

RISE – Exoskelettentwicklung für Querschnittgelähmte

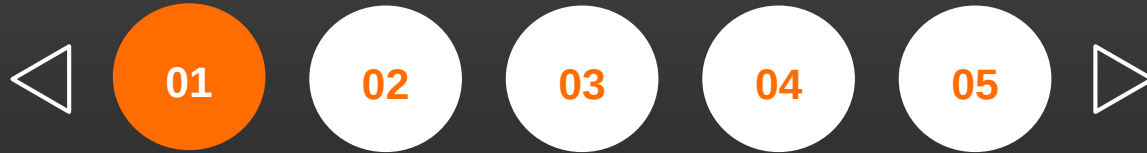
Freitagsrunde – TechTalk

Vivian Waldheim | Lukas Schneidewind | RISE | 07.12.2023



Agenda

- 01 Die Vision
- 02 Das Team „RISE“
- 03 Exoskelette – Chancen und Herausforderungen
- 04 Der Entwicklungsprozess eines Exoskeletts
- 05 Expertise erwünscht!

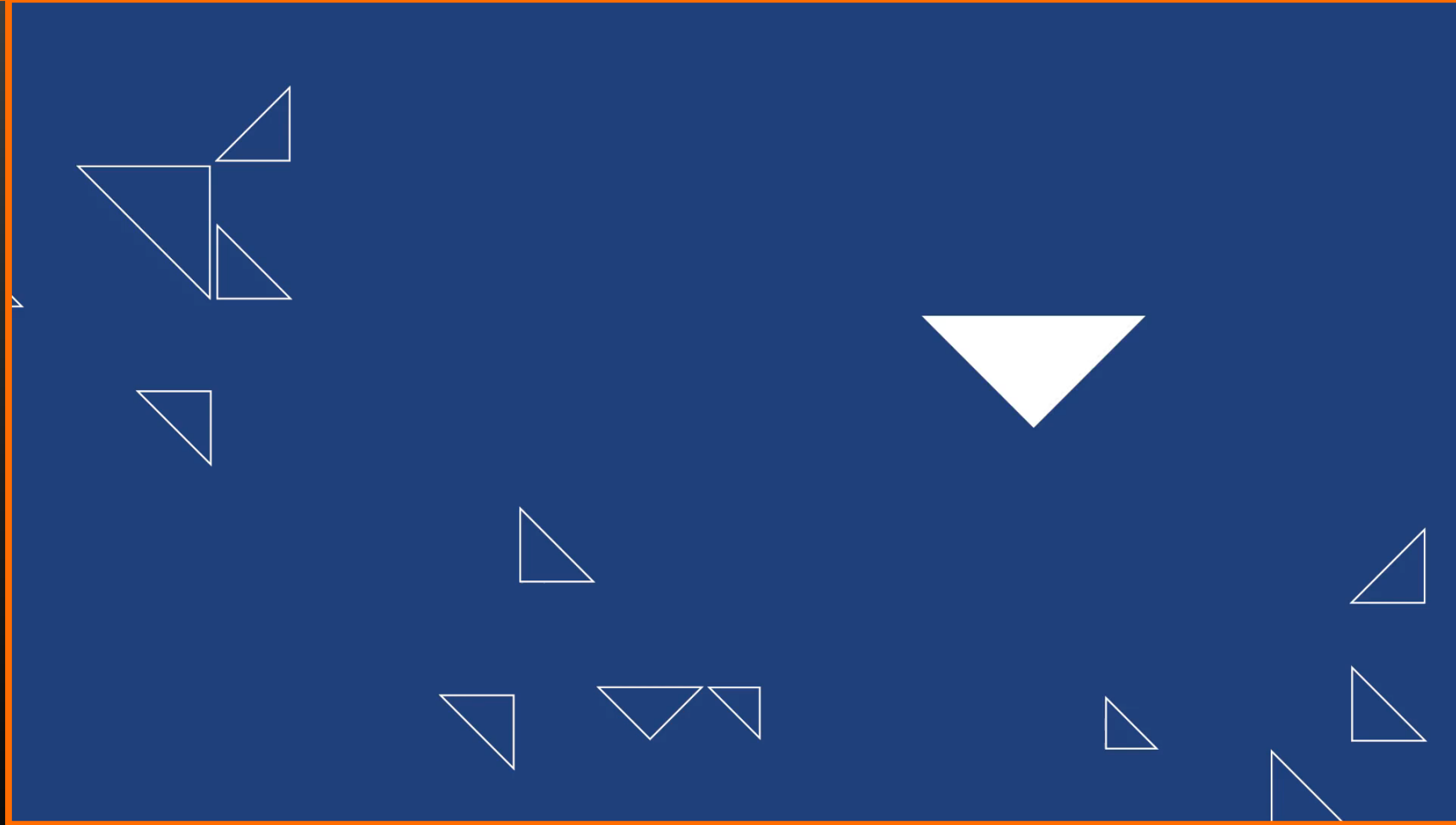


Vision

CYBATHLON 2024

- Wettbewerb für einzigartige Hilfsmittelentwicklungen
- Die Piloten sind Menschen mit körperlichen Beeinträchtigungen
- Teams aus der ganzen Welt treten gegeneinander an
- **Und wir können ein Teil davon werden!**

Die Vision



[1]

RISE

Research and innovation in student exoskeleton development

Projektschwerpunkte und -ziele:

1. Entwicklung eines Exoskeletts für Querschnittgelähmte
2. Nutzendenzentrierte Entwicklung gemeinsam mit querschnittgelähmte*r Pilot*in
3. Studierendenteam zur Teilnahme am CYBATHLON 2024
4. Praxisnahes Lehrmodul wie FASTTUBE (Formula Student)

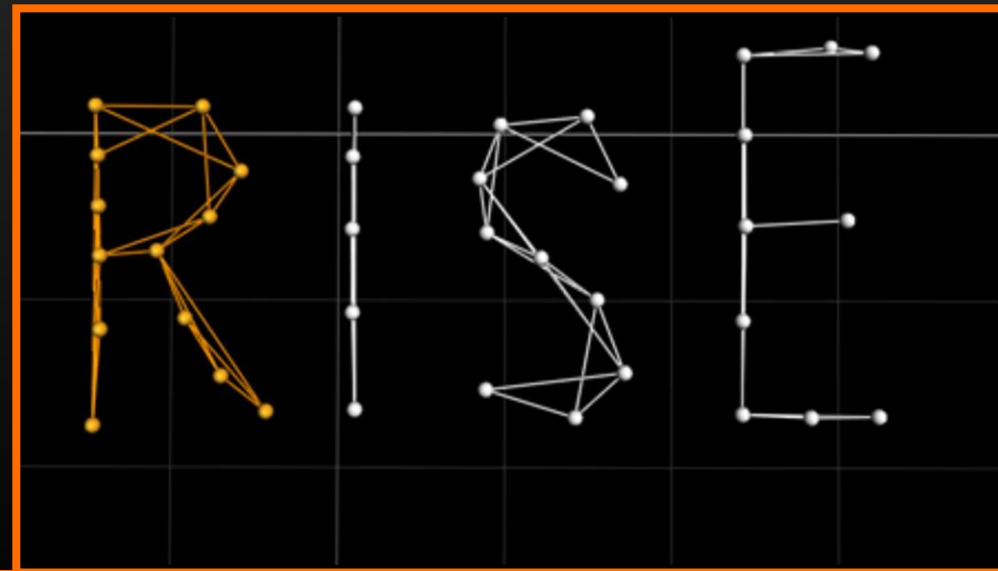


Die Vision

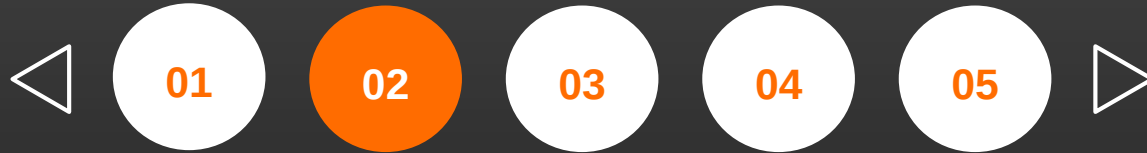


Und auf dem Weg dorthin:

- Vertieftes Wissen rund um die Thematik der Exoskelette und der Entwicklung von Medizinprodukten
- Selbstständiges Arbeiten in Kleingruppen
- Umsetzen von theoretischen Auslegungen in die Praxis
- Erproben eigener Konzepte mit selbstdefinierten Prüfmethoden
- Interdisziplinärer Austausch im studentischen Team und mit querschnittgelähmten Menschen



RISE



Das Team

Das Team



Prof. Dr.-Ing. Marc Kraft
Leiter FG Medizintechnik

Teamleitung

Team Manager:
M.Sc. Lukas Schneidewind
WiMi
Tel.: +49 30 314 21087
l.schneidewind@tu-berlin.de



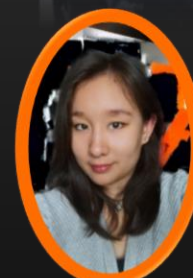
Regelungstechnik:
M.Sc. Enni Mattern
WiMi
(FG Regelungstechnik)
Tel.: +49 30 31477355
enni.mattern@tu-berlin.de



Biomechanik
und Ethik:
M.Sc. Vivian
Waldheim
WiMi



Regelungs- und
Elektrotechnik:
B.Sc. Guido
Hintze
Tutor



Projektmanagement
und Informatik
Projektwerkstatt
Celine Schröder
Tutorin

Projekt- werkstatt



UX-Design/
Konstruktion
Projektwerkstatt
vakant – in Aus-
schreibung bis 09.25
Tutorin

Das Team

Aktuelles Team: Wintersemester 2023/24



Sommer-
semester
2023



Winter-
semester
2022/23



Das Team

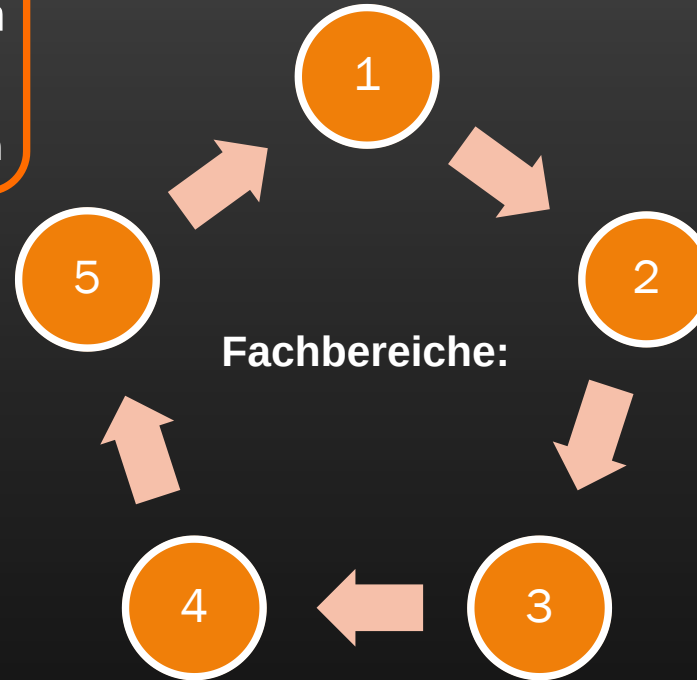
Ganganalyse und -simulation

- 5_S1 – Bewegungsanalyse – Motion Capture und Simulation

Human Machine Interaction

- 4_H1 – UX-Design
- 4_H2 – Design & Programmierung des User-Interfaces
- 4_H3 – PR & Webdesign
- **4_H4 – Test und Audit-Team**

Fachbereiche:



