

50 Jahre Paraplegiologie REHAB Basel  
Basel, 22. Juni 2017

# Gangrehabilitation heute und morgen – wie die Technik den Menschen unterstützt

**Prof. Dr.-Ing. Robert Riener**

**Labor für Sensomotorische Systeme**

Institut für Robotik und Intelligente Systeme, ETH Zürich  
Universitätsklinik Balgrist, Universität Zürich

**ETH** zürich  
Der **Balgrist**

# Labor für Sensomotorische Systeme

ETH Zürich



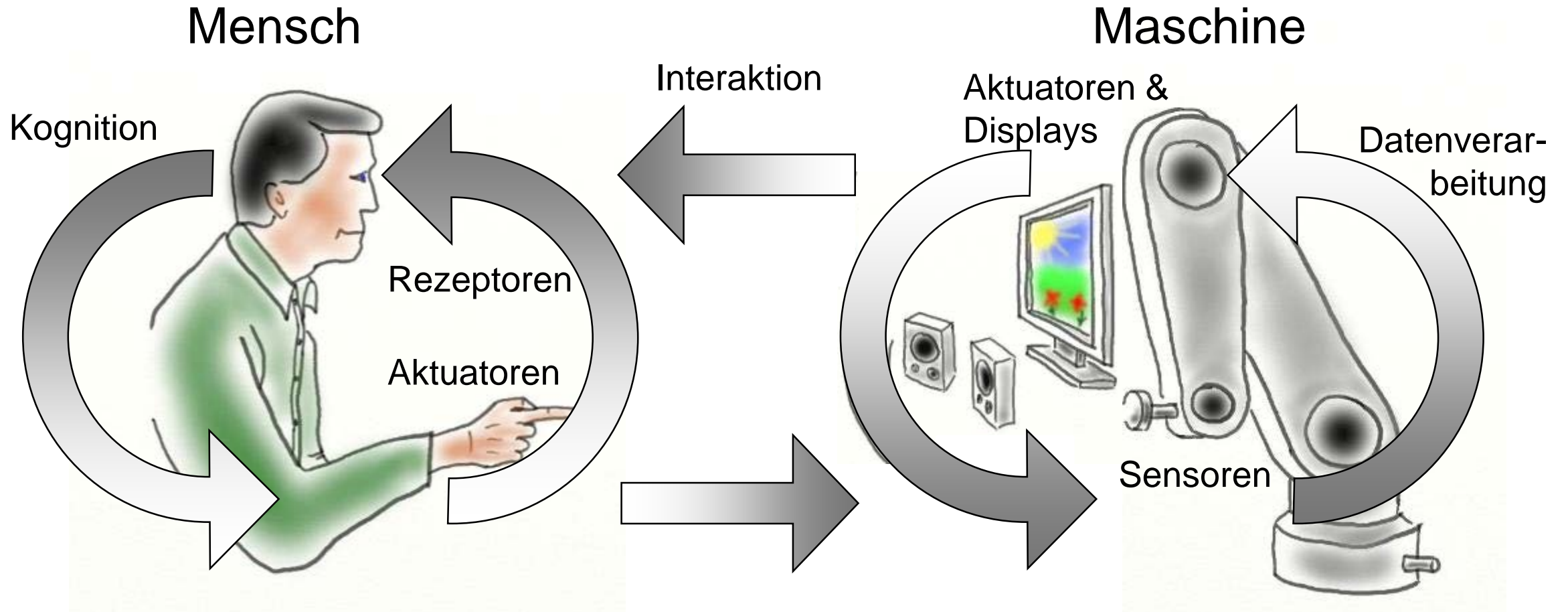
Institut für Robotik  
und Intelligente Systeme

Universitätsklinik Balgrist



Balgrist Campus  
Forschung Paraplegikerzentrum

# Labor für Sensomotorische Systeme



Anwendungen: Therapie, Hilfsmittel, Sport, Schlafforschung

# Beispiel SMS Projekt: Armtherapieroboter ARMin



# Robotik in der Rehabilitation

## Beispiel Schlaganfall

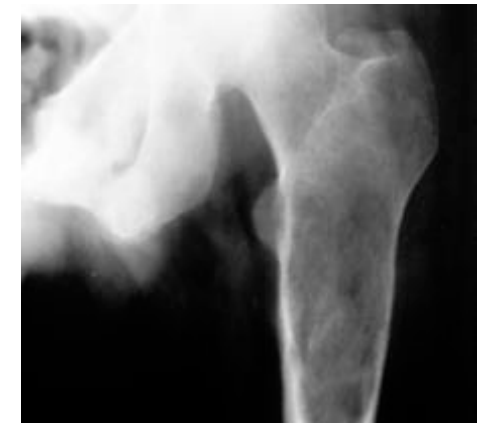
- Schweiz:  
~ 16'000 neue Fälle/Jahr year
- Altersbedingte Zunahme



# Schlaganfall

## Sekundärkomplikationen

- Muskelathrophie
- Kardiopulmonarprobleme
- Druckgeschwüre
- Osteoporose
- Inkontinenz
- Hohe Mortalität





**Mehr als 90%**  
**der Zeit inaktiv**

# Aktivität von Kleinkindern

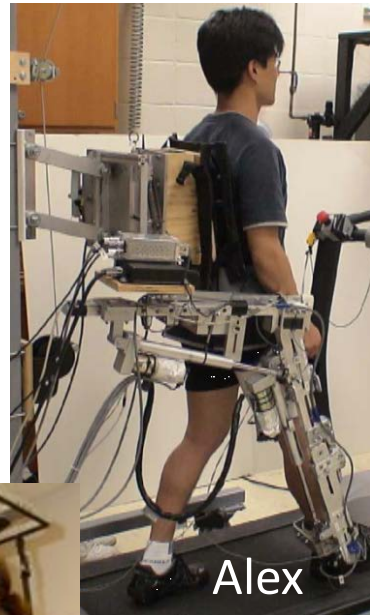
Kleinkinder üben sehr viel

- Von 0 bis 12 Monaten:  
ca. 33% der Zeit aktiv  
(geschätzt von Iglowstein et al. 2003)
- Von 12 bis to 19 Monaten:  
ca. 420'000 Schritte pro Monat  
(Adolph et al. 2012)





