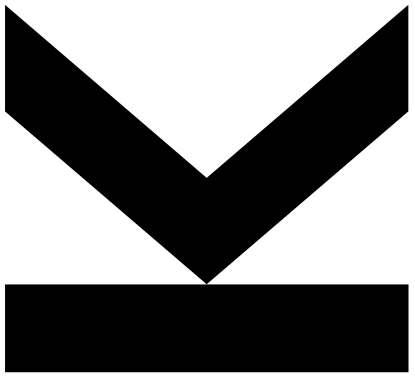
Transparenter Modus

Lernen von Bewegungen
(Adaptive Oszillatoren)

JOHANNES KEPLER
UNIVERSITY LINZ

LINZ INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

Danke für die Aufmerksamkeit!



FERROBOTICS
perfect feeling

intelligent motion

ottobock.

JOHANNES KEPLER
UNIVERSITY LINZ
Altenberger Straße 69
4040 Linz, Austria
jku.at