Konstruktion

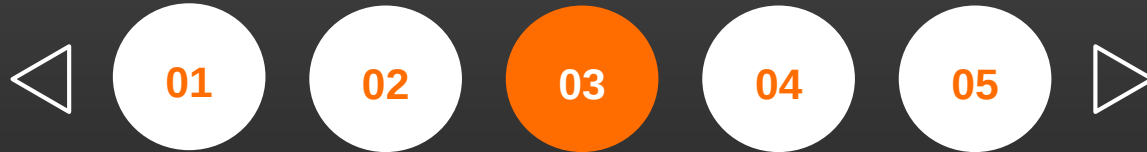
- 1_K1 - Rahmen u. Fixatoren
- 1_K2 - Aktorik Knie & Hüfte
- 1_K3 - Aktorik Sprunggelenk

Elektrotechnik und Elektronik,

- 2_E1 - Bus/Controllerstrategie
- 2_E2 - Energieversorgung/ Verkabelung/ Personenschutz

Steuerung und Regelung

- 3_R1 – Motorsteuerung/-regelung
- 3_R2 – Balance-Sensorik und Embedded Systems
- 3_R3 – Gleichgewichtsregelung und Forward Kinematics 1, 2 & 3



Exoskelette - Chancen und Herausforderungen

CYBATHLON EXOSKELETONS



[2]

Definition Exoskelett nach ASTM (übersetzt)

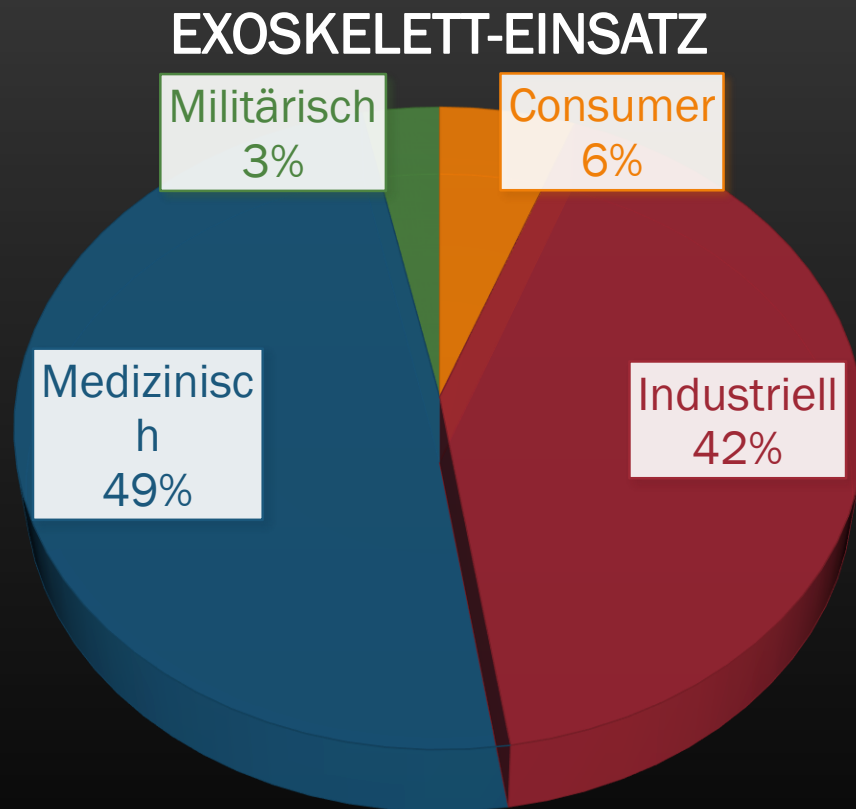
„Ein Exoskelett ist ein tragbares Gerät, das die körperliche Aktivität durch mechanische Interaktion mit dem Körper unterstützt, ermöglicht, fördert und/oder verbessert.“ [5]

Wordcloud – Chancen und Ängste des Exoskeletteinsatzes



<https://www.menti.com/alw2mmoowguw>

Anwendungen und Eigenschaften



Anwendung

- **Assistenz** 
- Therapie
 - Pädiatrisch (kindermedizinisch) 
 - Forschung
- Verstärkung (Augmentation)
 - Aufnehmen und Tragen 
 - Rückenstütze
 - Stuhlloser Stuhl 
 - Verletzungsprävention
 - Sport 
 - Werkzeughaltung 
- Rekuperation (Energy Harvesting) 

[3]



Anwendungen und Eigenschaften



Leistungsabgabe

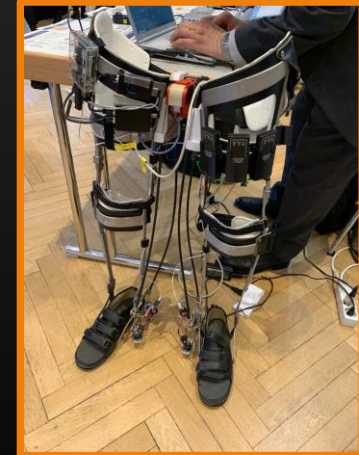
- Passiv
- (Quasi-)Passiv/
- Aktiv
- Hybrid

Unterstützte Extremitäten

- Ganzkörper
- Teillösungen Unter-/Oberkörper

Art des Systems

- Gebunden
- Autonom

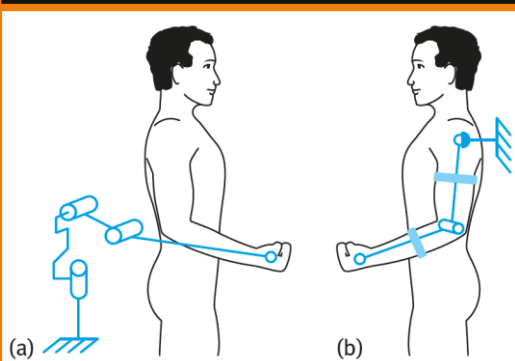


Führung

- Endpunktbasiert
- Kin. (non) äquivalent
- Soft-Exo-Suit

Kinematik

- Parallel
- Seriell



[4]

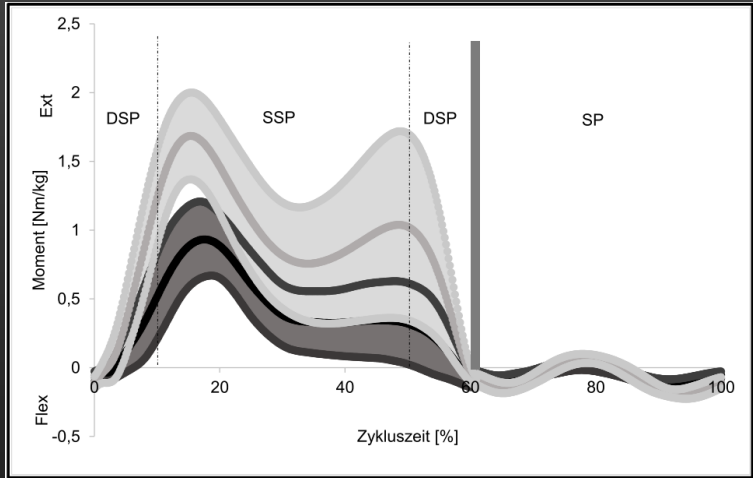
RISE

Folie 16

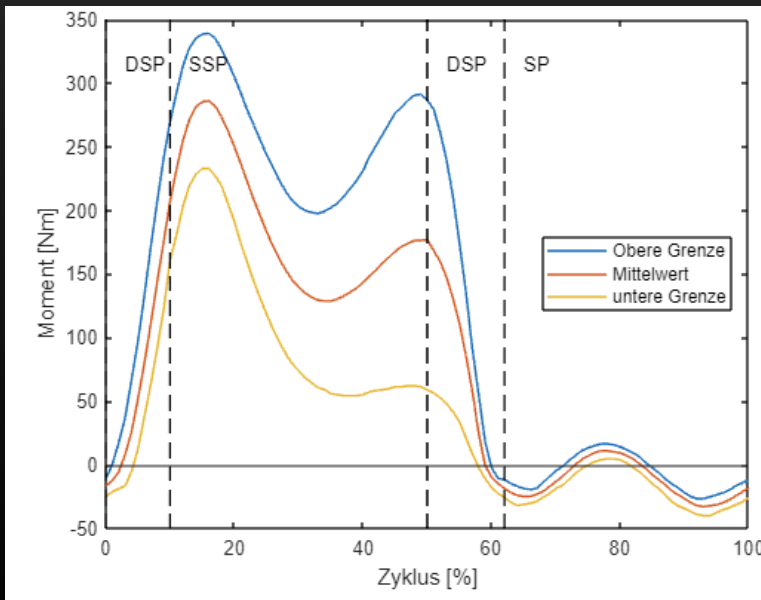
Herausforderungen

- Der Menschliche Bewegungsapparat ist unerreicht in
 - *Effizienz*
 - *Leistungsdichte*
 - *Sensorik*
 - *Regelungsfähigkeit*

Leistungsanforderungen



[5]



- Sehr hohe Spitzenmomente, teilweise sehr hohe Leistungen in
 - Mehrere Muskelgruppen mit unterschiedlichen „Spezialitäten“ in einzelne Aktoren kombinieren
 - Niedrige Wirkungsgrade bei Kompakten Leistungswandlern
 - Größere Motoren → höhere Gewichte → mehr Leistungsbedarf → größere Motoren und Rahmenstrukturen
- Hohe Momente können Knochen brechen

Elektrotechnische Herausforderungen

■ Mobile Energiespeicherung

- *Hohe Leistungen müssen energetisch umgesetzt werden*
- *Energiewandlung:*
 - *Stromstärke und Drehmoment direkt abhängig, aber hohe Ströme führen zu Problemen*
 - *Temperatur*
 - *Grenzen der Leistungselektronik*
 - *Nichtlinearität bei magnetischer Sättigung*
 - *Kabeldurchmesser und Biegeradien*
 - *Hohe Spannungen brauchen für gleiche Momente mehr Wicklungen:*
 - *Schwerere Aktoren*

■ Datenübertragung

- *Hohe Anforderung an sensorischer Überwachung*
- *Insbesondere bei Gleichgewichtsregelung*
- *Große Datenbandbreite und Priorisierungsbedarf*
- *Sicherheitsvorgaben und Redundanzen*

■ Rechenleistung

- *Modellierung zur Regelung nur abstrakt abbildbar für Echtzeitanpruch*

Der Mensch im Zentrum

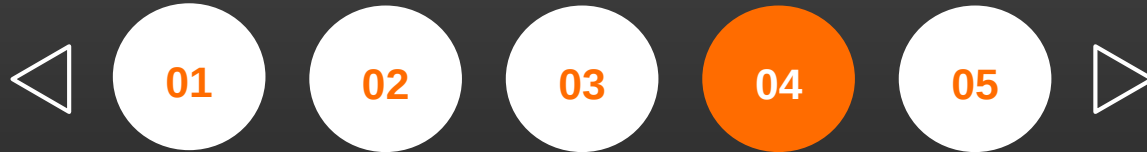
Bewegungsdefinition und Regelung

- Komplexe Bewegungsabläufe, Aufwendige Erfassung
- Vermeintlich geringe Winkelveränderungen führen zu großen kinetischen Auswirkungen
- Viele Freiheitsgrade, die physiologisch abgebildet werden könnten/sollten?
- Choreographieren der einzelnen Aktoren miteinander → Gleichgewicht