# Robotik in der Gangrehabilitation

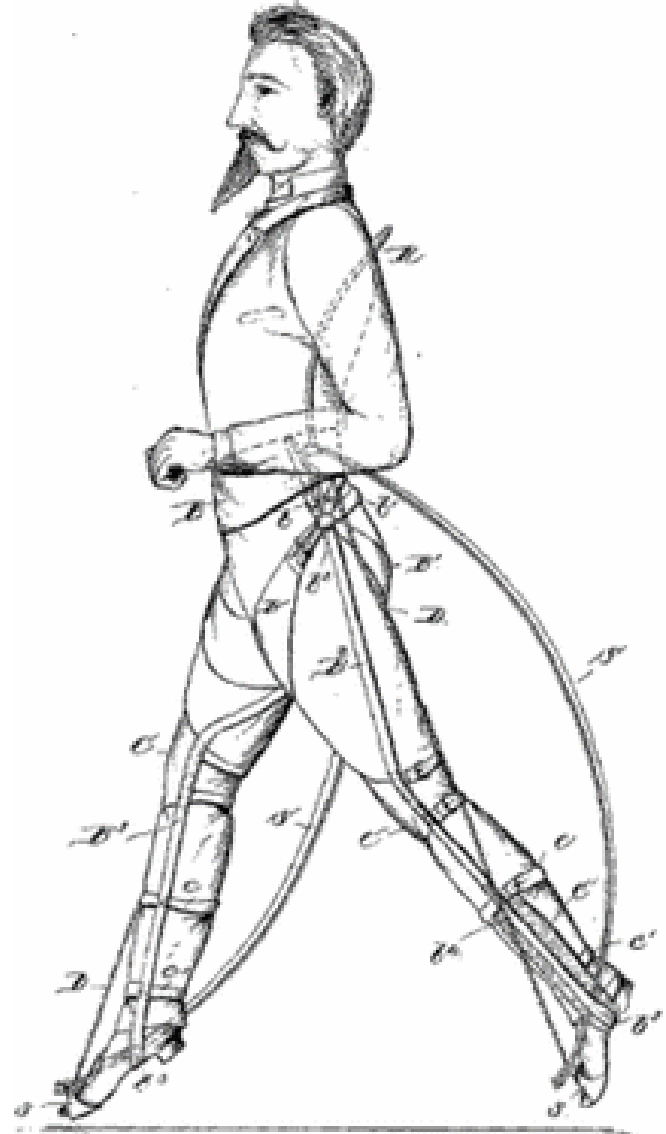


# Das erste Exoskelett

Yagn's Running Aid, 1890

Apparatus for facilitating walking, running, jumping

US Patents 420'179 & 438'830



# Physiotherapie 1920



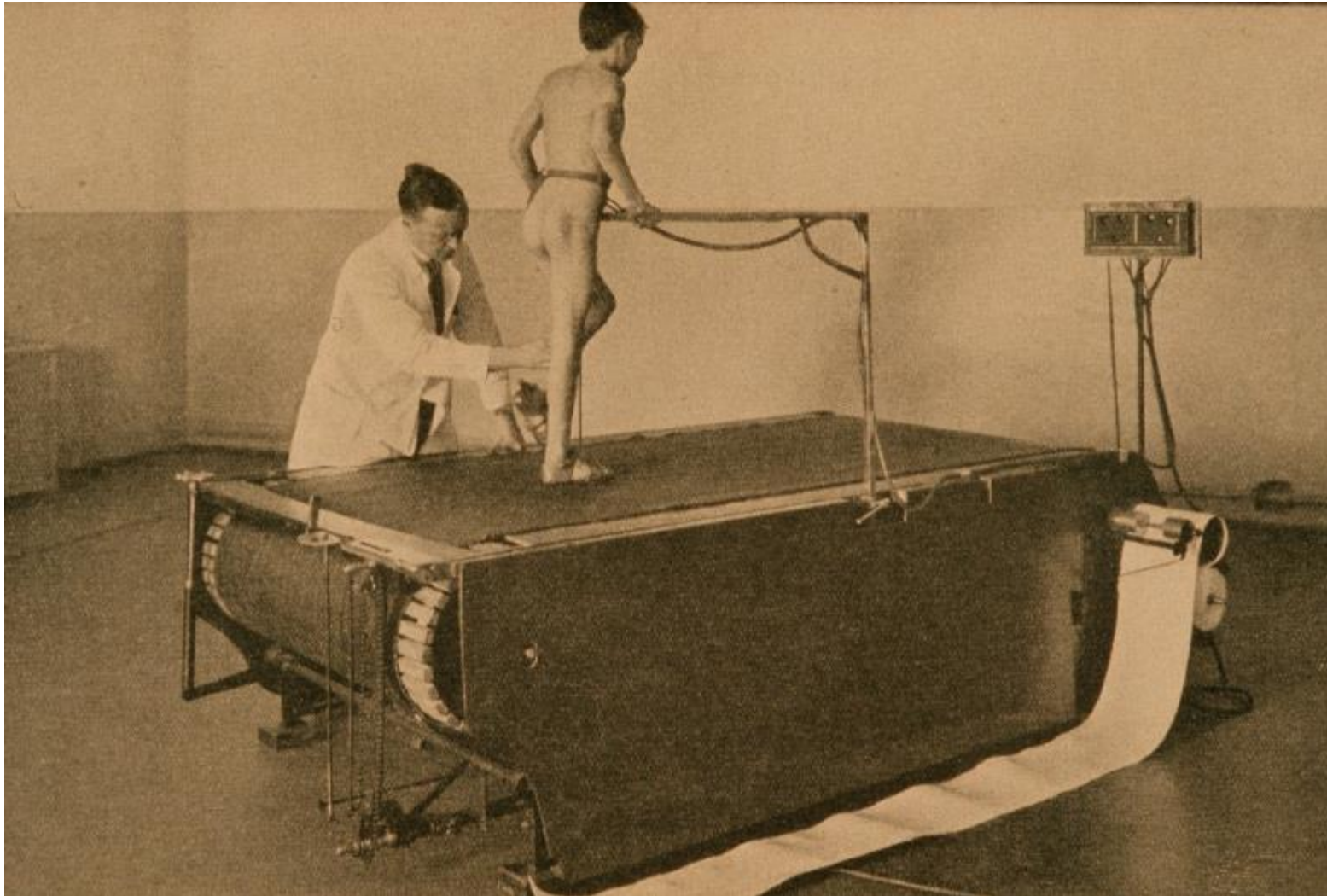
Courtesy University  
Hospital Balgrist

# Gangtherapie 1920



Courtesy University  
Hospital Balgrist

# Gangtherapie 1930



Courtesy University  
Hospital Balgrist

# Master-Slave Systeme

Fick's Hardiman, 1971

Hardiman I prototype for machine augmentation of human strength and endurance



# Erste «echte» Exoskelette für die Gangunterstützung

## Angetriebene Exoskelette

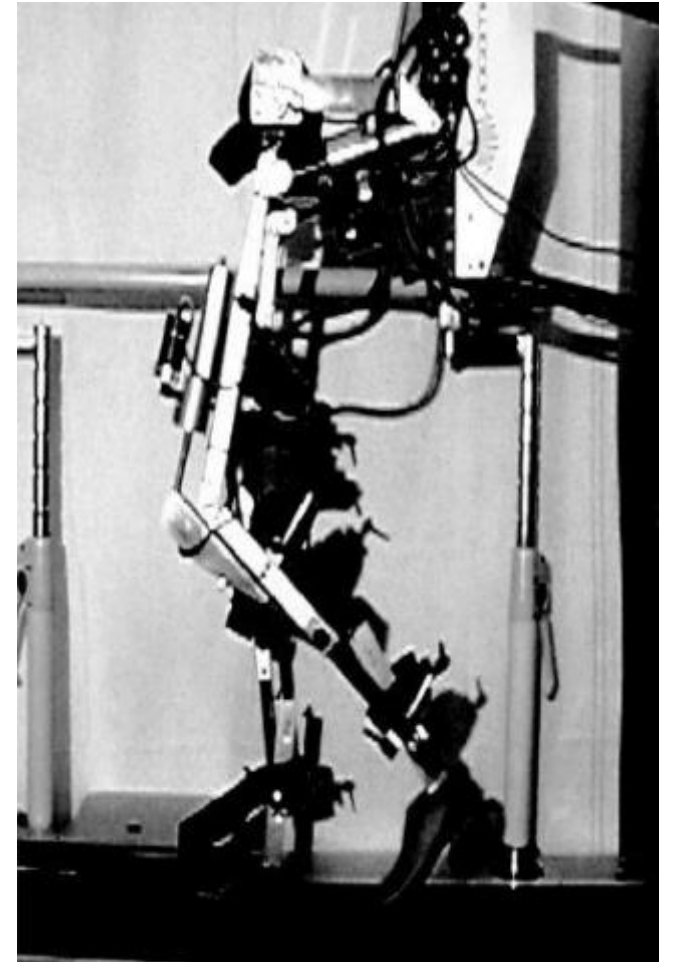
- Vukobratovic, et al. 1970
- Seireg & Grundmann, 1980



# Erste stationäre Maschinen für die Gangtherapie

## Neurorehabilitation

- GaitTrainer, Hesse, späte 90er
- Lokomat, Colombo & Dietz, späte 1990er





# Laufbandroboter Lokomat ~2004



# Laufbandroboter Lokomat

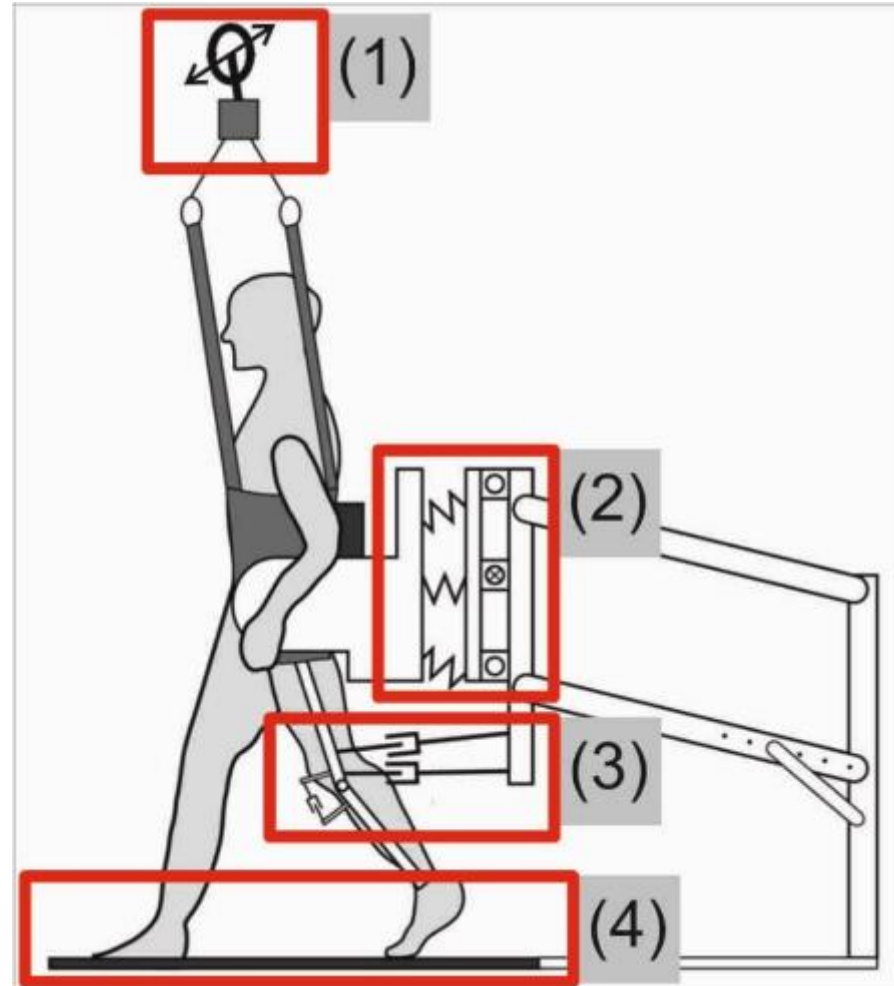


# Lokomat Gruppentherapie



# Laufbandroboter Lokomat: Vision

R. Riener (ETH Zurich)  
H. Vallery (TU Delft, ETH Zurich)  
G. Colombo (Hocoma AG)  
A. Luft (University of Zurich)



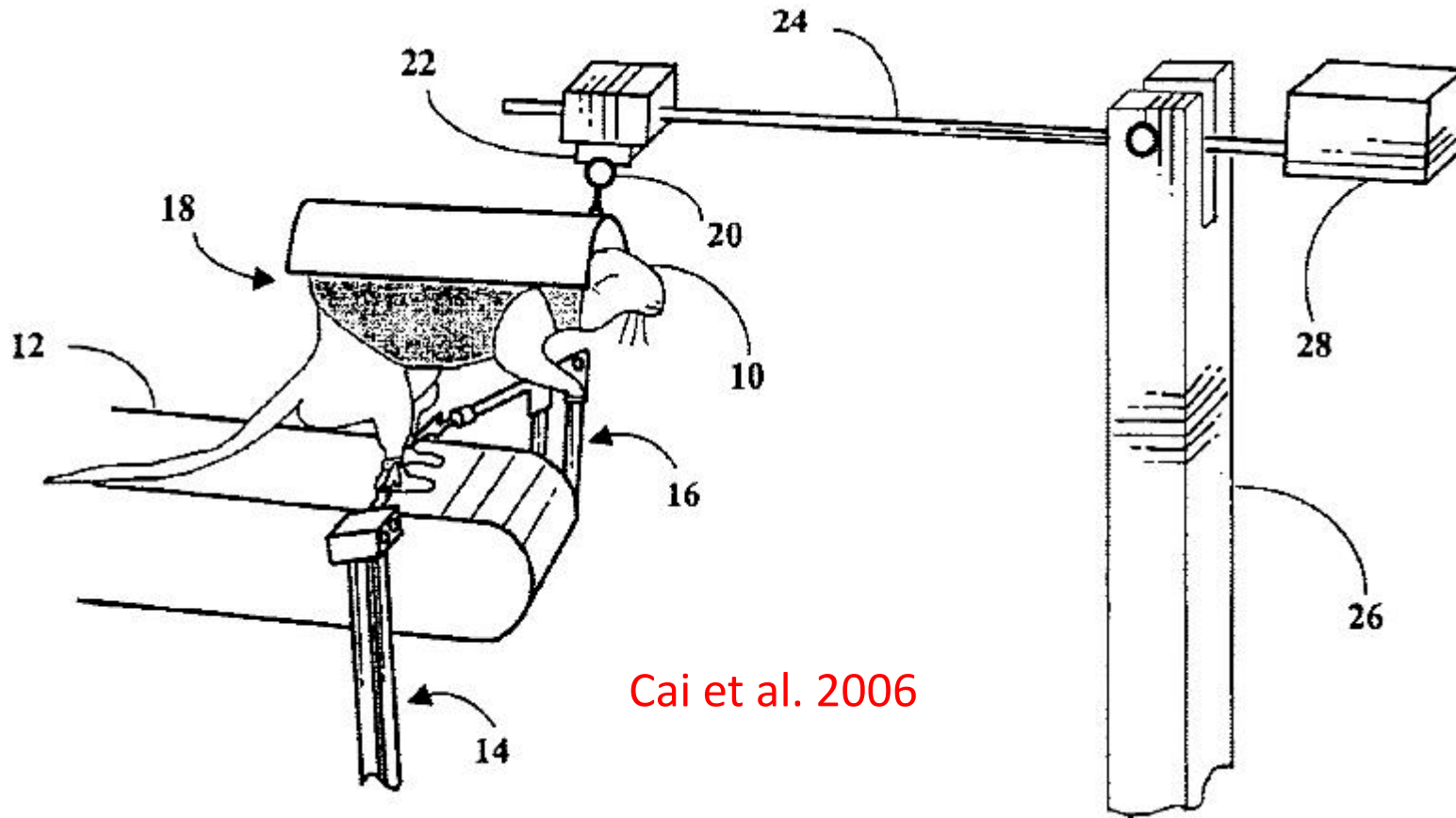
1 Neuartiges  
Gewichts-  
entlastung

2 Vollbewegliches  
Beckenmodul

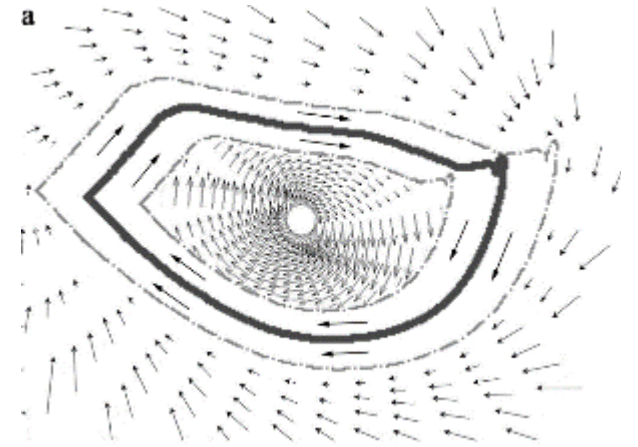
3 Exoskelett

4 Fussplatten

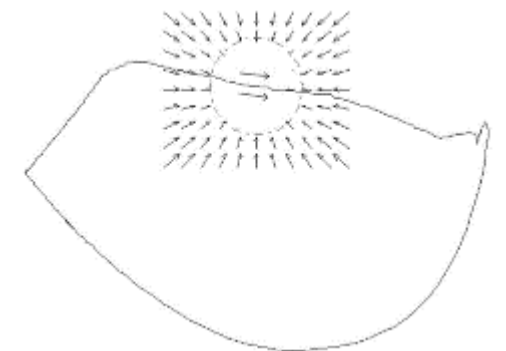
# Assist-as-Needed (AAN) mit SCI Mäusen



Cai et al. 2006

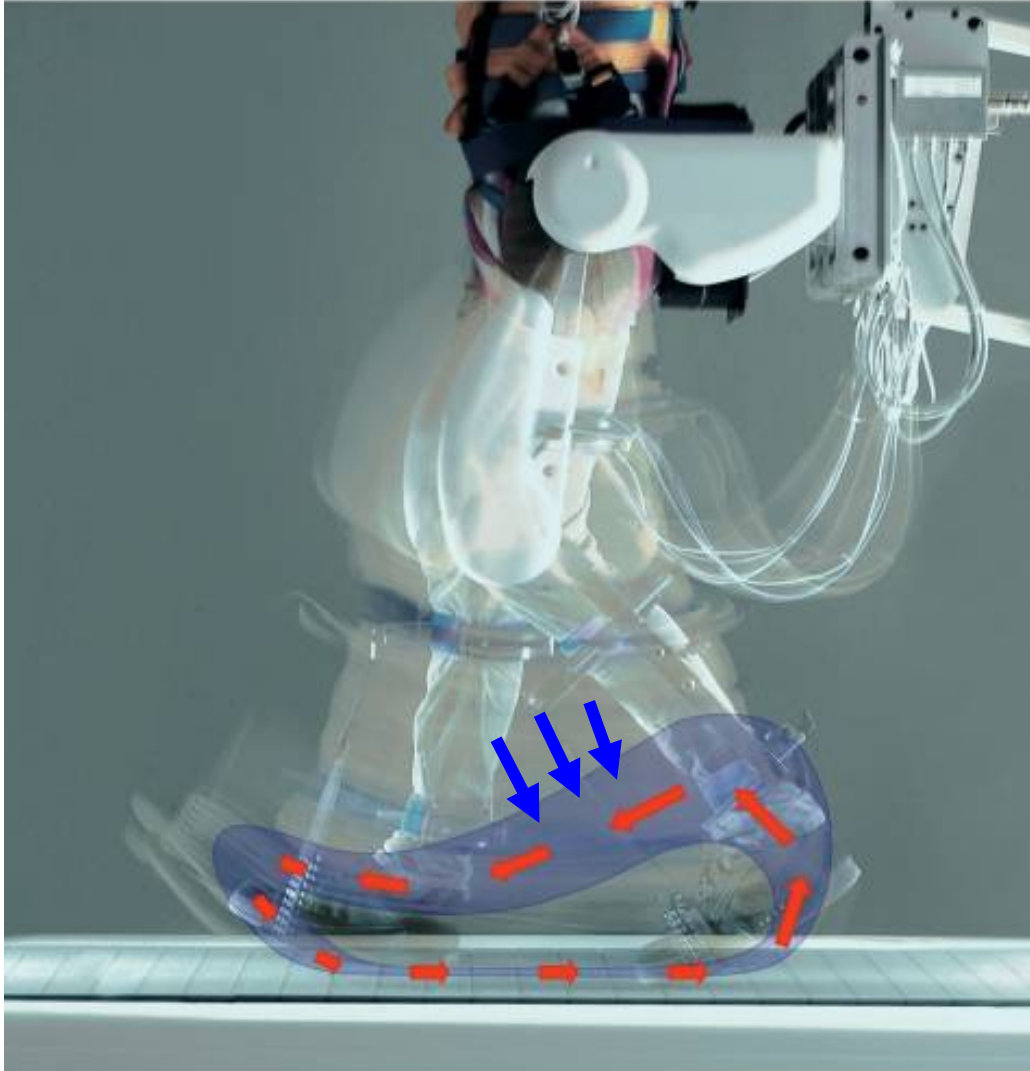


“band group”