Mensch und Ethik

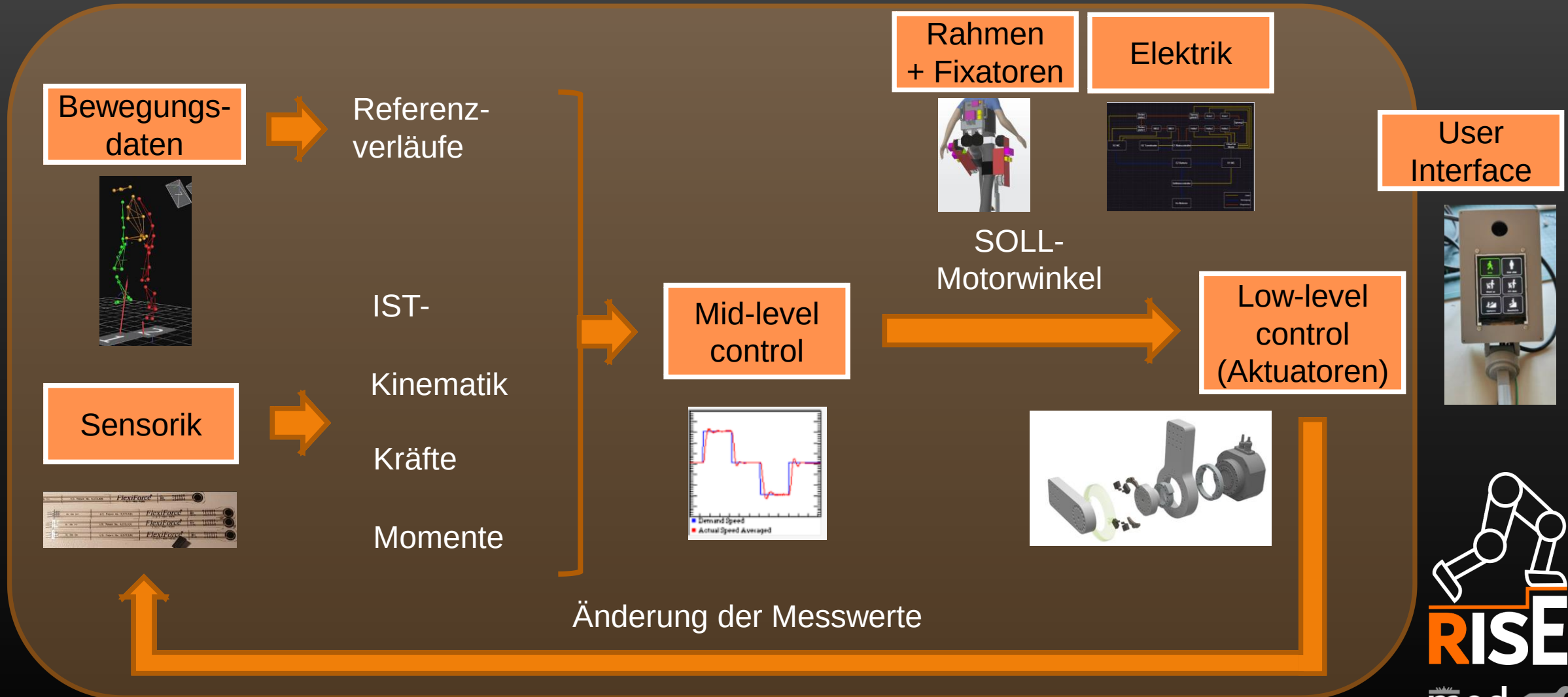
- Fehlbedienung muss ausgeschlossen werden
- Redundanzen vorsehen (mehr Gewicht, Komplexität und Ausfallmöglichkeiten)
- System darf auf gar keinen Fall Range of Motion verlassen → Verletzungsgefahr
- Sicherheitskonzept (Nothalt)

→ Hohe Anforderungen an Risikomanagement

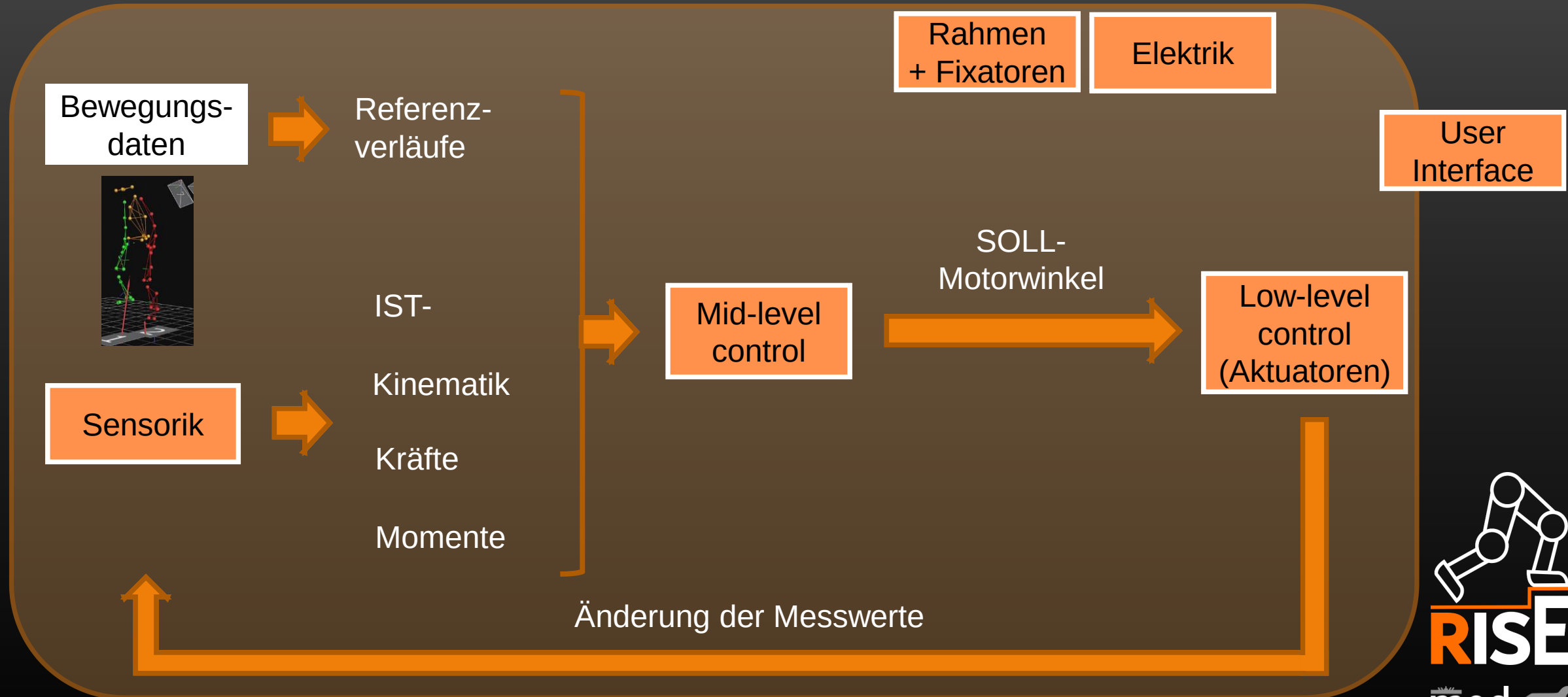


Der Entwicklungsprozess eines Exoskeletts

Funktionsweise

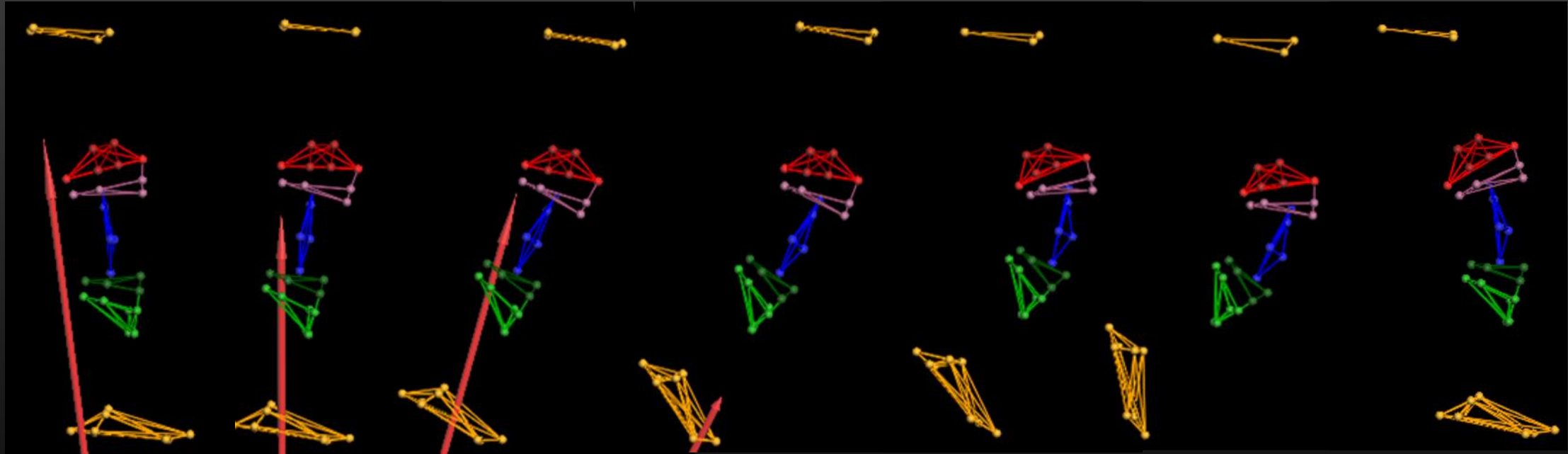


Funktionsweise



Bewegungsanalyse

Der Gangzyklus



Standphase

Schwungphase

Single Support (rechts)

Single Support (links)