“window group”

# Pfadregler für patientenkooperatives Training

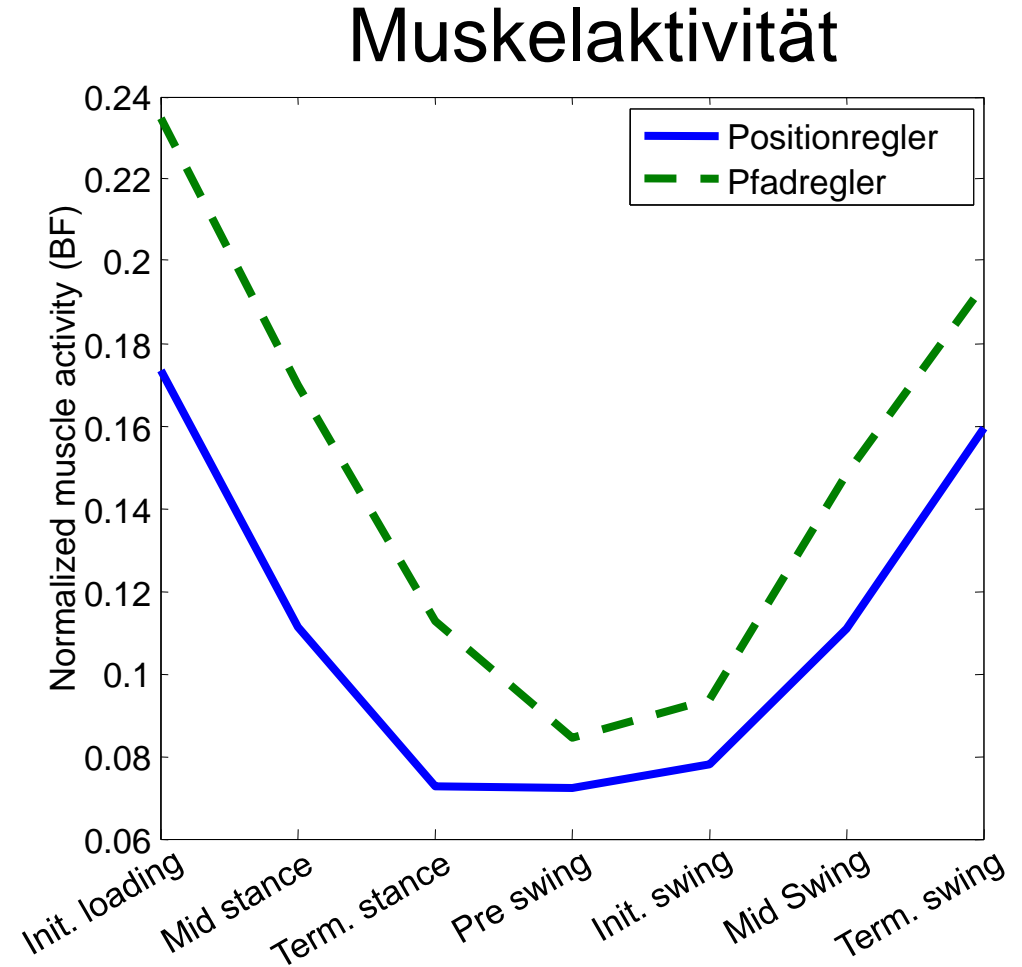
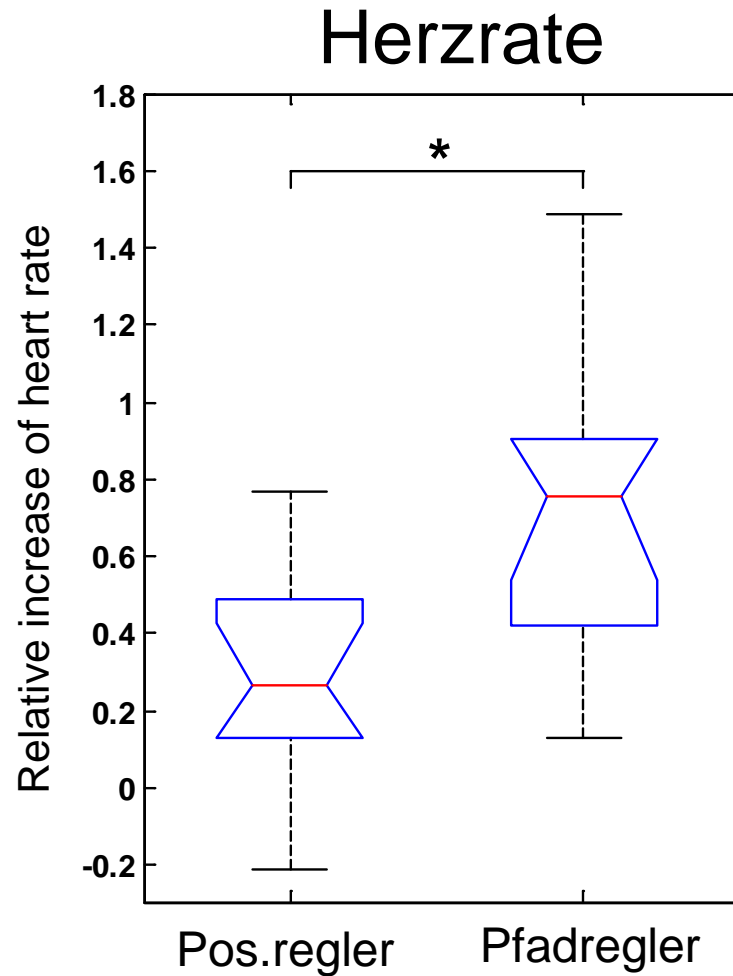


Roboter verhält sich

- **assistiv**
- **korrigierend** oder
- **transparent**
- nur wenn nötig, zeitlich ungebunden

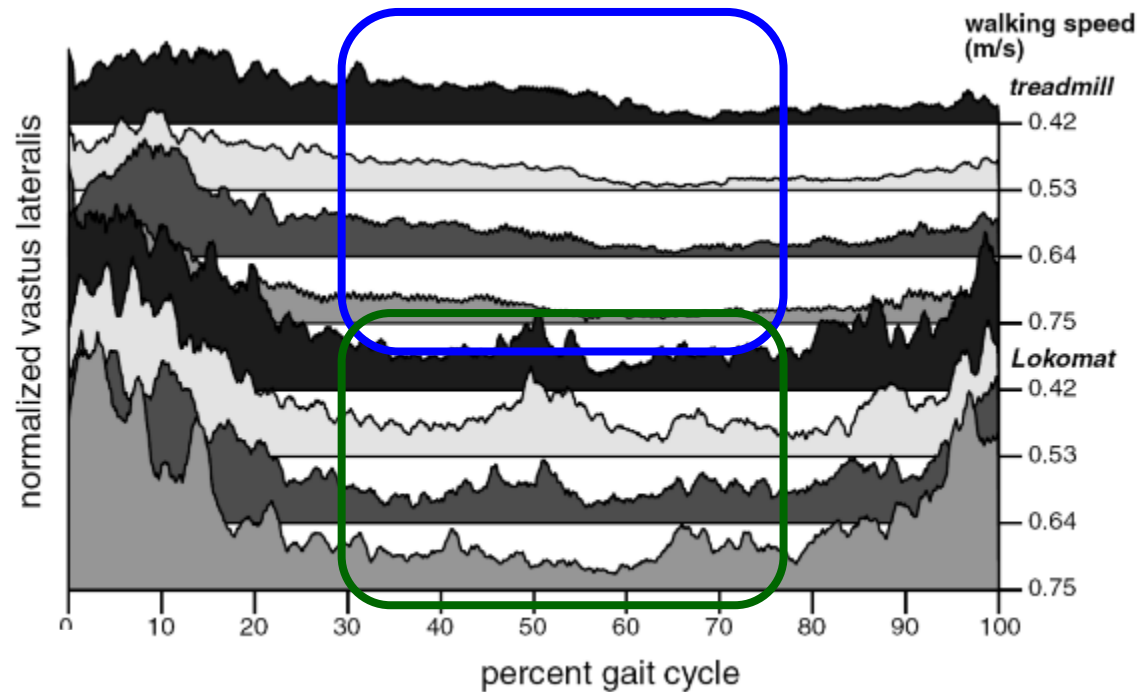
Duschau-Wicke, Vallery, Riener, et al.

# Pfadregler erhöht aktive Teilnahme (N=11 incomplete SCI)

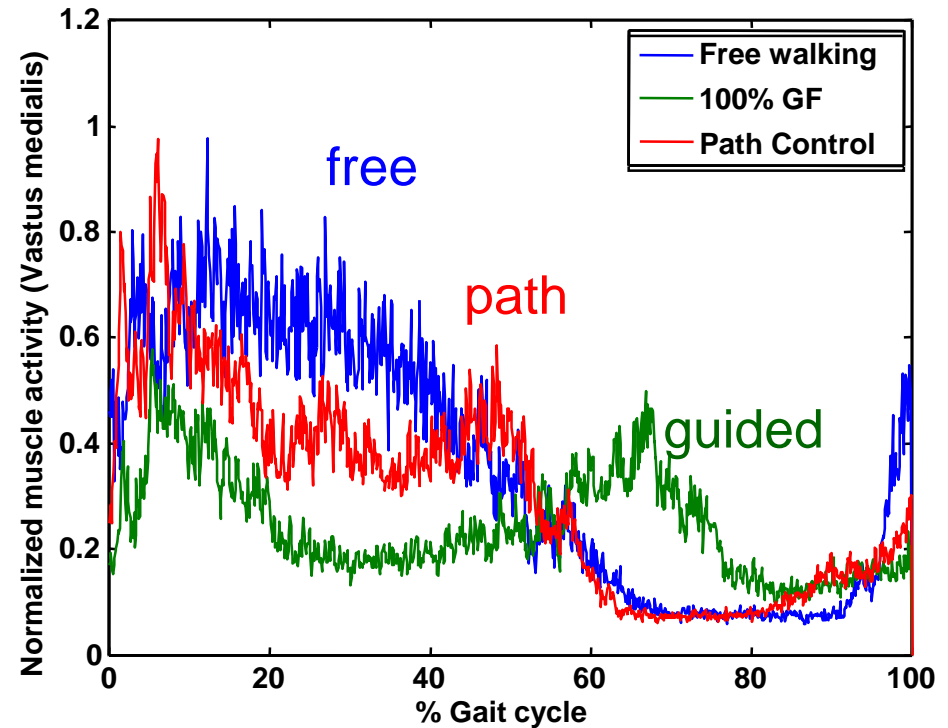


# Pfadregler macht den Gang natürlicher

Vastus-Muskelaktivität wird natürlicher



Hidler & Wall 2005

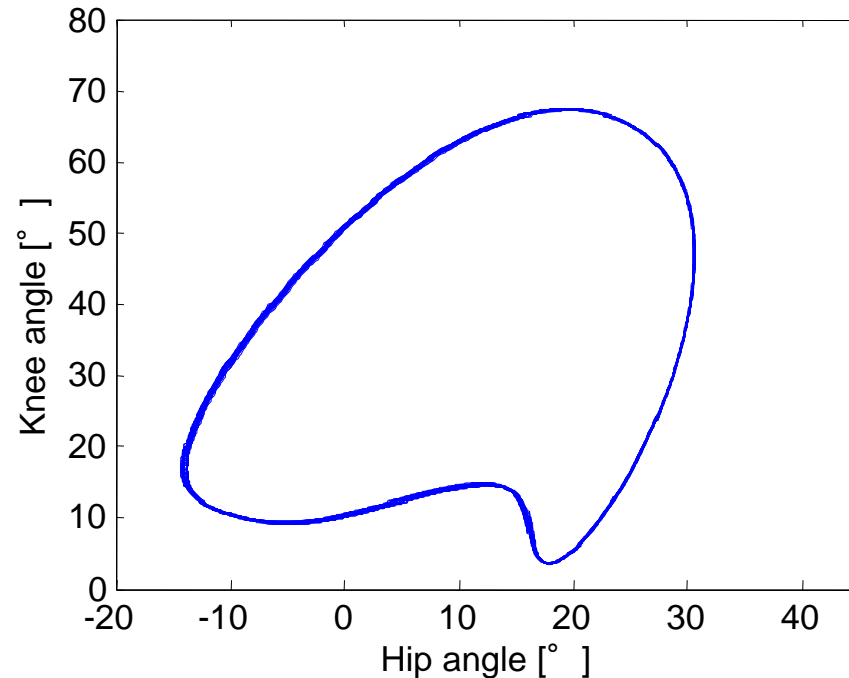




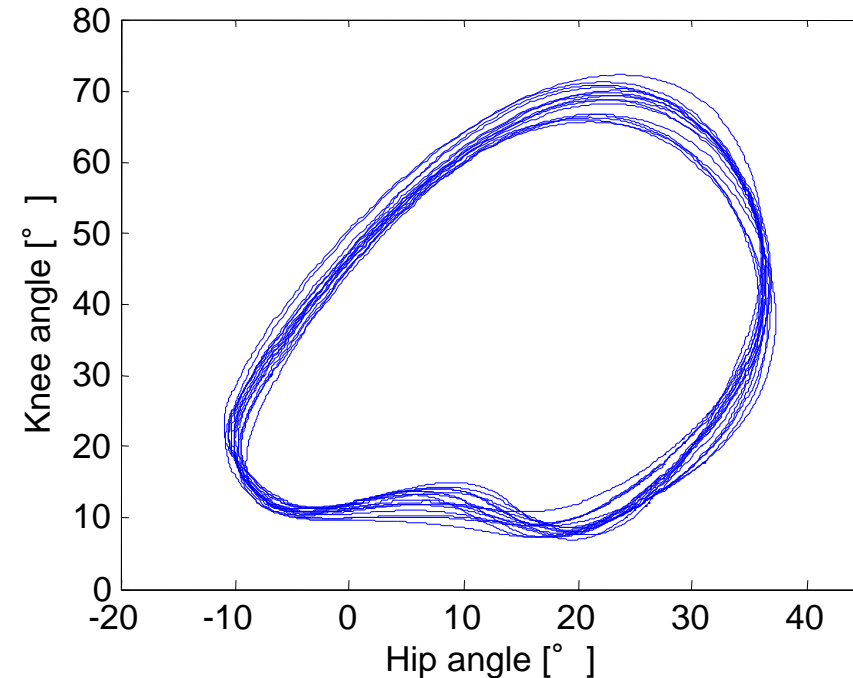
# Pfadregler erhöht die Variabilität

«Repetition without repetition» (Bernstein)

## Positionregler



## Pfadregler



# Einzelfallstudie RIC

## Patient

- 52 Jahre alt, männlich
- Schlaganfall, rechtsseitig
- 7 Monate nach Schlaganfall

## Lokomattraining

- 12 Trainingssessionen  
(4 Wochen, 3 pro Woche)



Krishnan et al. 2012

# Einzelfallstudie RIC: Ergebnisse

Wiederholung in 2. Studie:

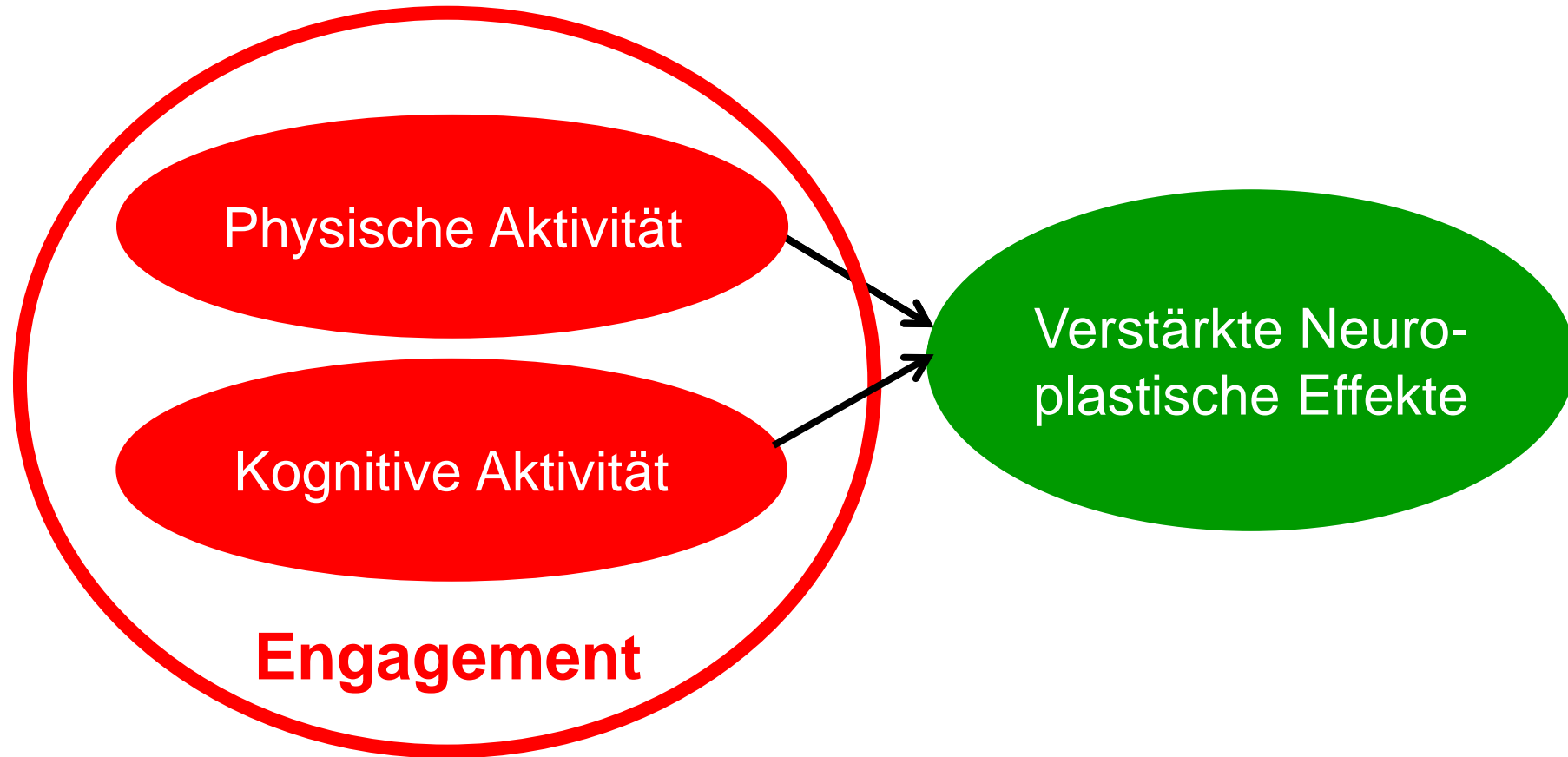
Krishnan et al. 2013  
(Archives of PM&R)

Training verbessert klinisches Ergebnis

<i>Performance Variable</i>	Pre-training	Post-training	Follow-up
TUG	14 s	11 s	11 s
6-min Walk	228 m	316 m	304 m
Single-Leg Balance	1 s	15 s	14 s
Self-Selected Gait Velocity	0.72 m/s	1.0 m/s	0.85 m/s
Fast Gait Velocity	1.1 m/s	1.3 m/s	1.3 m/s
LE Fugl-Meyer	16	20	23