0 %

15 %

45 %

60 %

Aufsetzen
des Fußes

Ablösen
des Fußes

RISE

24

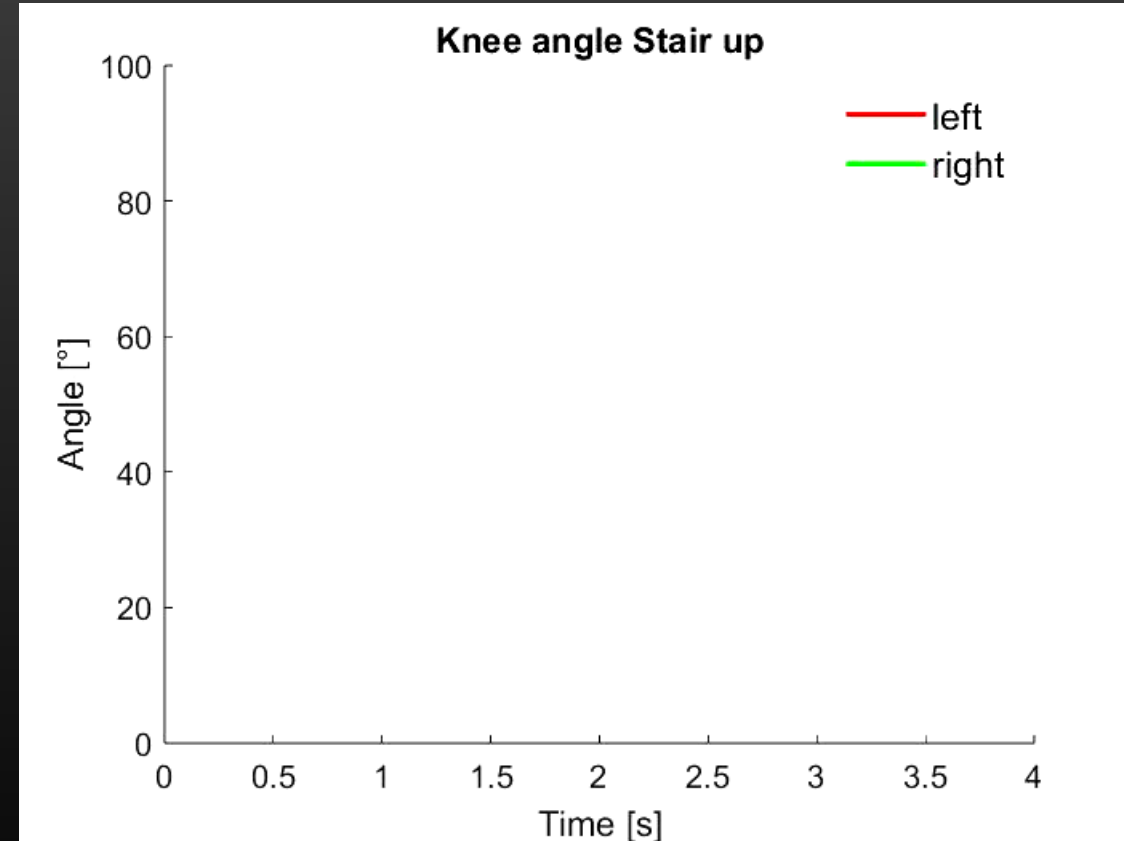
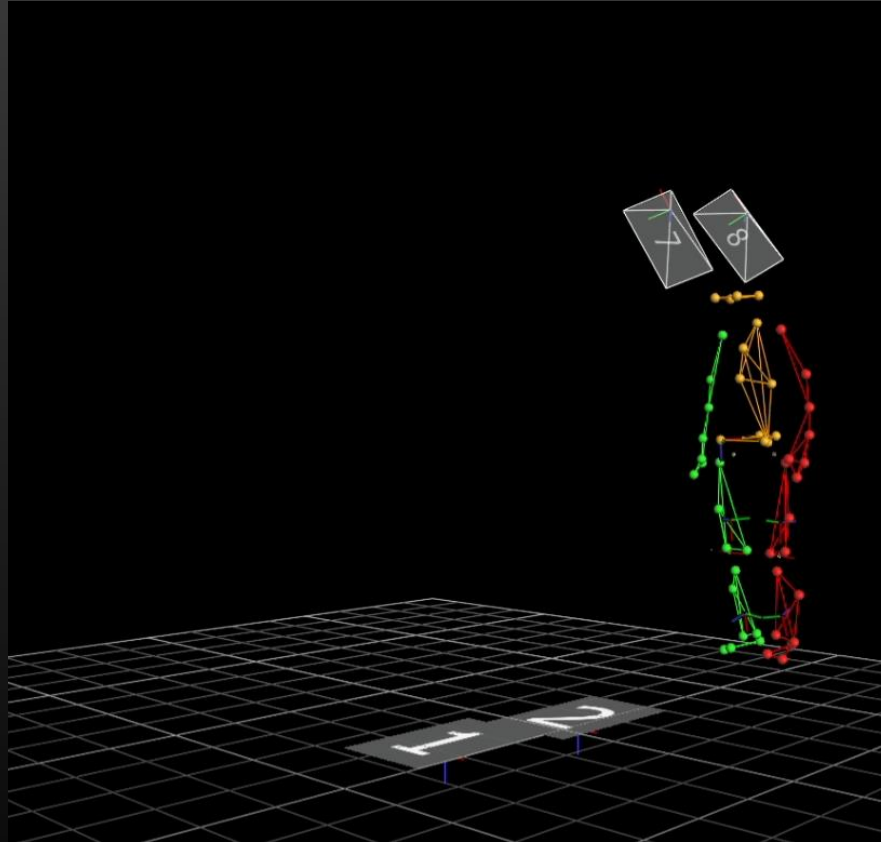
Bewegungsanalyse

- 10 Infrarotkameras
- 1 HD-Kamera
- 2 Kraftmessplatten + Verstärker
- 1 Synchronisierungseinheit
- Software: Vicon Nexus 2.12

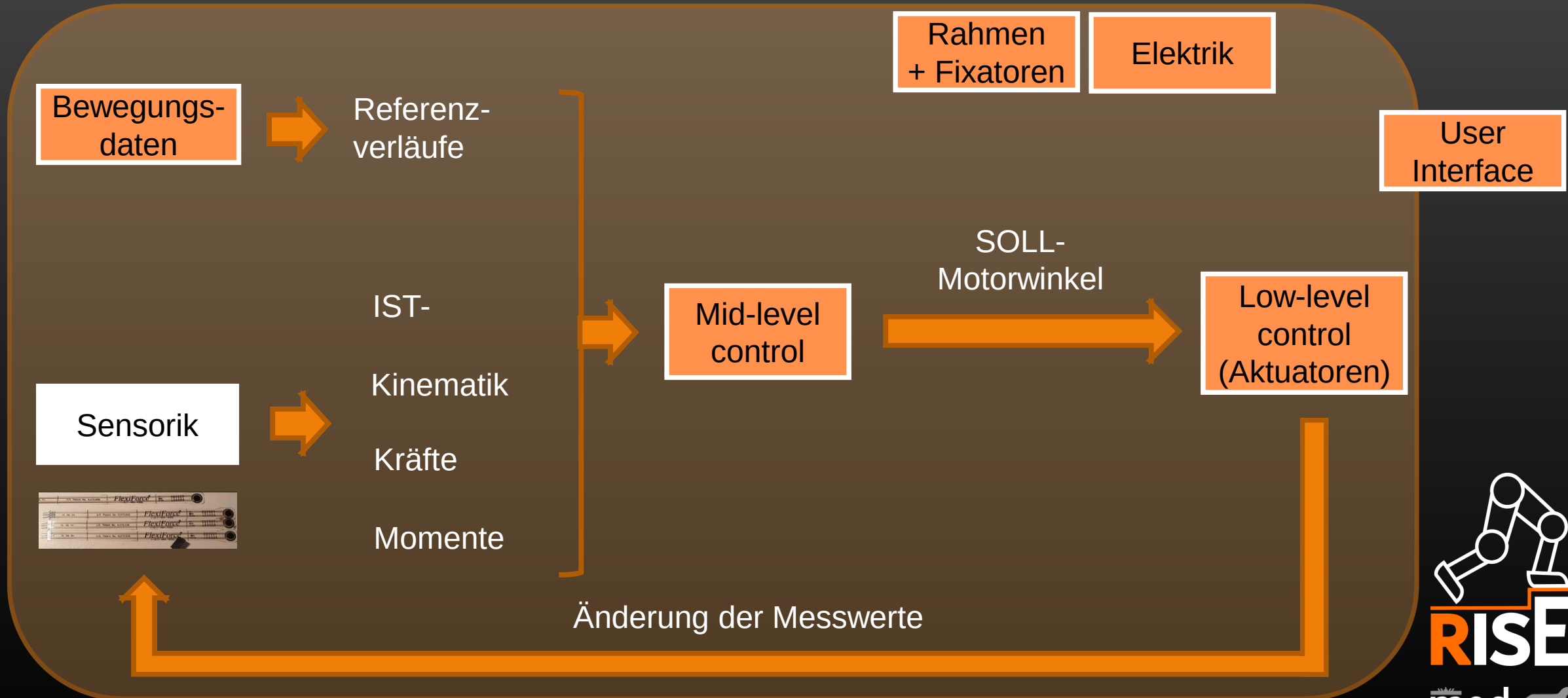
- Erweiterungsmodule für:
 - *Hinsetzen/Aufstehen*
 - *Treppensteigen*
 - *Dynamisches Beinschwingen*
 - *etc.*



Bewegungsanalyse

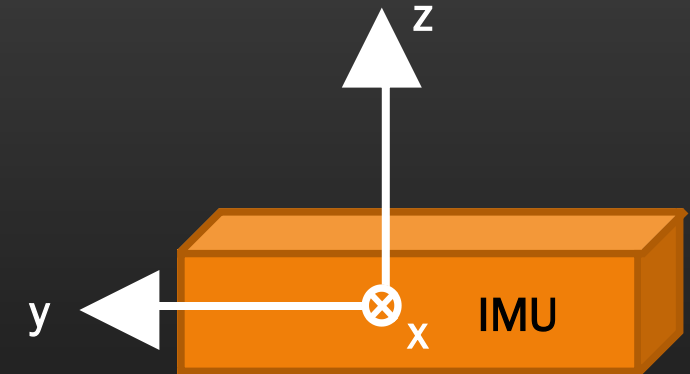


Funktionsweise



Sensorik

- Inertial Measurement Units (IMU)
 - Accelerometer
 - Gyroskop
 - (Magnetometer)
 - Orientierungsschätzung durch Sensor Fusion
 - Winkelberechnung durch Rotationsmatrizen (Eulerwinkel) oder Quaternionen
- Bestimmung der Oberkörperausrichtung → Gleichgewicht
- Bestimmung der aktuellen Segmentausrichtungen
- Herausforderungen:
 - Drifts durch Integration von Rauschen
 - Gimbal Locks (Unstetigkeiten, vor allem bei Eulerwinkeln)



Sensorik

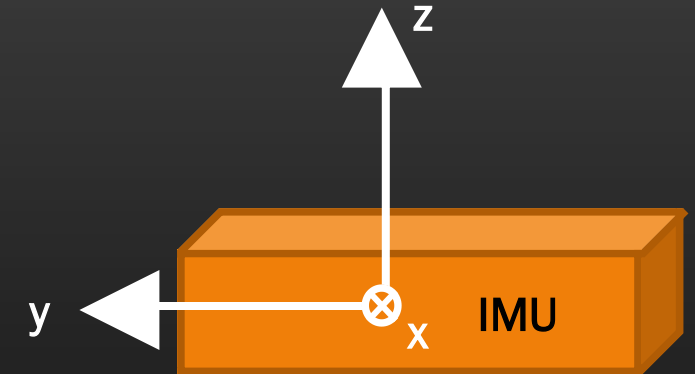
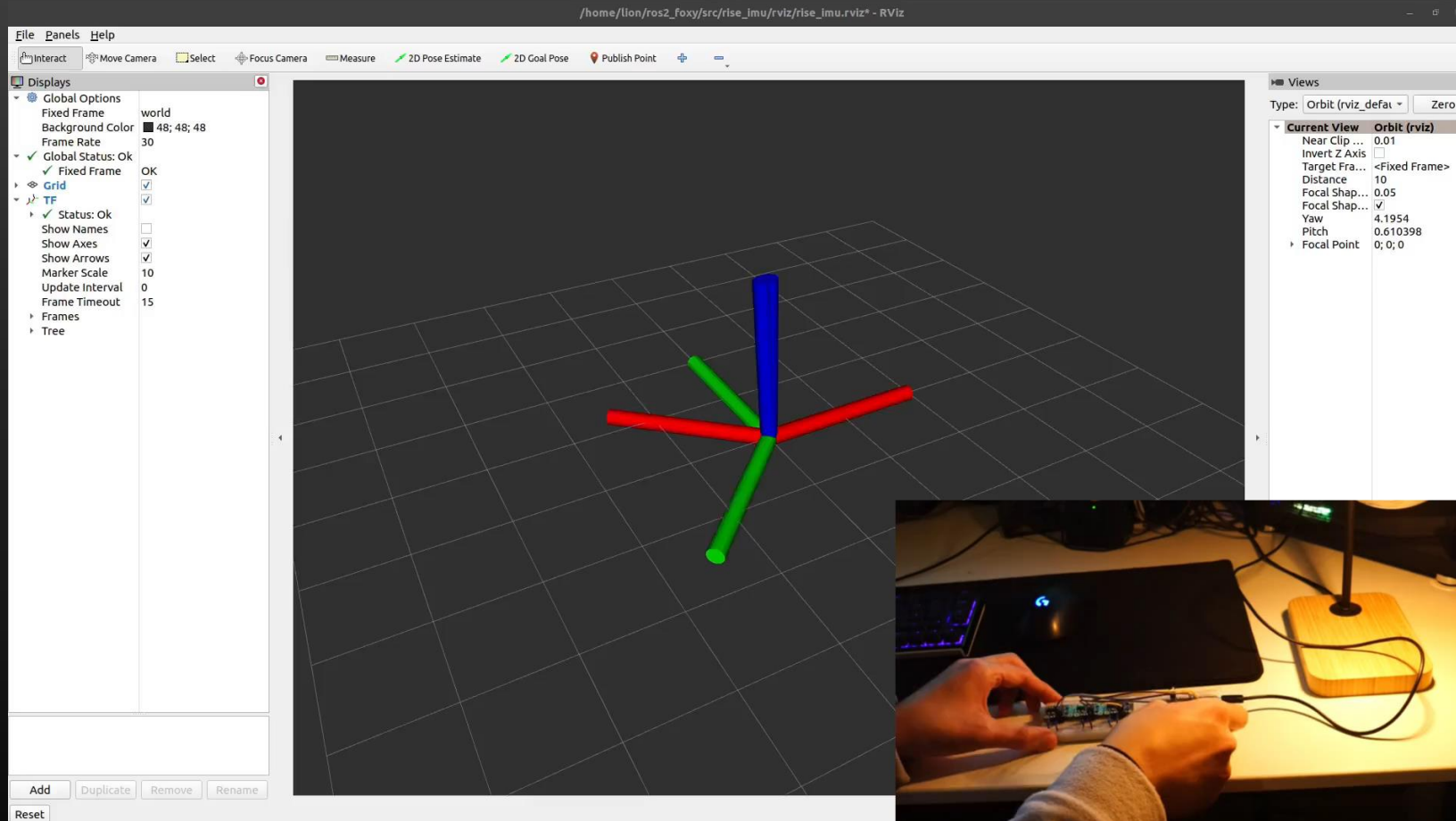
01