Krishnan  
et al. 2012

# Engagement verstärkt Neuroplastizität



# Gangtraining & Virtuelle Realität



Kollaboration:  
Kinderspital  
Affoltern,  
Hocoma,  
ZHDK

# Lokomat<sup>®</sup> und Virtuelle Realität



Lokomat

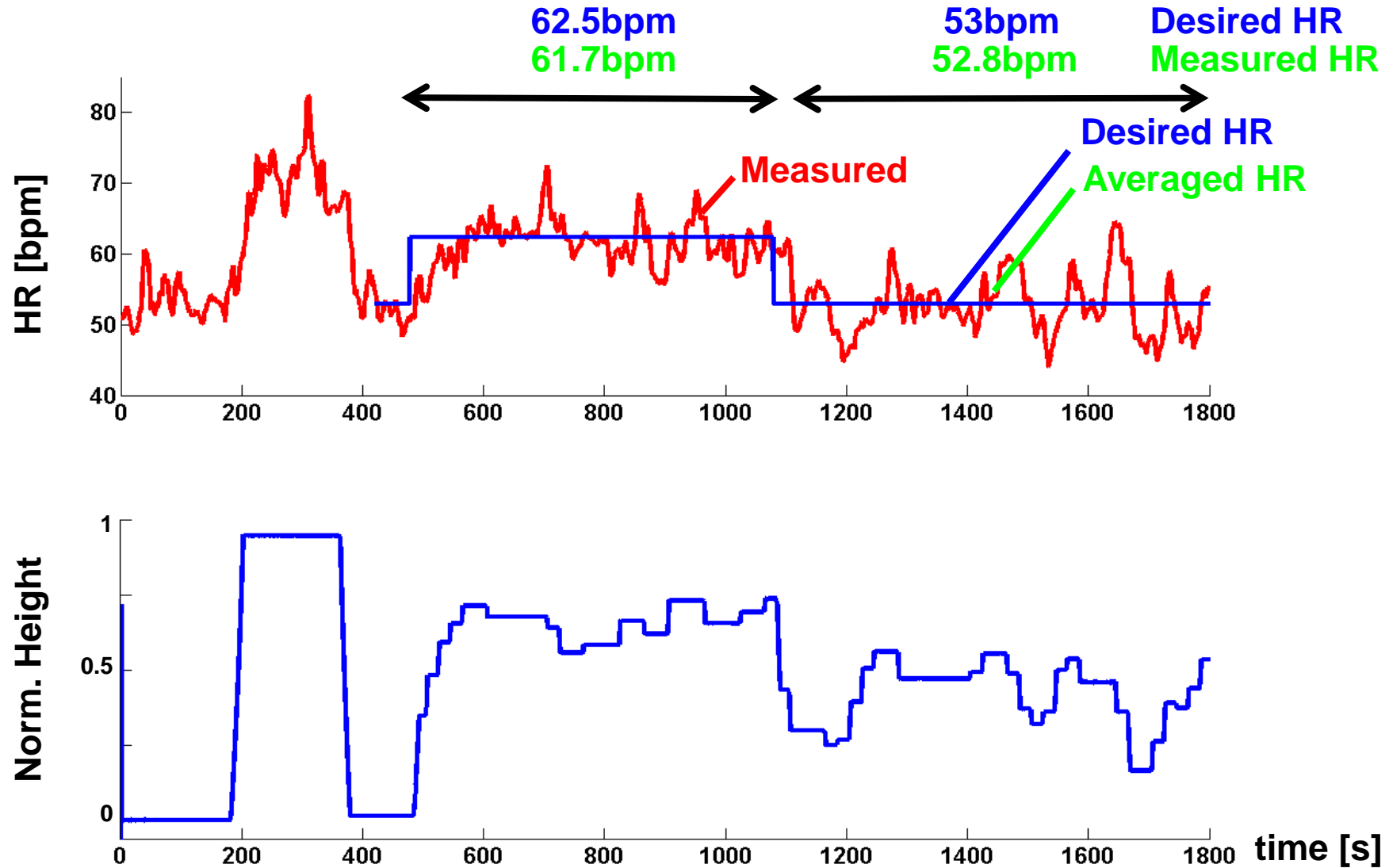


Sensory-Motor  
Systems Laboratory

# Aktuiertes Stehbrett Erigo

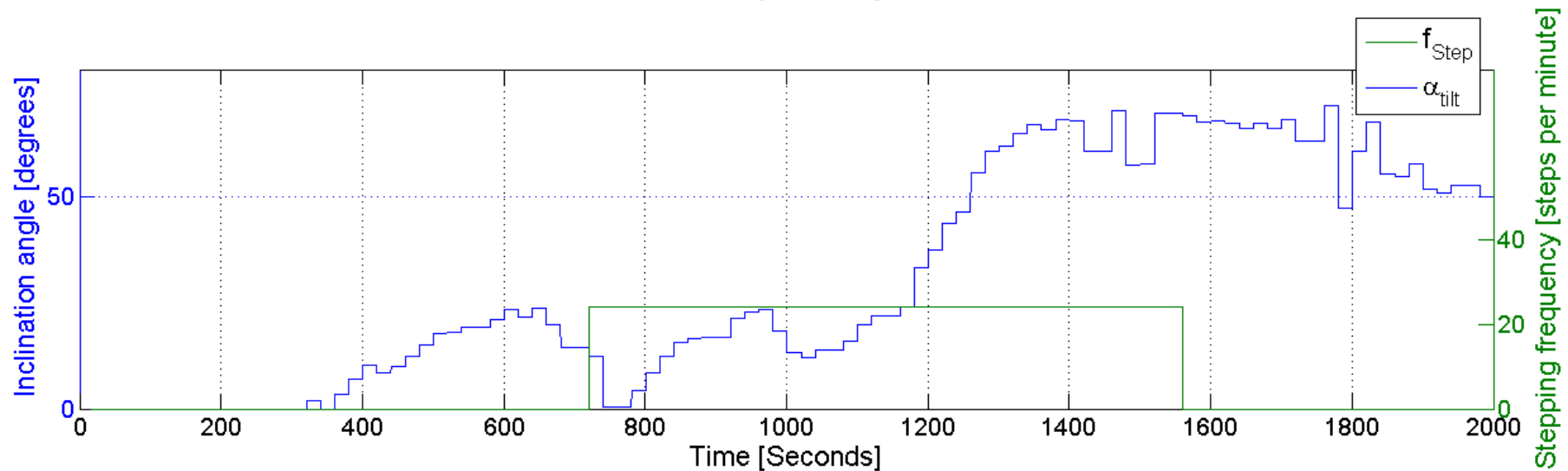
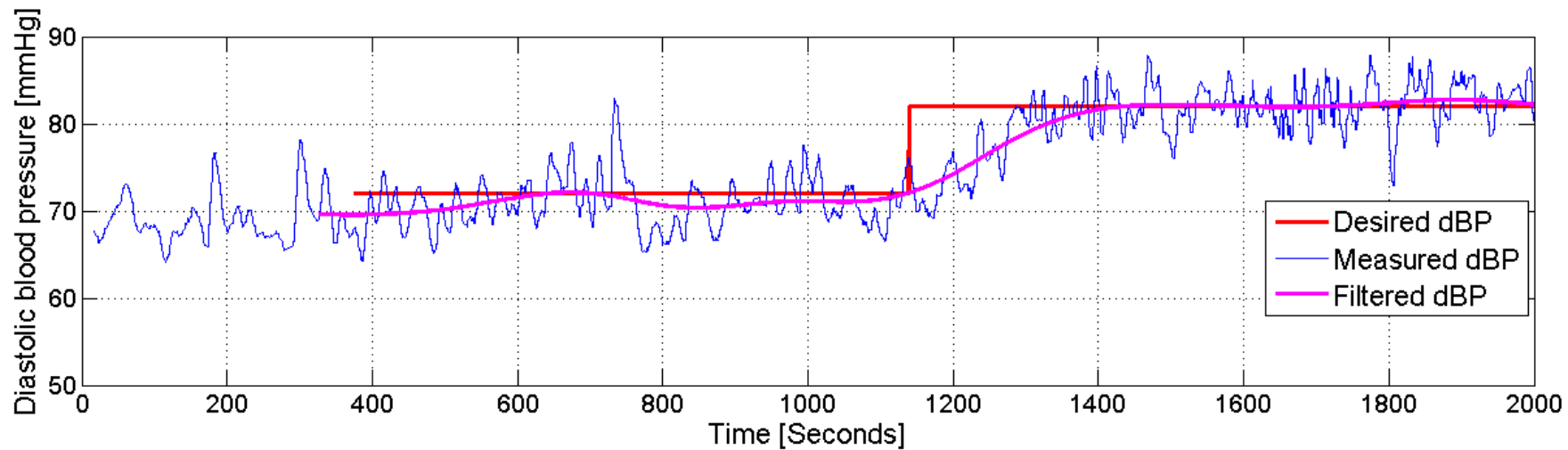


# Regelung Herzrate





# Regelung diastolischer Blutdruck



Gesunder  
Proband

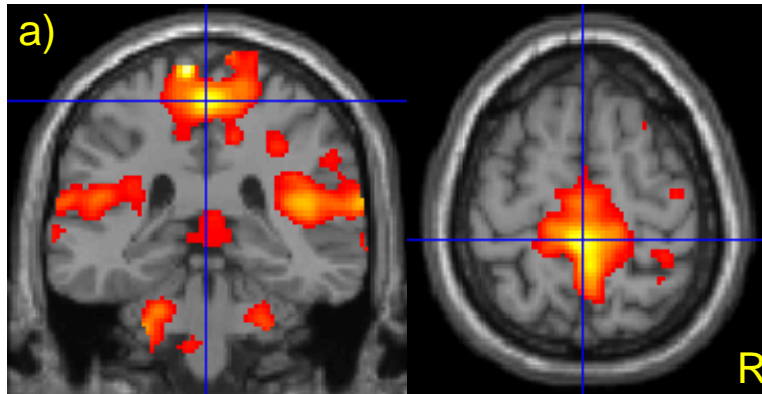
# MR-kompatibler Stepper MARCOS



Collaboration:  
R. Riener, S. Kollias,  
V. Dietz

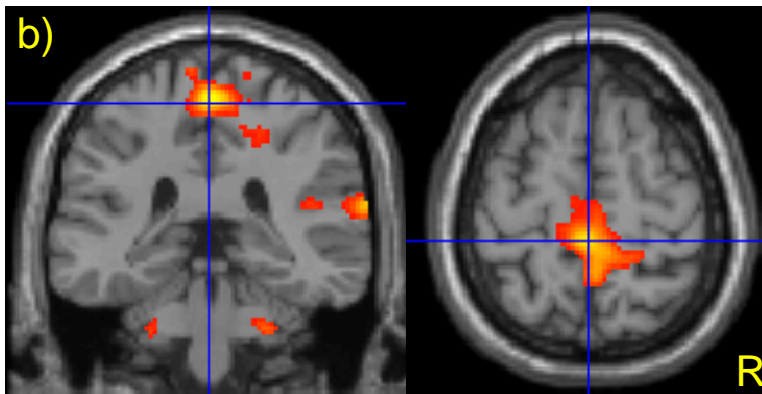
# Aktive und Passive Beinbewegung

Gesunder Proband, Schrittbewegung über Dauer von 21 s



Kontrast **aktive** Beinbewegung gegenüber Ruhe

Kollaboration: R. Riener, S. Kollias, V. Dietz

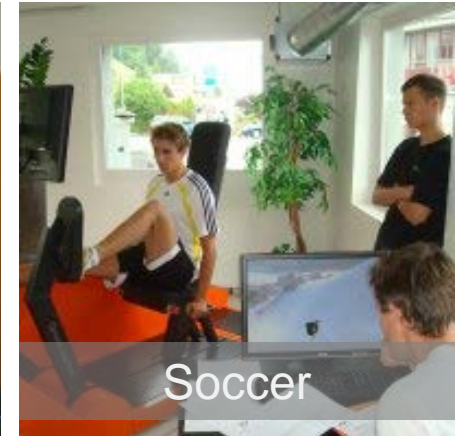


Kontrast **passive** Beinbewegung gegenüber Ruhe

# Aktuierte Beinpresse Allegro<sup>®</sup>



# Anwendungsgebiete Allegro®



# Rehabilitationsroboter

Therapie-/Trainingsgeräte



Assistenzgeräte



© Tuesday 8 May 2012 09:35 EDT

## Paralysed Claire Lomas finishes London Marathon 16 days after it began

32-year-old is greeted by crowds of supporters as she becomes first to finish marathon in bionic suit



# Mobile Exoskelette: Produkte und Prototypen



Honda



EksoBionics



Cyberdyne



NASA



MIT Exos



Zoss et al. '06



Rewalk



Rexbionics



Parker



Park et al. '11



Wehner et al. '13



Raj et al. '11



# Mobile Exoskelette: Hart oder Weich?



Rewalk Robotics, 2016



Conor Walsh et al., 2016

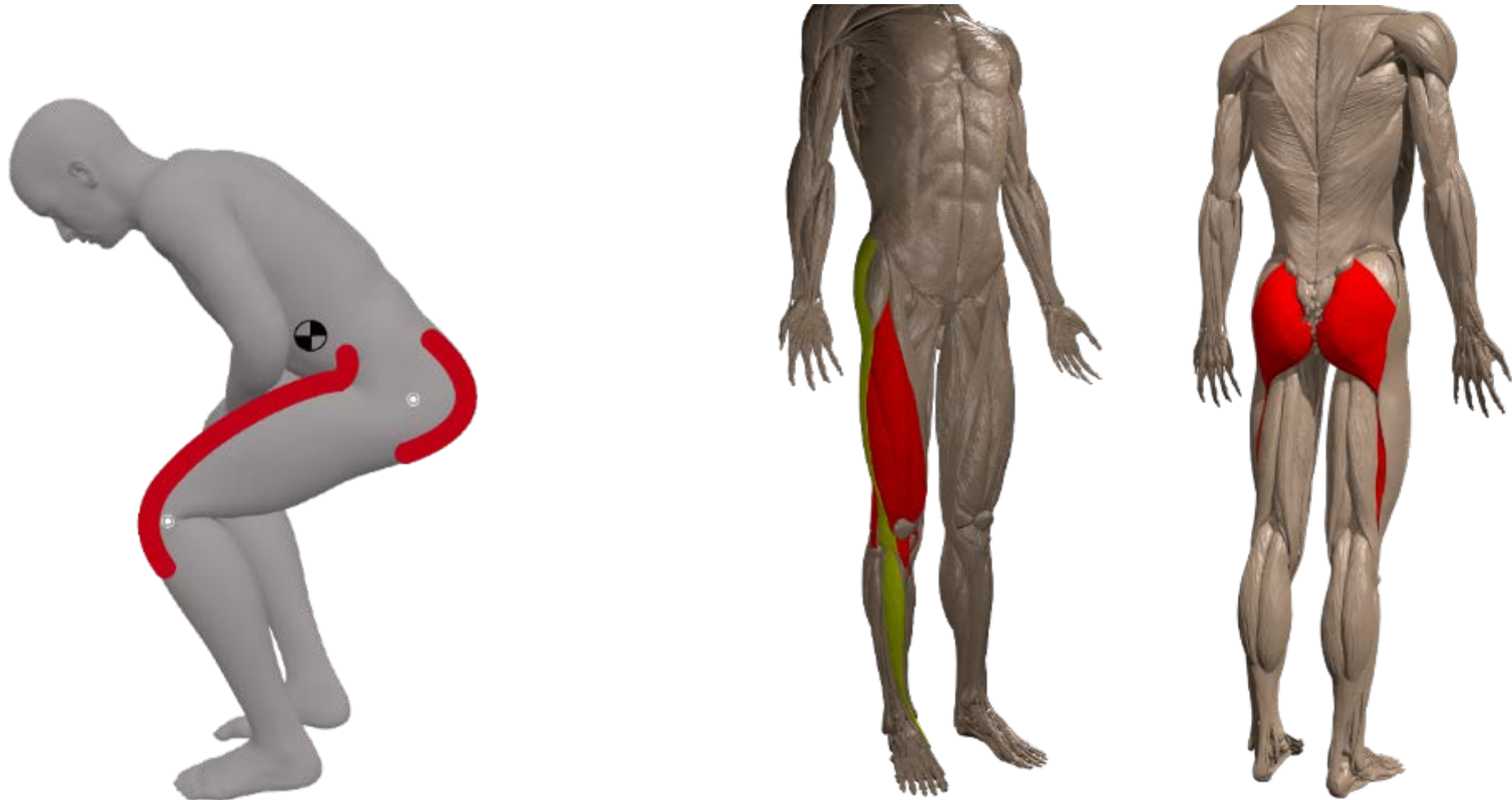
# Anwendungsszenario für Soft-Exoskelett der ETH

## Zielgruppe

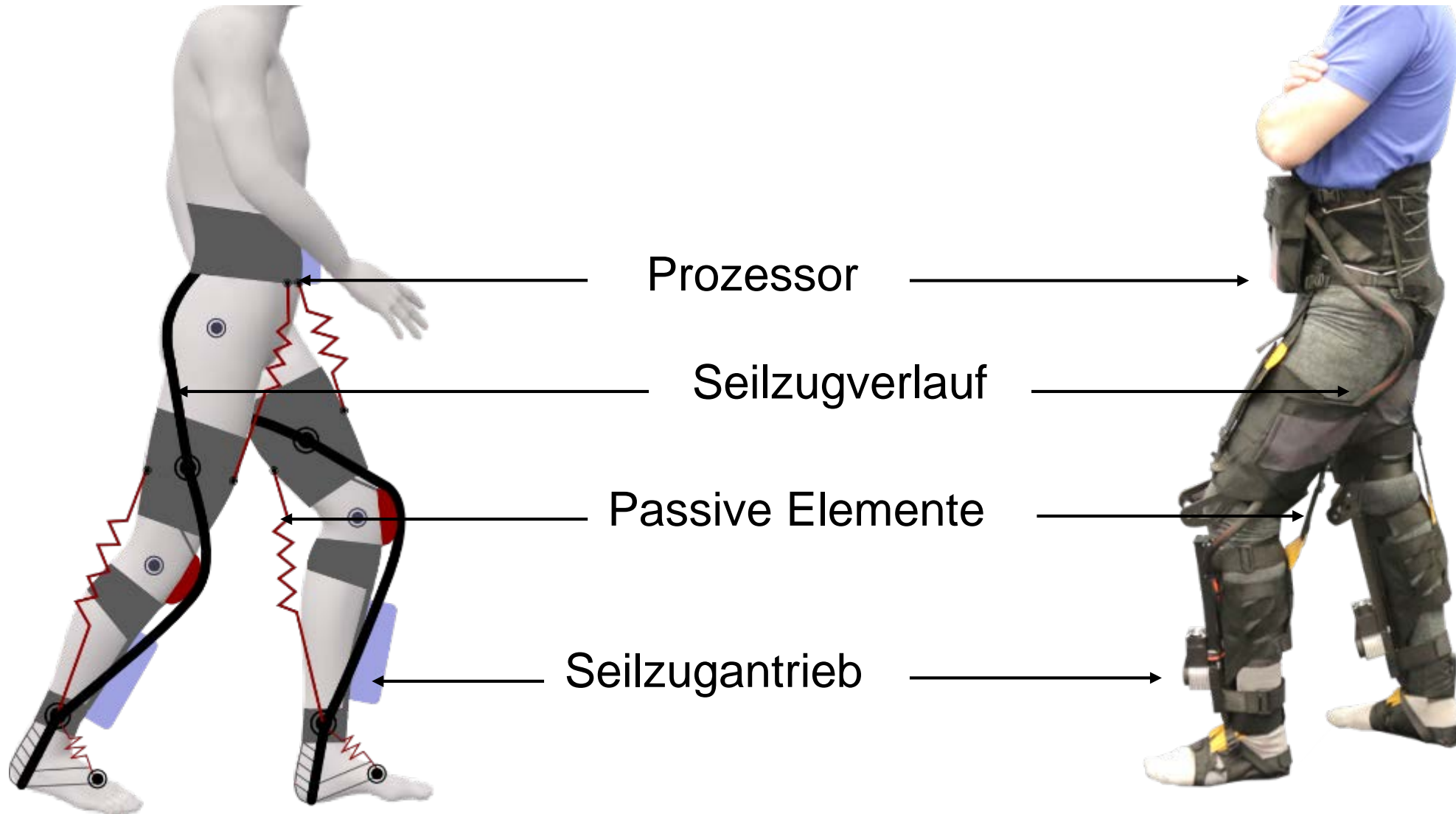
- Neurologische Patienten und ältere Menschen
- Motorische Restfunktionen vorhanden
- Rollstuhlfahrer



# Unterstützung gegen die Schwerkraft



# MAXX: Mobility Assisting TeXtile EXosuit

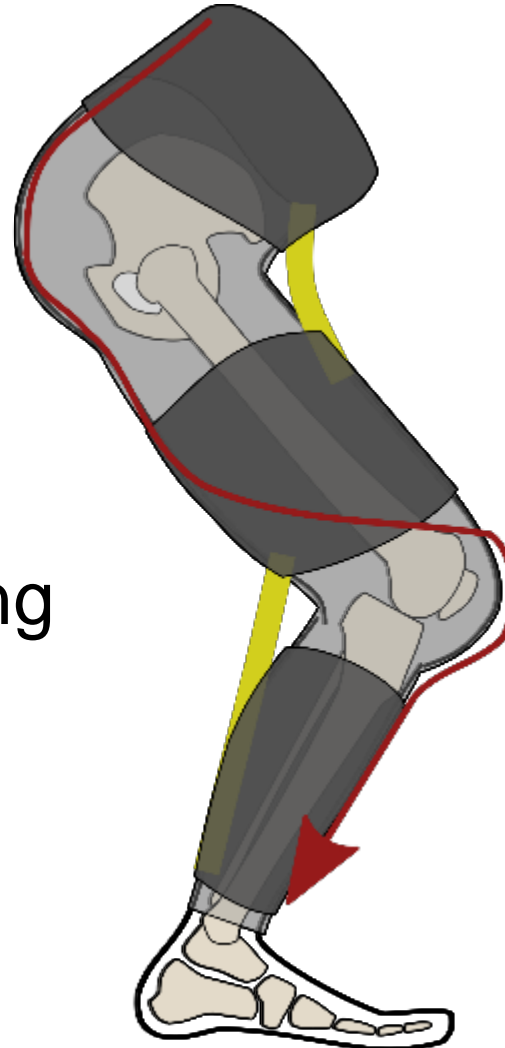


# MAXX: M**o**bility **A**ssisting Te**X**tile **E**Xosuit



# Myosuit Struktur: “Exomuskel”

Dreischichtiger Aufbau zur kontinuierlichen Unterstützung gegen die Schwerkraft



Textilschicht

Bänderschicht

- Passive Hüftflexion
- Passive Knieflexion

Powerschicht

- Aktive Hüftextension
- Aktive Knieextension

# MAXX



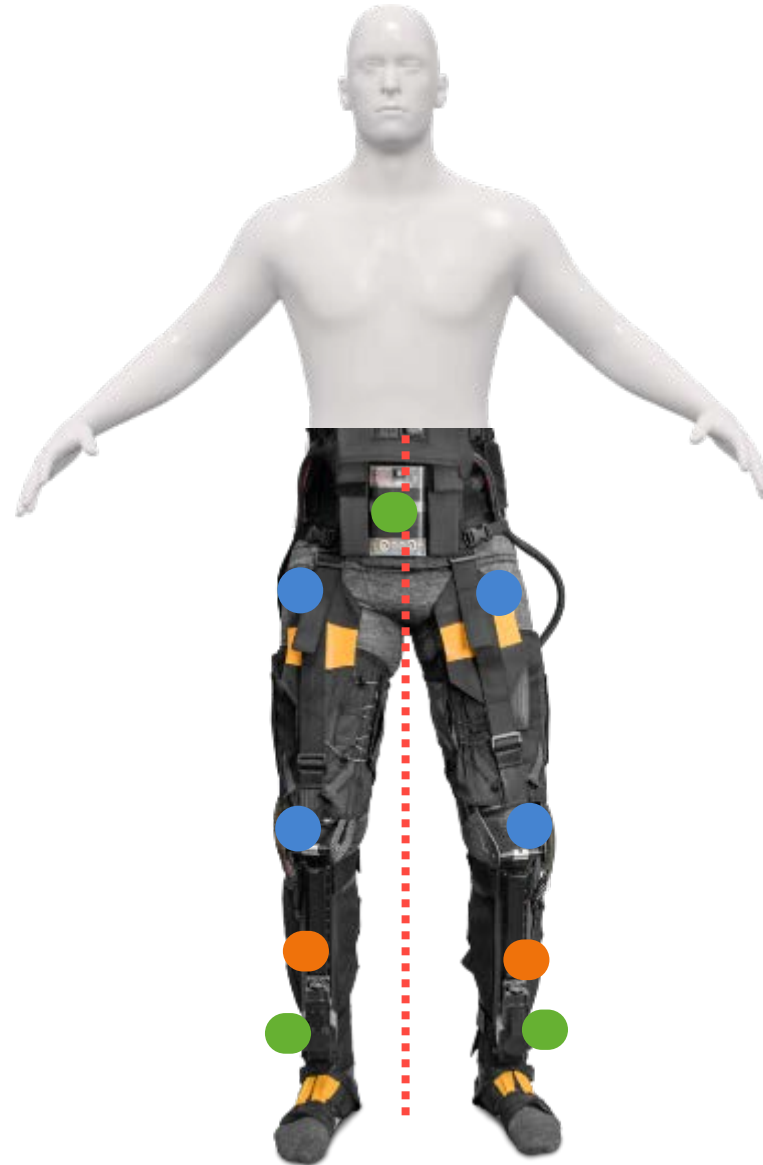
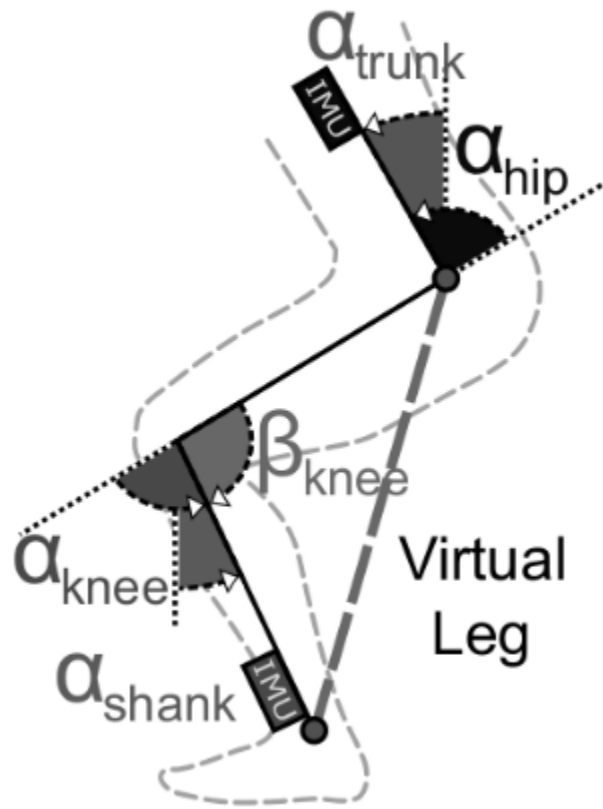
**Gesamtgewicht:**  
4.1 kg (ohne Batterien)

**Max. Drehmomente:**

- Hüfte: 36 Nm (35%)
- Knie: 44 Nm (44%)