02

03

04

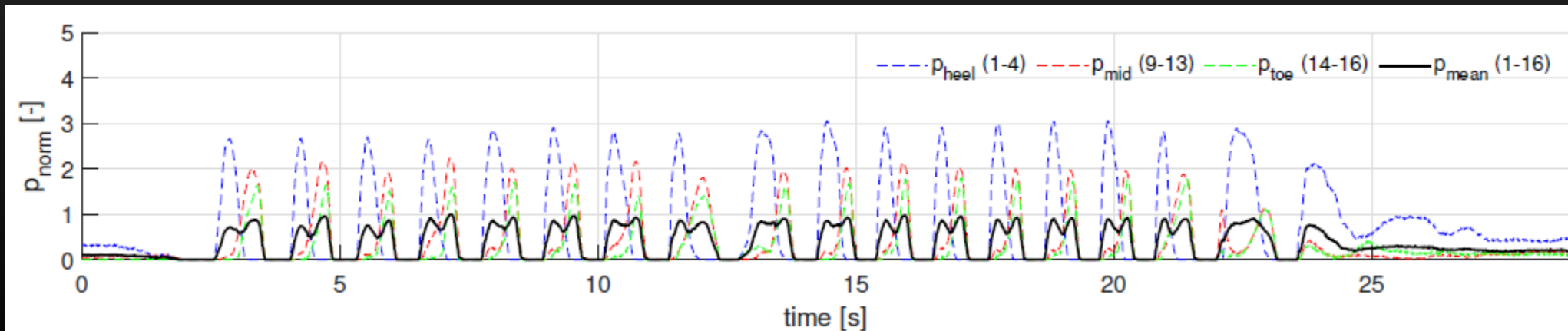
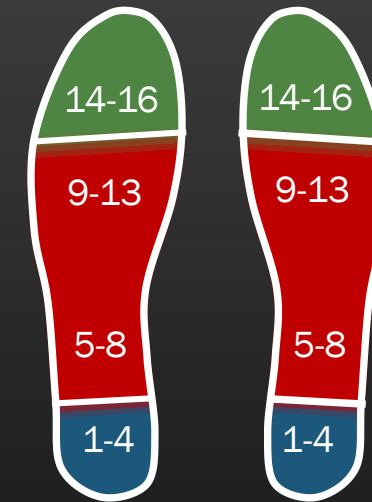
05

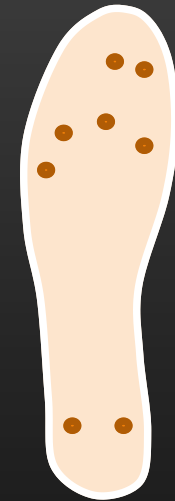
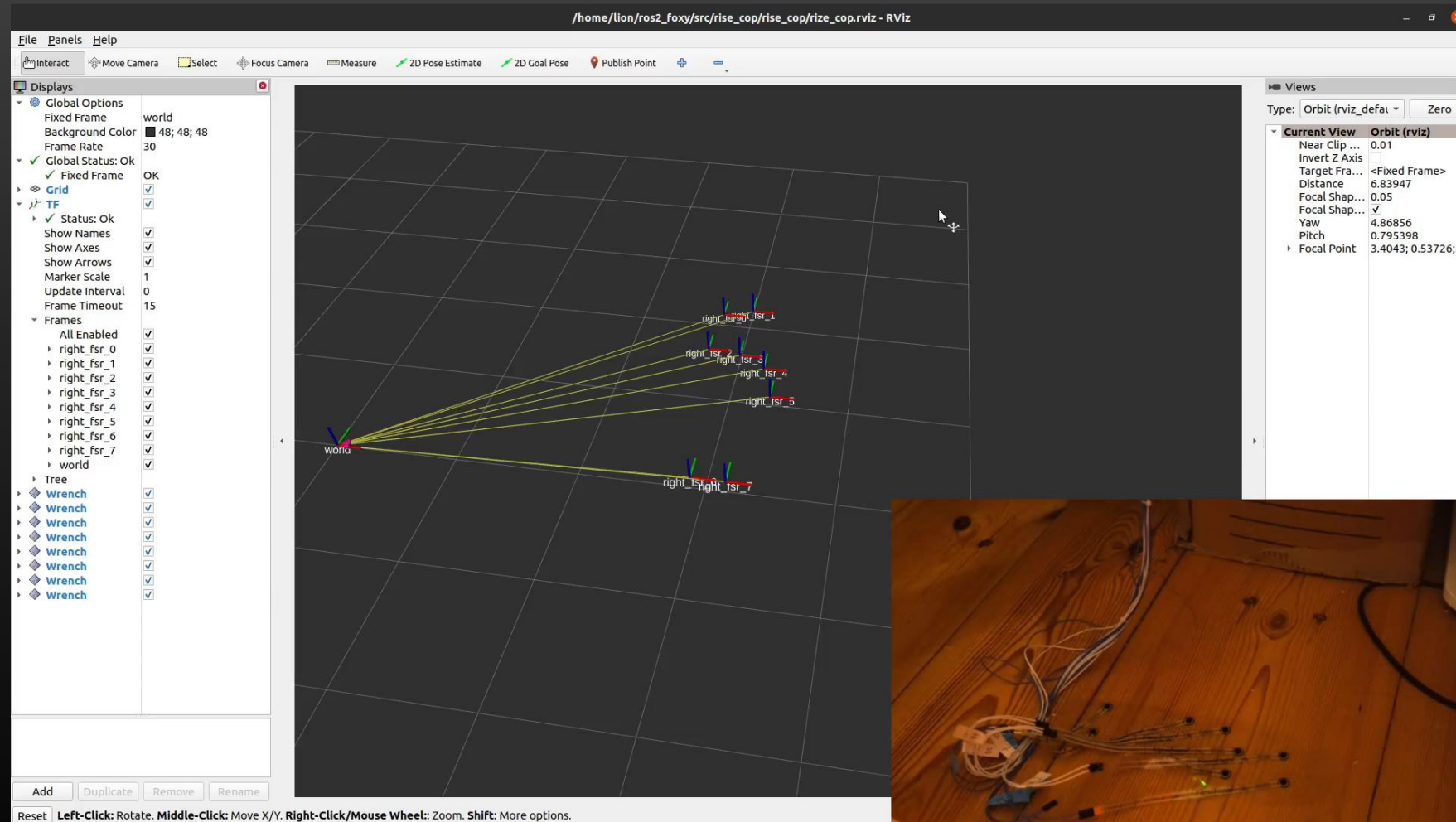


Adafruit2472 mit BNO055

Sensorik

- Druck-/Kraftsensorik unter den Füßen
 - Detektion des Auftretens des Fußes
 - Bei flexibler Fußplatte Bestimmung der Gangphasen
 - Schwerpunktbestimmung → Gleichgewichtsregelung





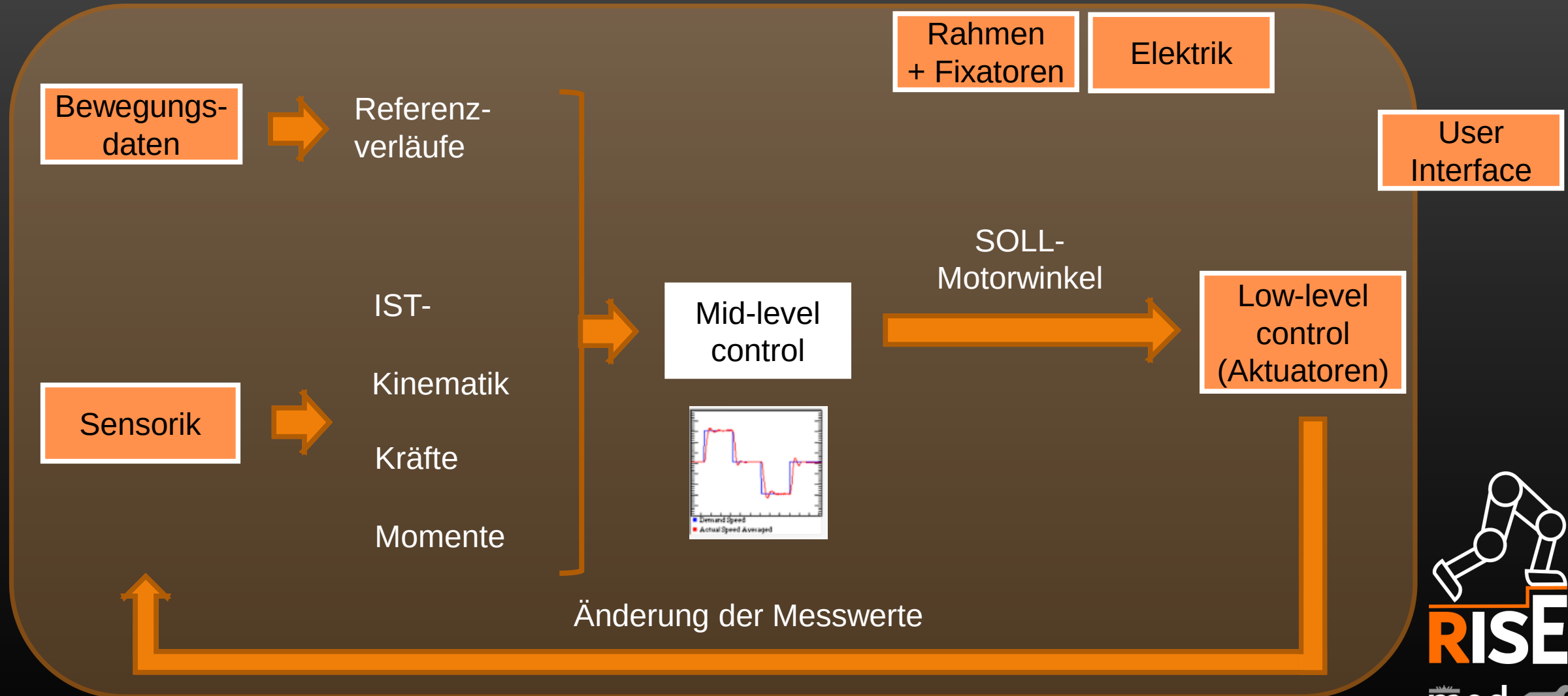
FlexiForce FSR-Sensoren

Sensorik

- Distanzsensoren
 - *An den Füßen zur Hinderniserkennung (z.B. Stufe, Bordsteinkante)*
 - *Unter der Rückenplatte zur Sitzhöhenerkennung*
- Als Erleichterung z.B. beim Hinsetzen und Treppensteigen
- Mögliche Konzepte:
 - *Ultraschall*
 - *Light Detection and Ranging (LIDAR)*



Funktionsweise

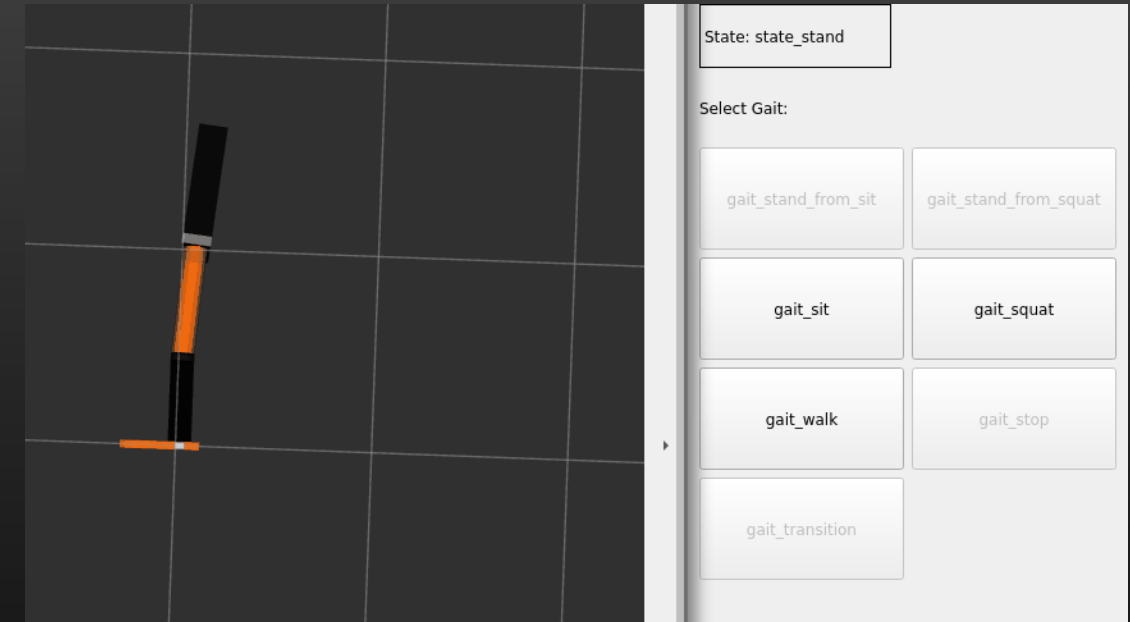


Mid-level control

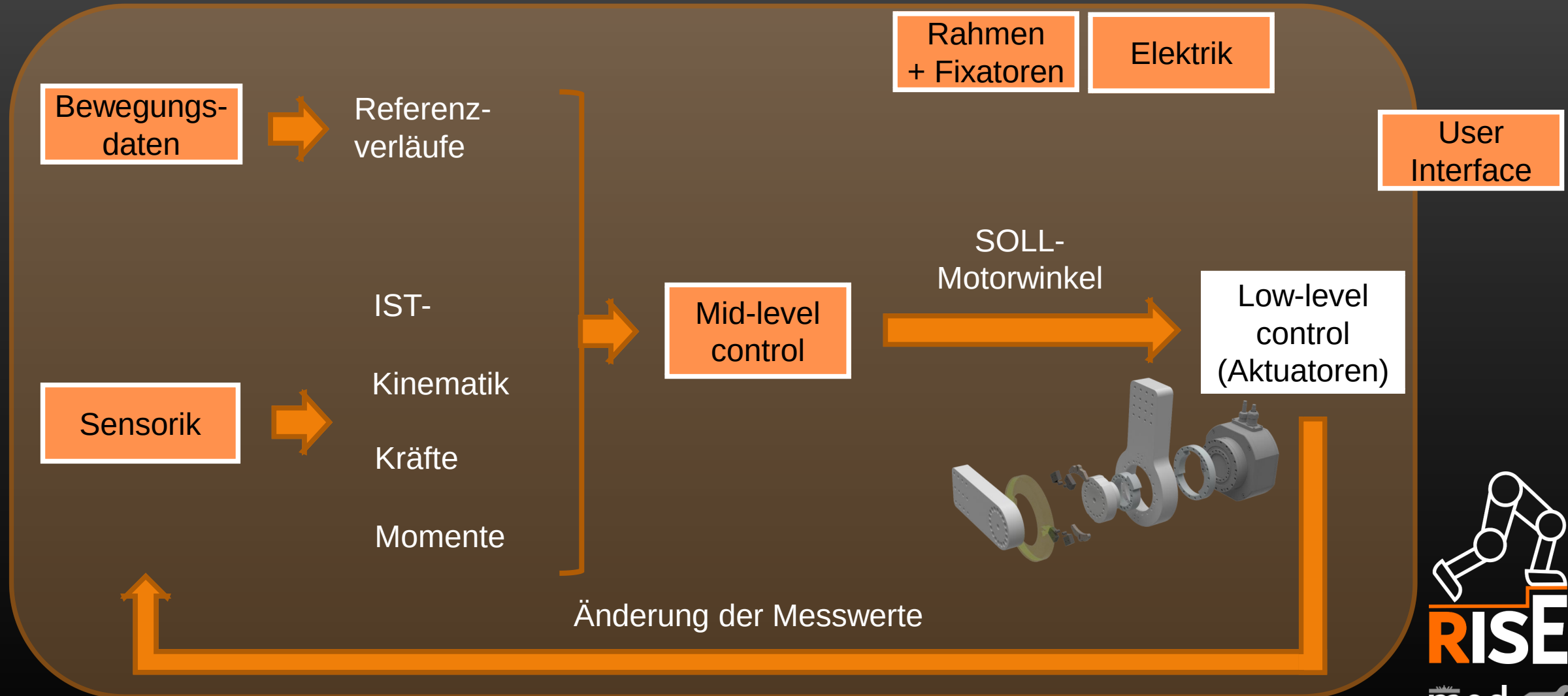
- Welche Positionierung haben die Motoren zum aktuellen Zeitpunkt?
 - Welche Positionierung hat der Mensch zum aktuellen Zeitpunkt?
-
- Wie ist die Differenz zwischen aktueller Position und vorgegebener Position?
 - Ist die aktuelle Positionierung physiologisch?
 - In welcher Phase der Bewegung befindet sich der Mensch?
 - Ist der Mensch im Gleichgewicht?
 - ...

Mid-level control

- Welche Eingabeparameter müssen die Aktoren als nächstes erhalten?
 - *Sind die Gelenkstellungen dann immer noch physiologisch?*
 - *Bleibt der Mensch im Gleichgewicht?*
 - *Ist die Bewegung kollisionsfrei?*
 - *(Können die Aktoren die Bewegung gewährleisten?)*
- Simulationen mit ROS/Gazebo



Funktionsweise



Aktuatorik als Grundelement des Antriebsstrangs

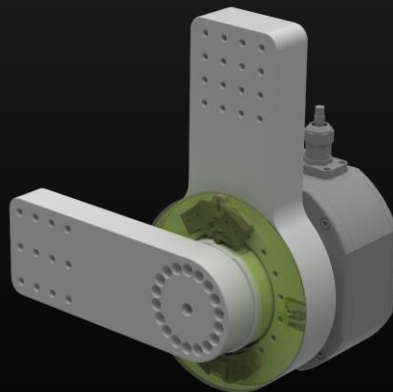
Antriebsstrang:

Antrieb

Mechanische
Übersetzung

Sensorik

- Aktuatorik erzeugt die Bewegungsenergie
- Physiologische Freiheitsgrade vs. technisch sinnvoll



Aktuatorik als Grundelement des Antriebsstrangs

Leistungsstrang:

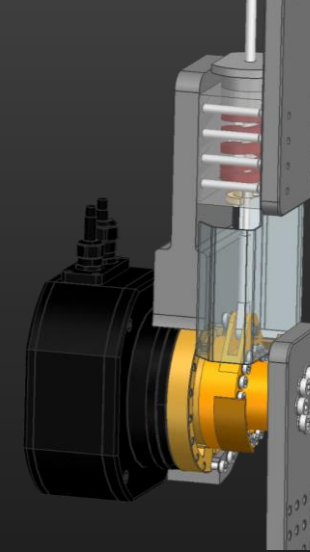
Antrieb	Mechanische Übersetzung	Steuerung/ Sensorik
Translatorisch	Passiv	Aktiv
Rotatorisch	Feder	Elektrisch
	Dämpfer	Pneumatisch
		Hydraulisch



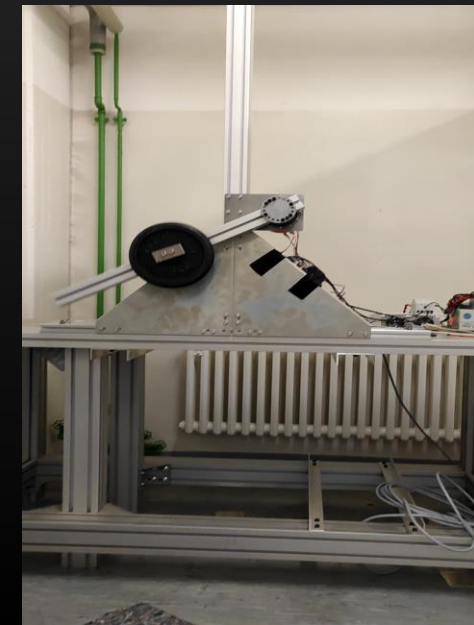
RISE



Ottobock C-Leg



ReWalk Antriebsstrang



38

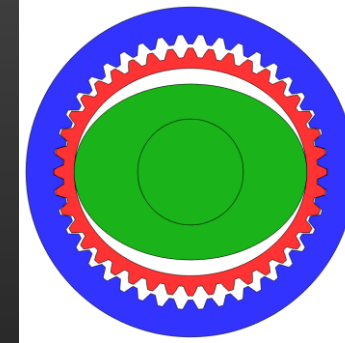
Aktuatorik als Grundelement des Antriebsstrangs

Leistungsstrang:

Antrieb

Mechanische
Übersetzung

Steuerung
/Sensorik



[6]



Roll-
/Zugmittel

Koppelgetriebe/
Vielgelenkkette

Formschl.
Getriebe

Kurvengetriebe

Welletriebe

Stufenlose
Getriebe

Uvm...



RISE



Aktuatorik als Grundelement des Antriebsstrangs

Leistungsstrang:

Antrieb



Mechanische
Übersetzung

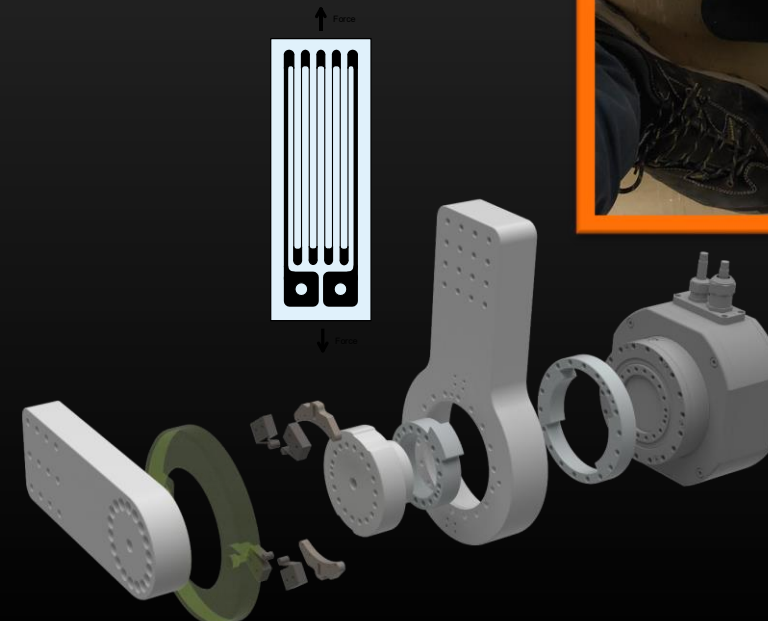
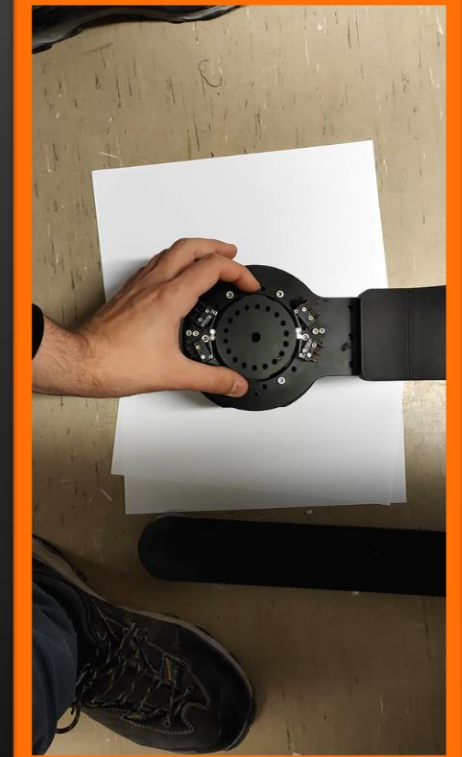
Steuerung
/Sensorik