100% = max. physiologisches Drehmoment

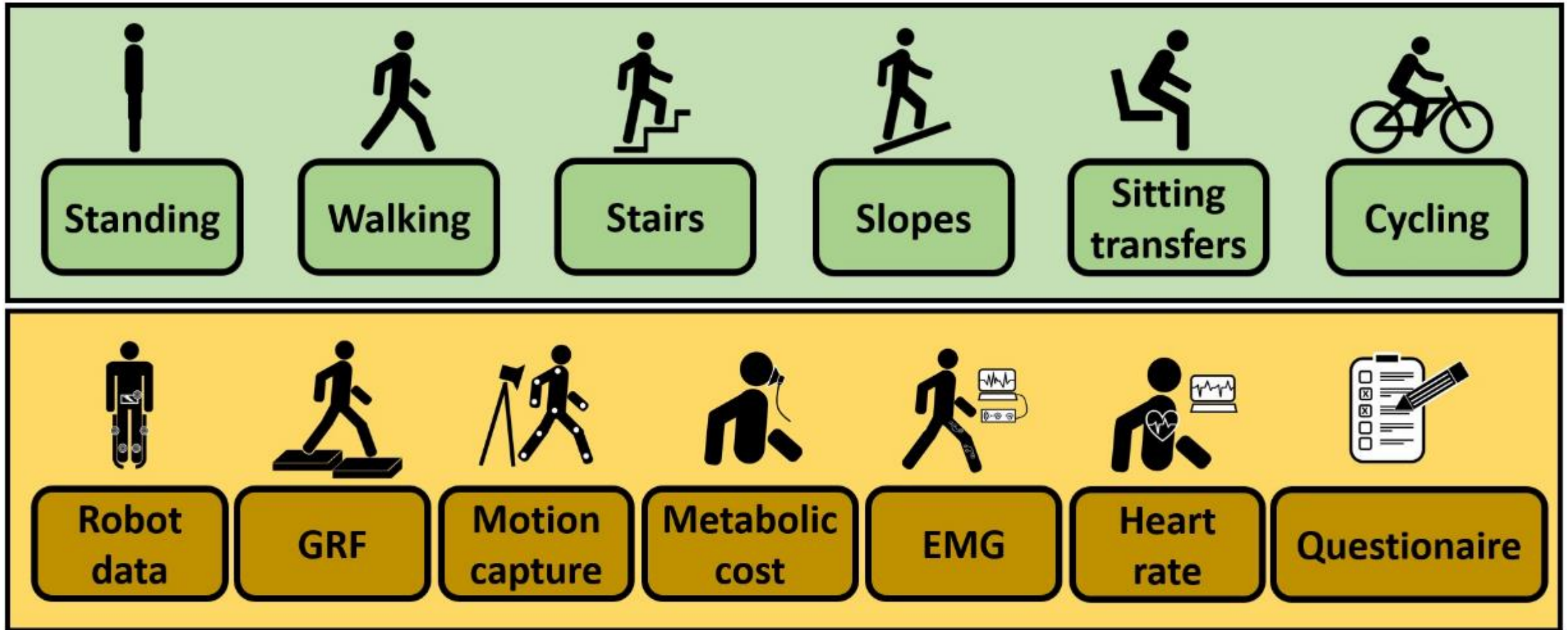
# MAXX: Sensorik



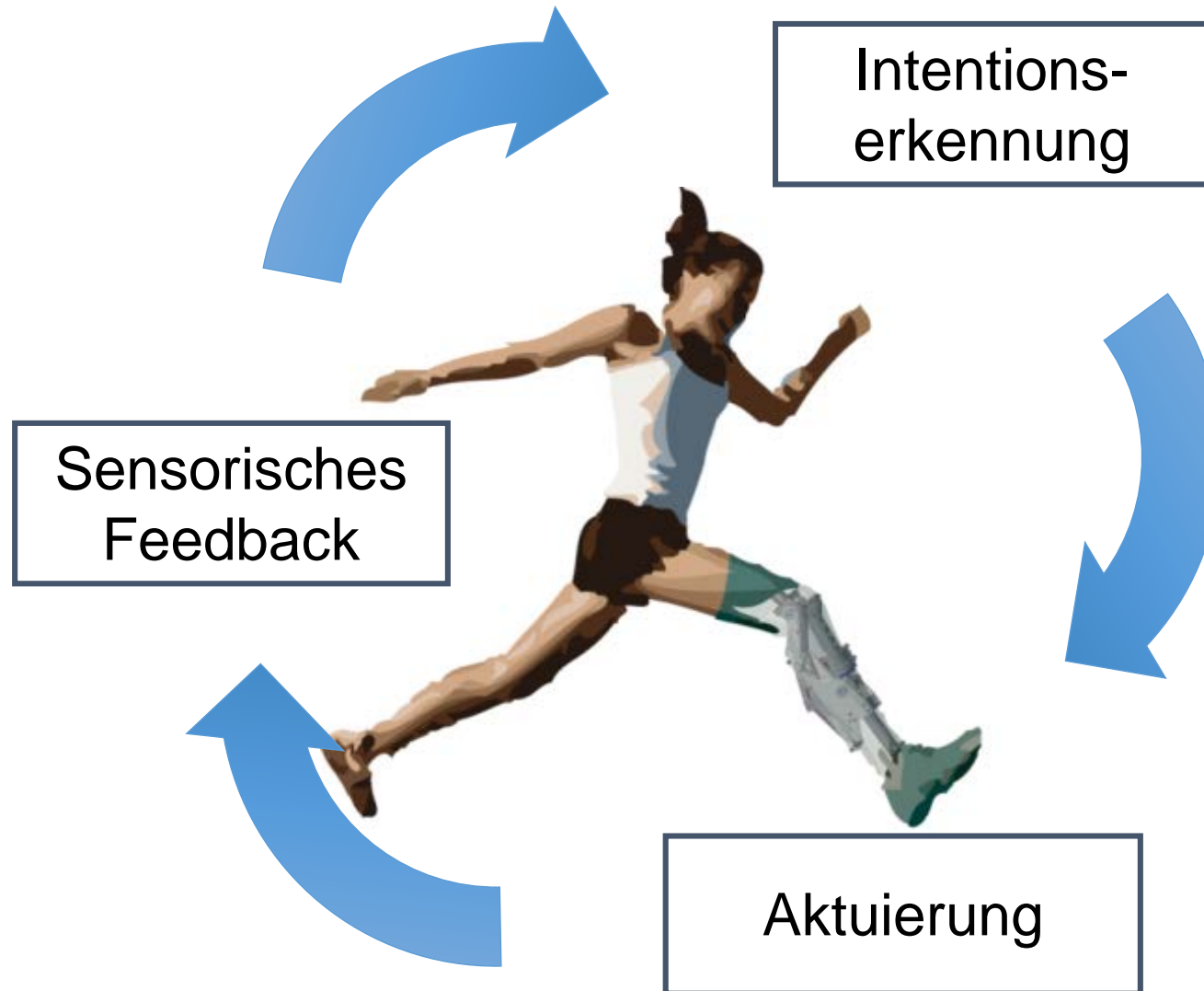
- Seilzuglänge
- Kraftsensoren
- IMU



# MAXX: Test von Funktion und Sicherheit



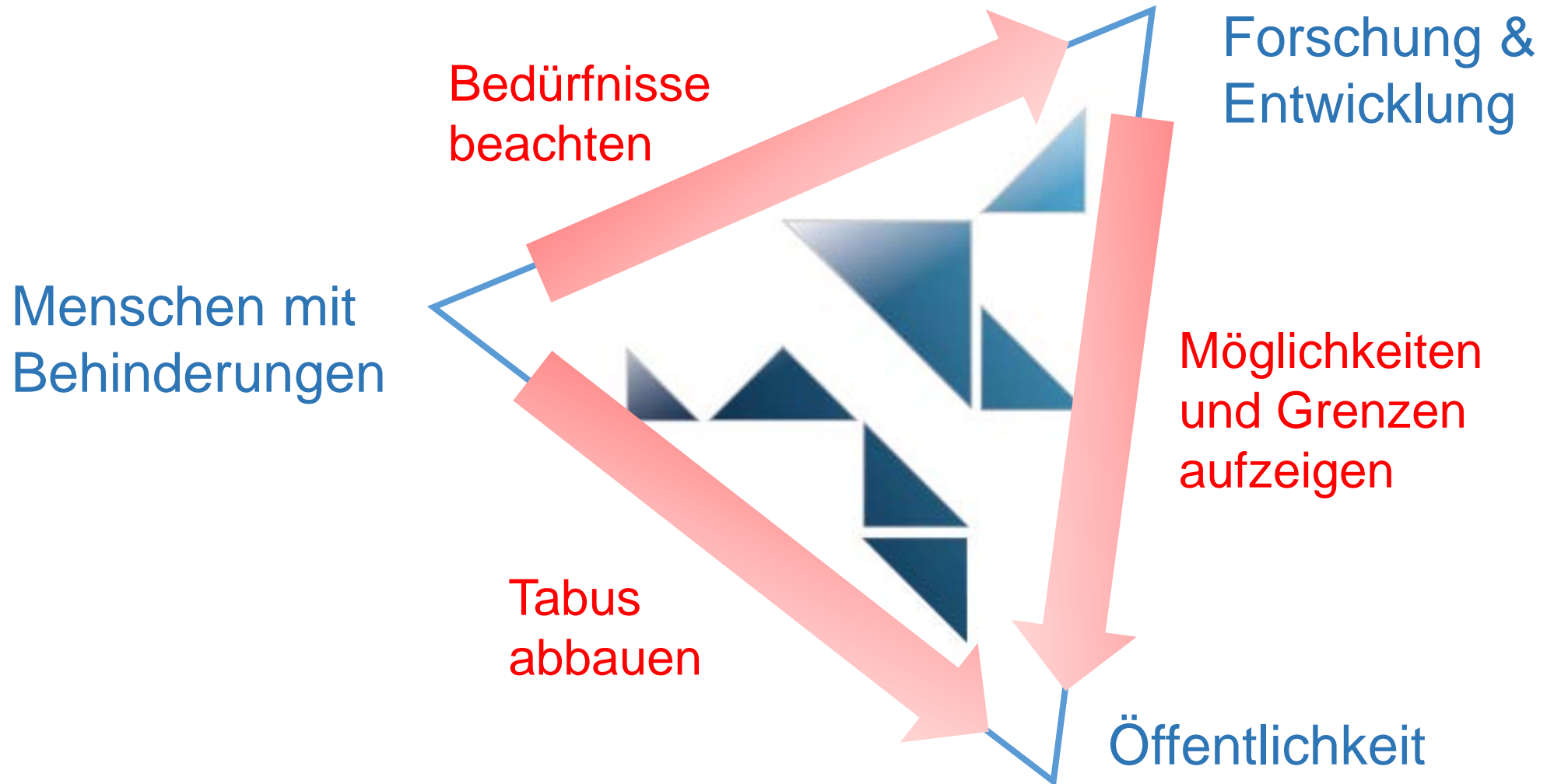
# Herausforderung: Mensch-Maschine-Interaktion