Servodrive

Drehwinkel-
messung

Endbereich-
überwachung

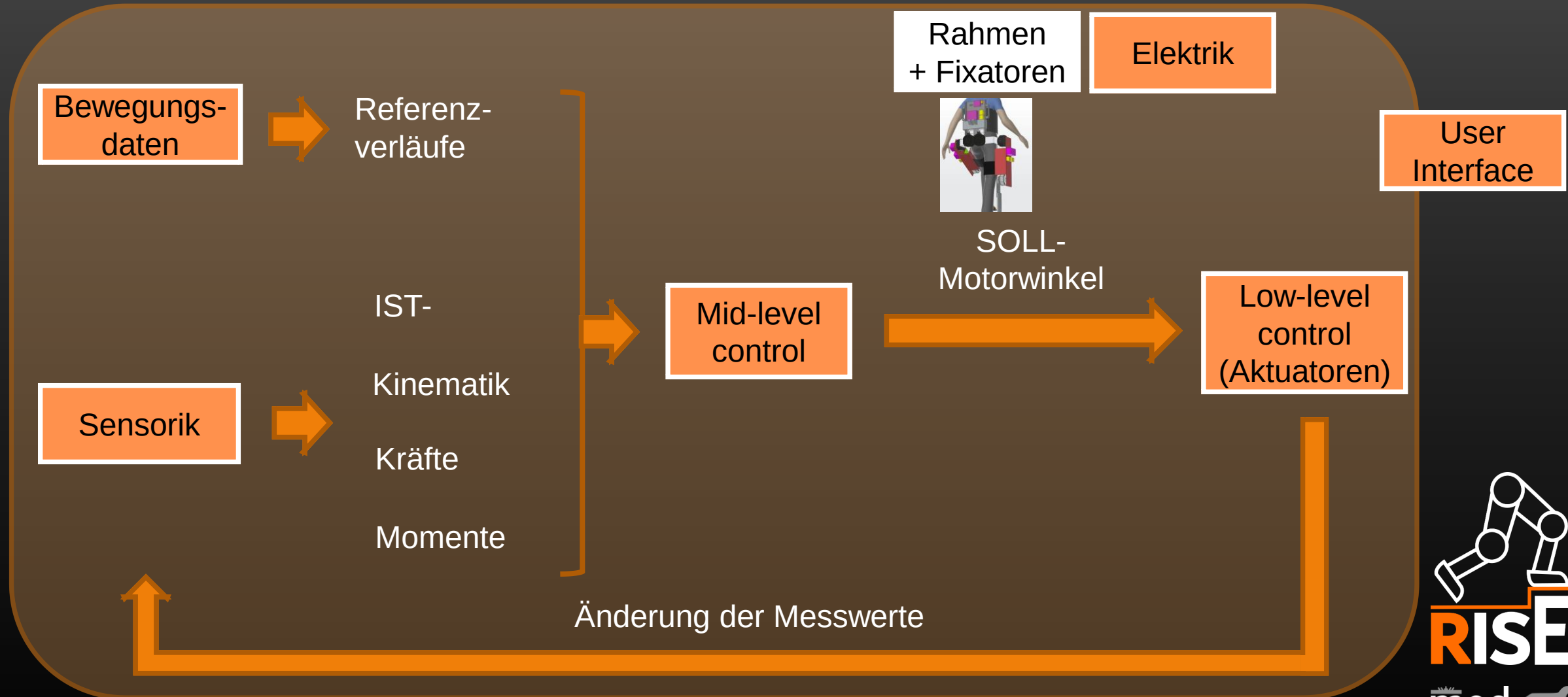
Drehmoment-
überwachung



RISE

40

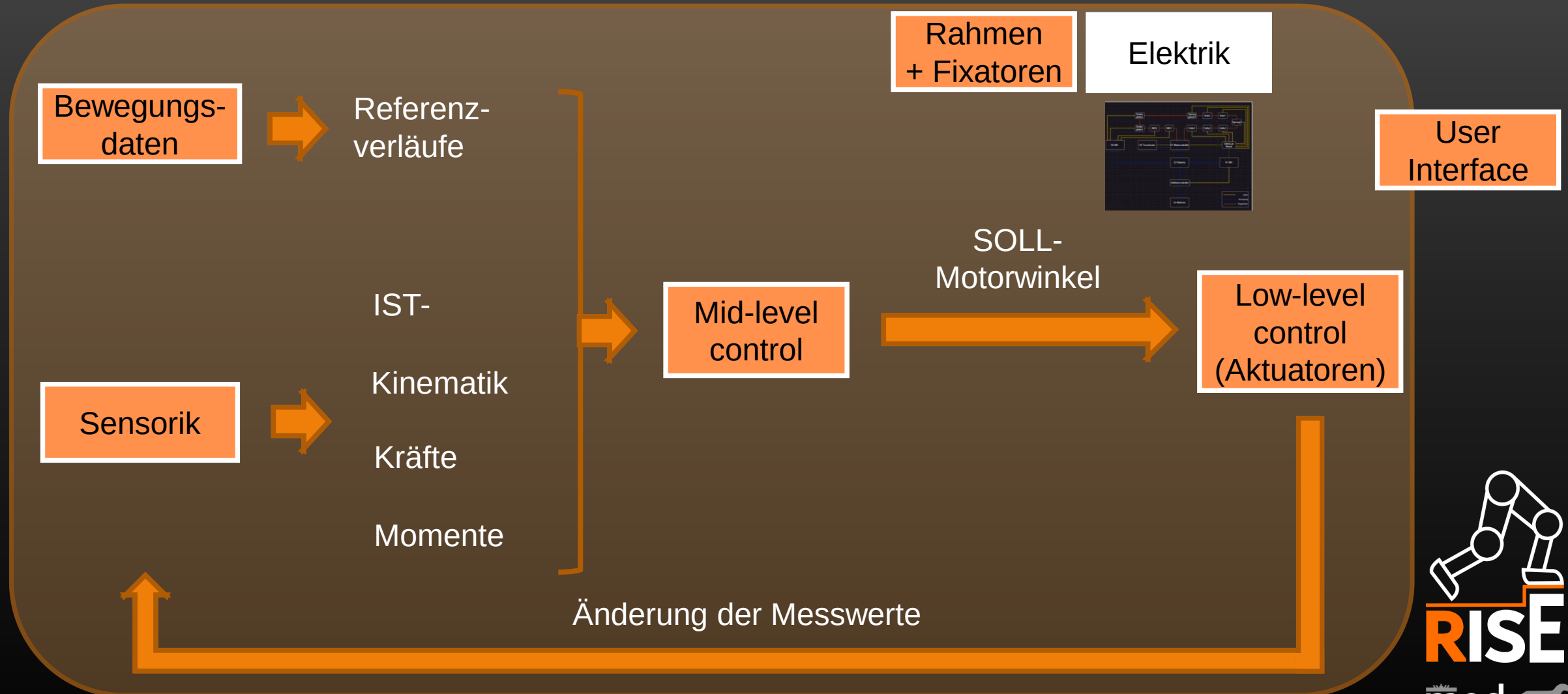
Funktionsweise



Rahmen und Fixatoren



Funktionsweise



Datennetzwerk (RISE) EtherCAT – ROS2



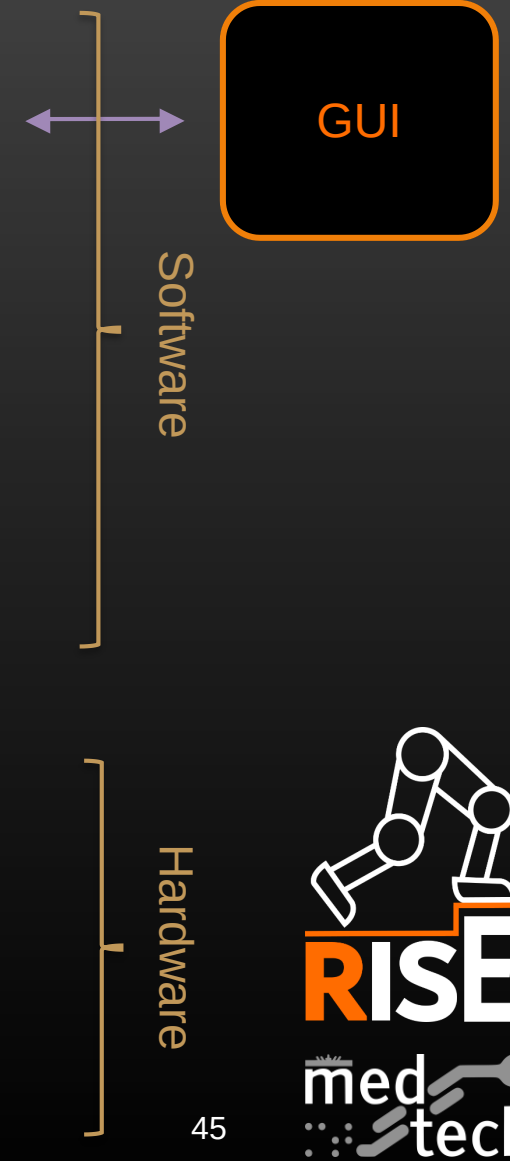
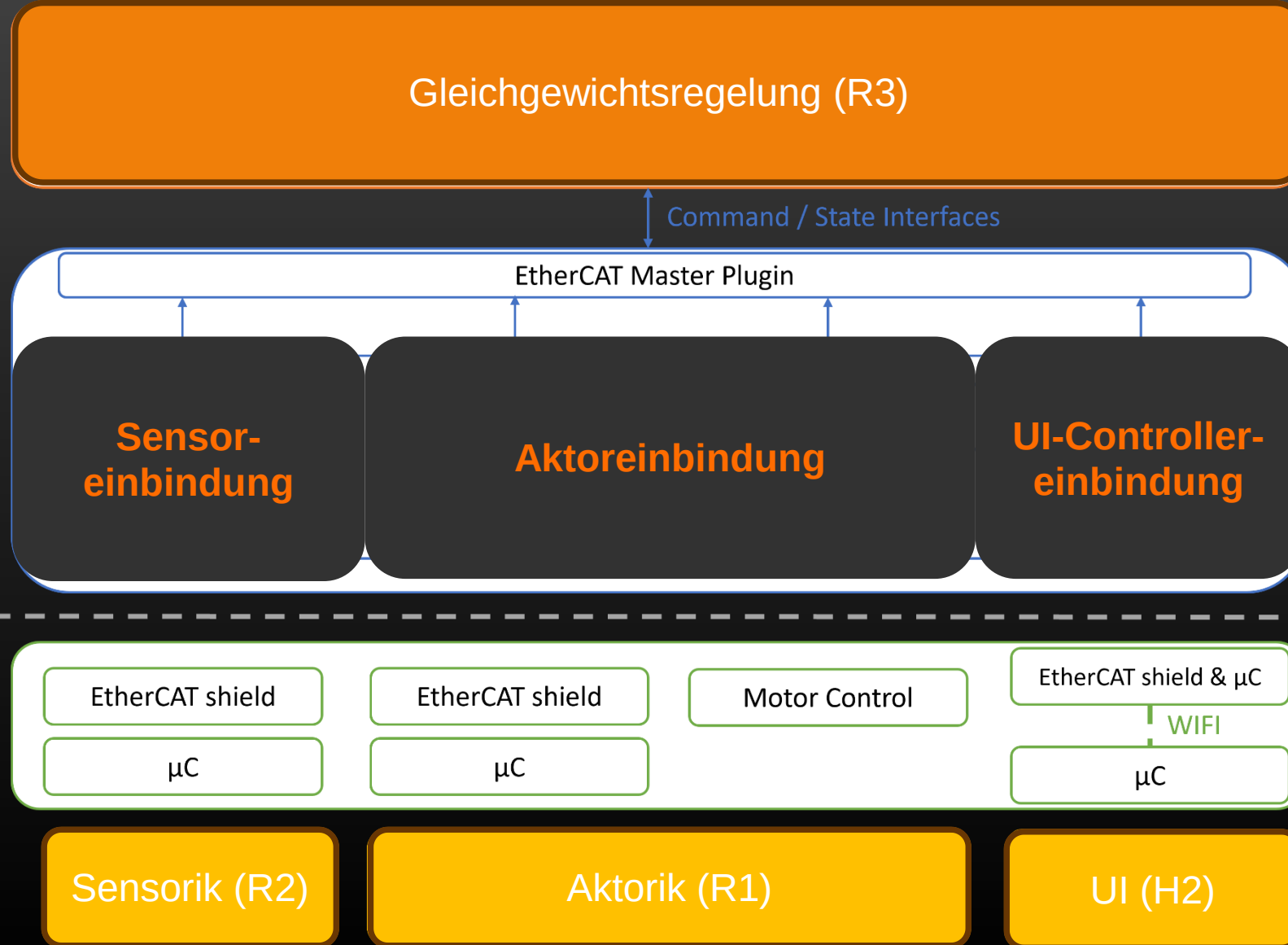
ROS2_control:
Regelung
&
Hardware-
management