# Cyathlon: SWISS Arena Kloten, 8. Oktober 2016



# Ziel des Cybathlon: Barrieren Abbauen





ETH zürich

CYBATHLON

ETH zürich

ETH zürich

ETH zürich

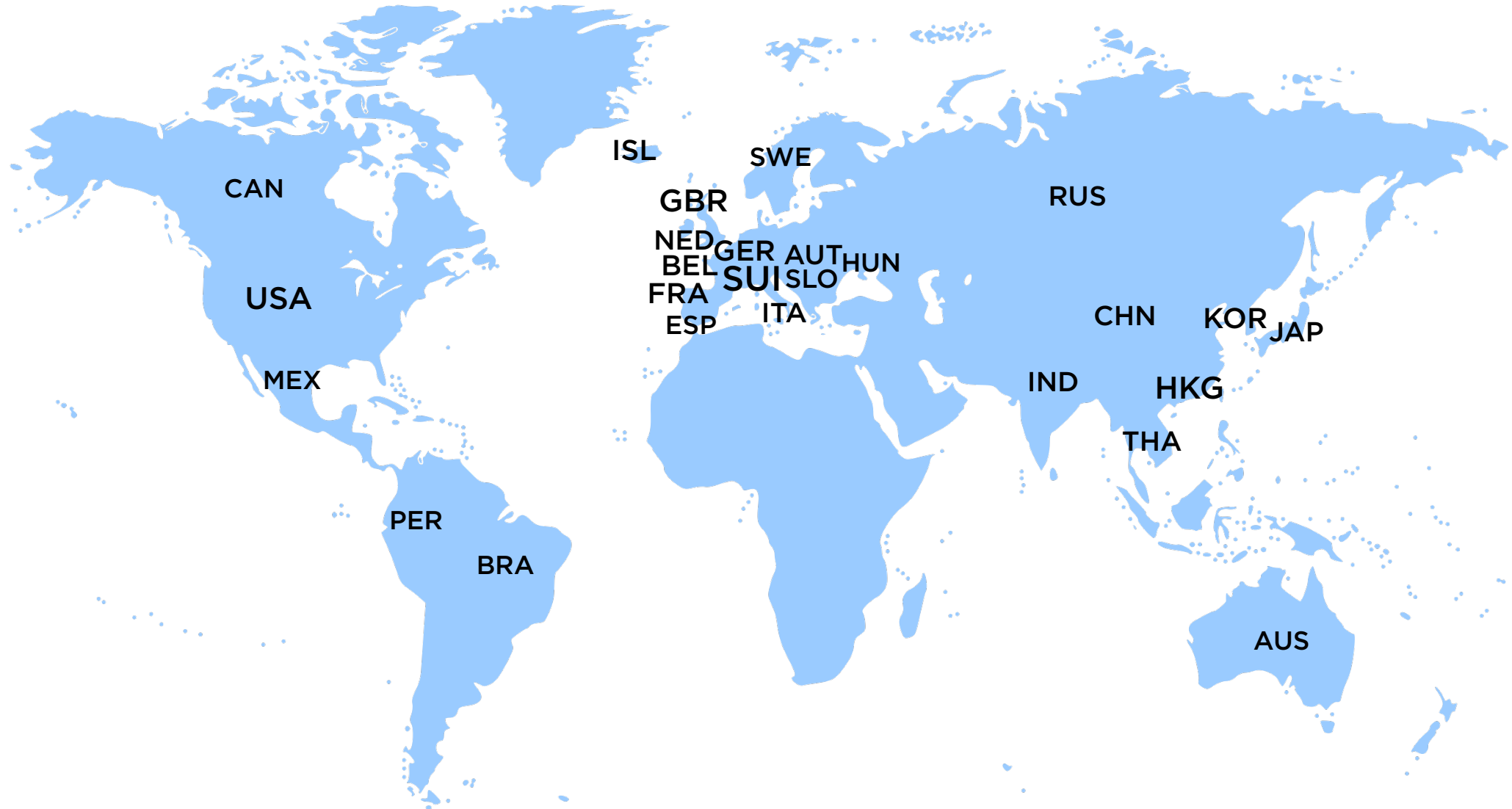
CYBATHLON

CYBATHLON  
SWISS OPEN

CYBATHLON



# 70 Piloten aus 25 Ländern



# Ausverkauftes Stadion: 4600 Zuschauer, 600 Helfer



# Thementag auf SRF 1 und 3 sat: 8 Stunden live





# 150 Journalisten



# Sechs Disziplinen

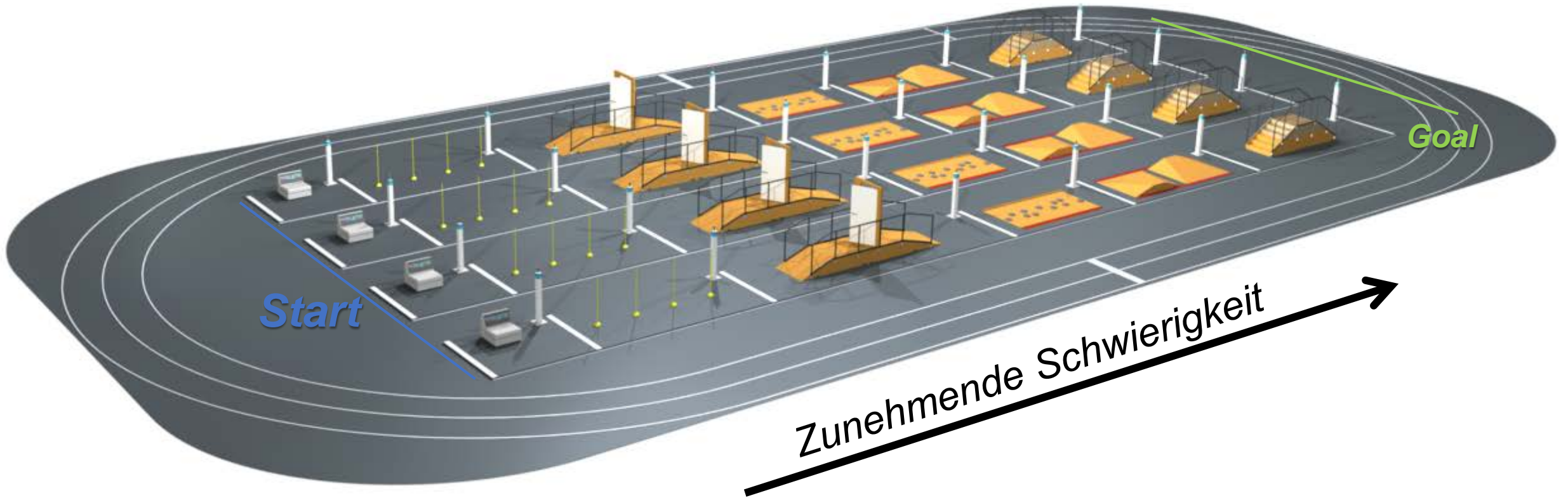


# Rennen mit angetriebenen Exoskeletten





# Rennen mit angetriebenen Exoskeletten



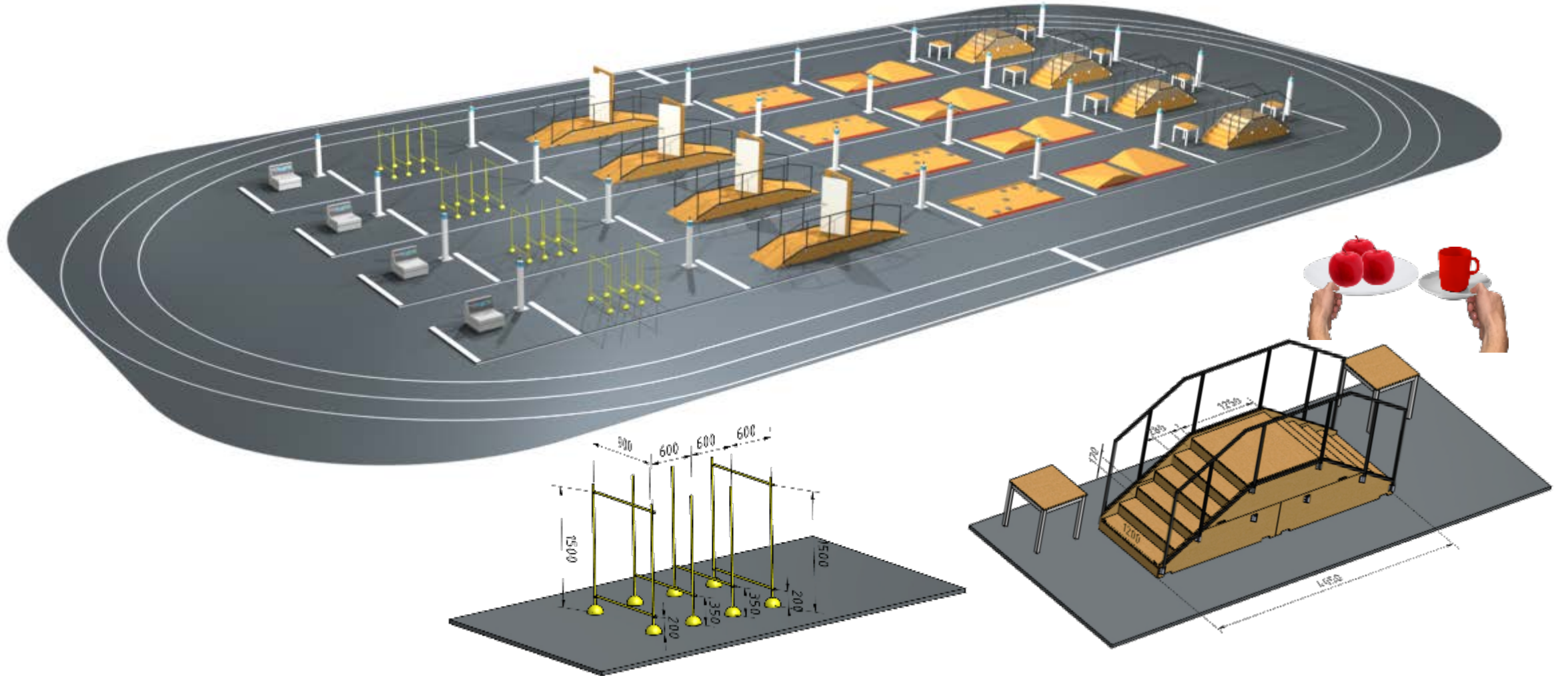




# Knieprothesenrennen



# Knieprothesenrennen





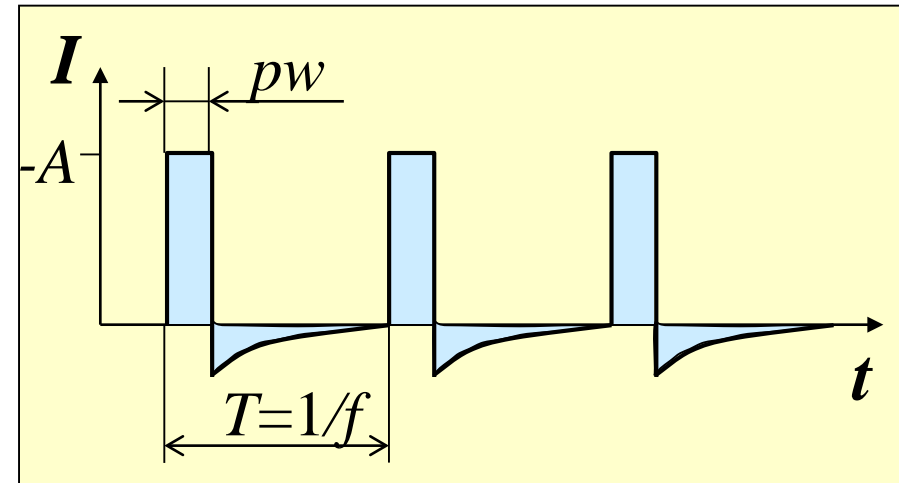
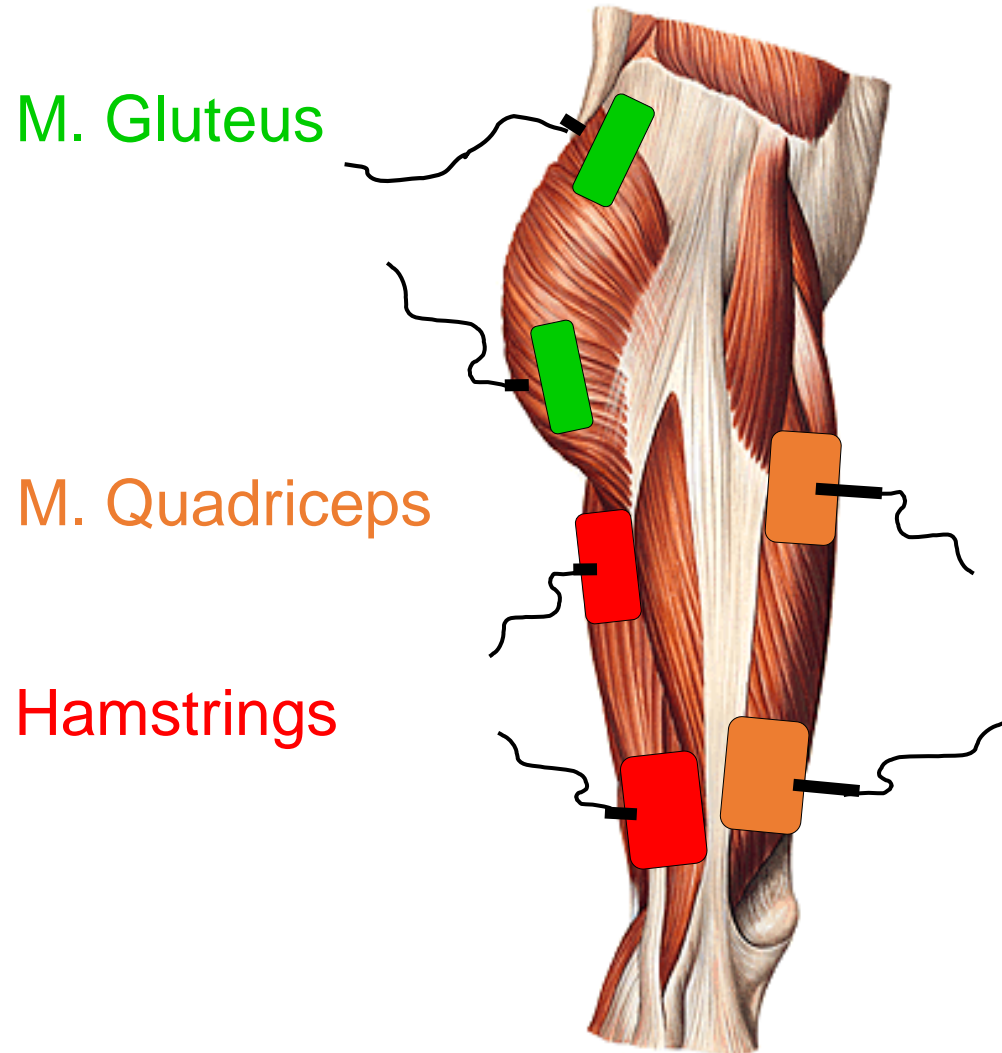




# Radrennen mit künstlicher Muskelstimulation



# Funktionelle Muskelstimulation



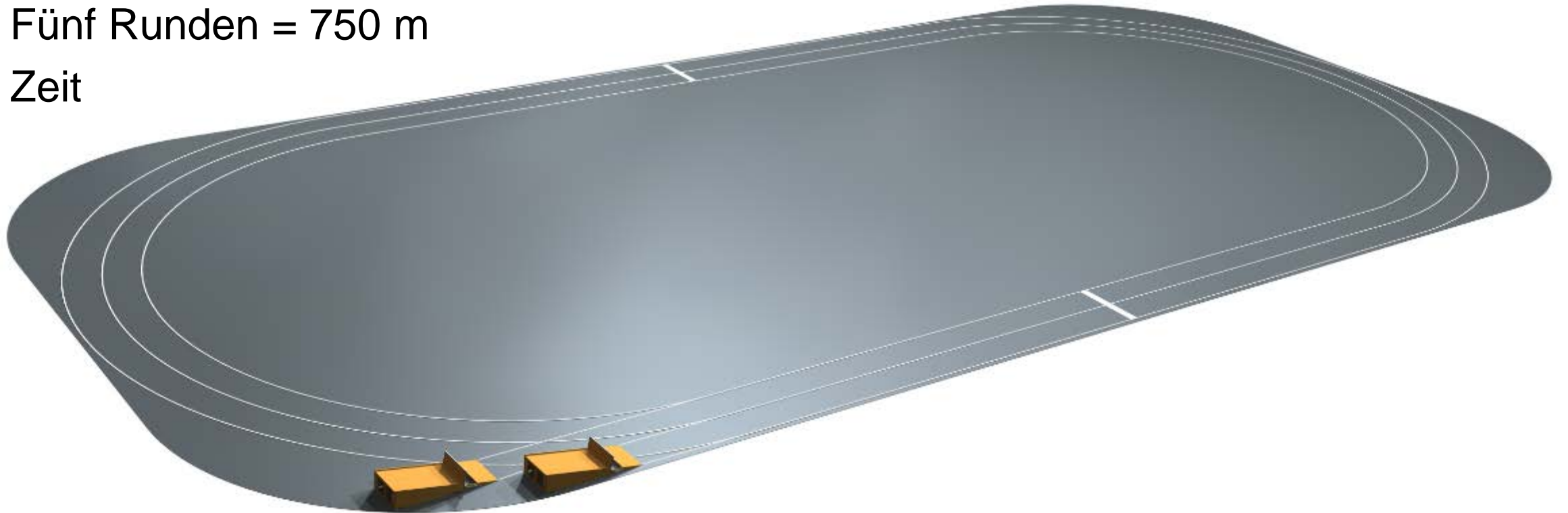




# Radrennen mit künstlicher Muskelstimulation

## Rennkriterien

- Zwei parallele Bahnen
- Fünf Runden = 750 m
- Zeit





# Medieninteresse

>1'000 Berichte, >4'600 Youtube Filme



Neue Zürcher Zeitung

nature



The Washington Post



The New York Times



讀賣新聞

THE YOMIURI SHIMBUN



Süddeutsche Zeitung



The INDEPENDENT

SCIENTIFIC AMERICAN





# Cyathlon ist mehr!















# BBC: «The Most Striking Photo of the Year»