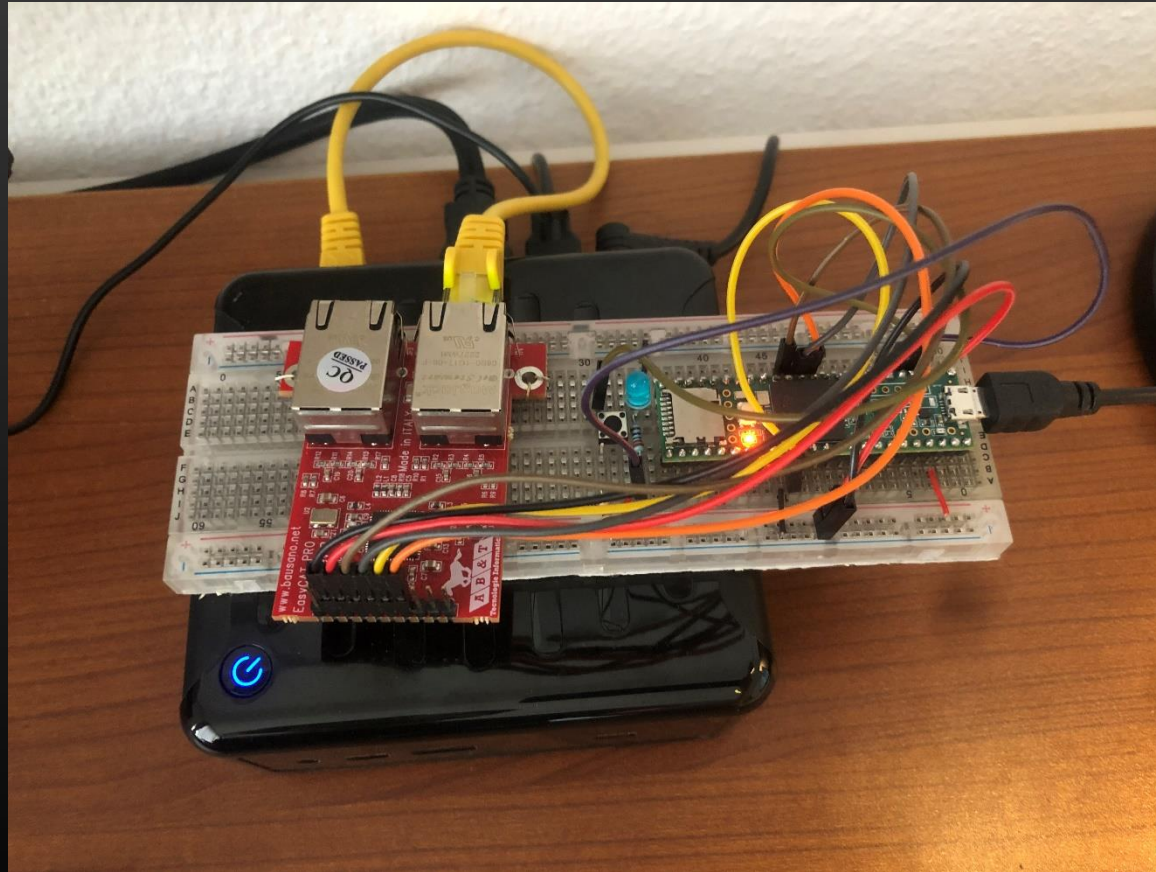
ROS2_control:
Hardware

ROS2_control:
Logische
Hardware
Komponenten

Controllingsystem

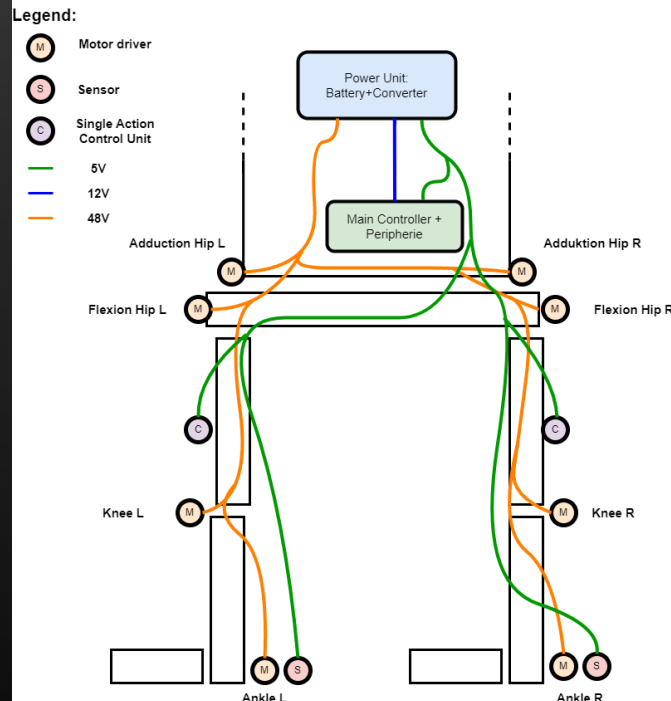
Peripherie



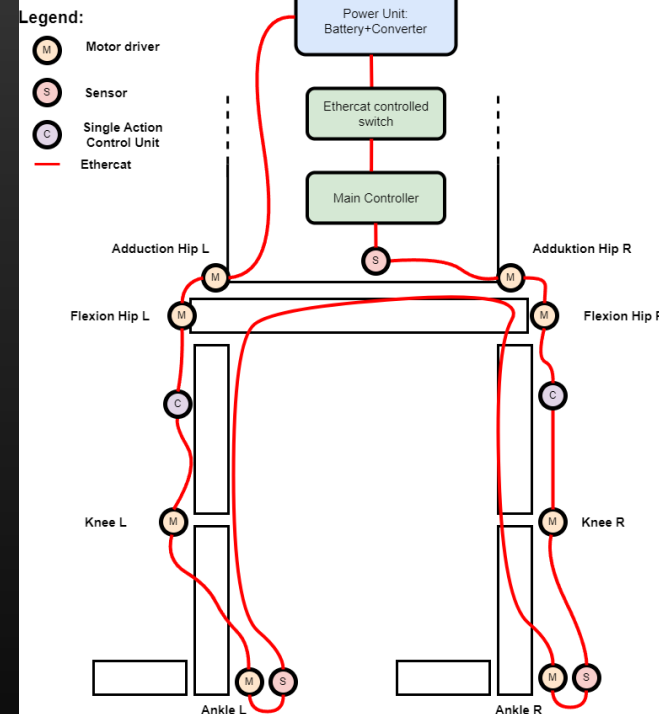


Elektrik – Beispiel RISE

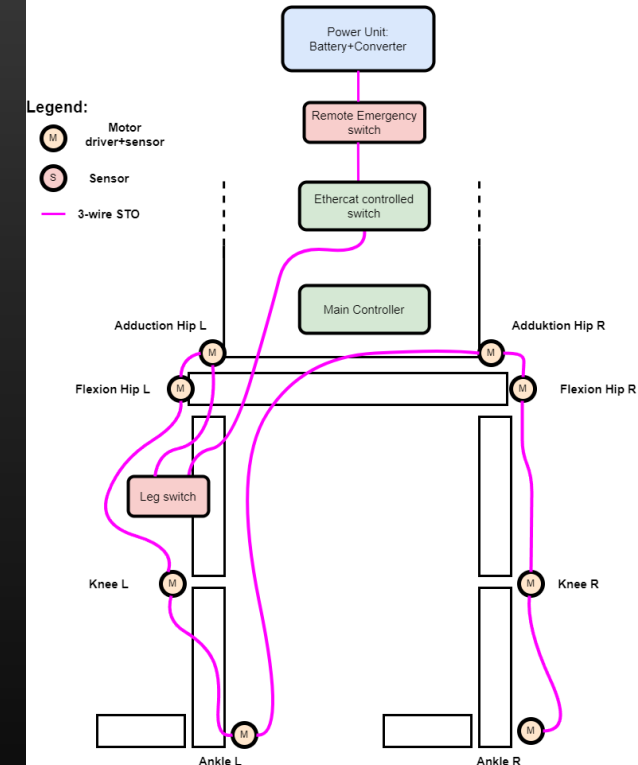
Power Routing

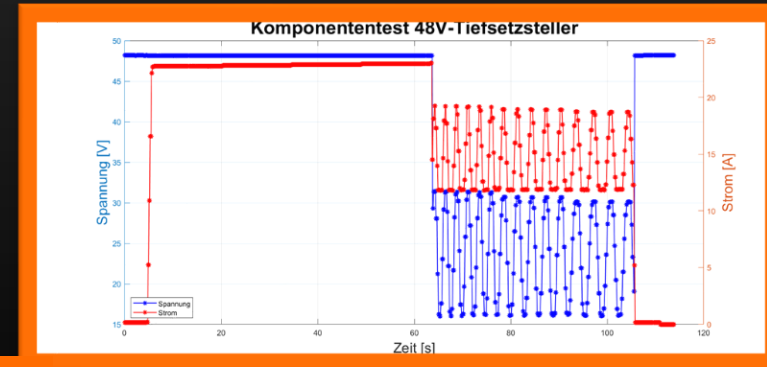
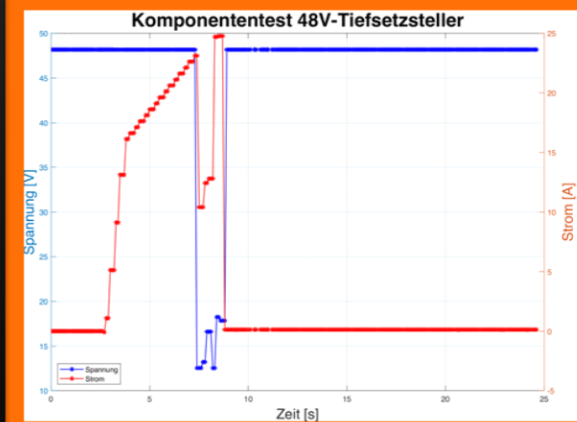
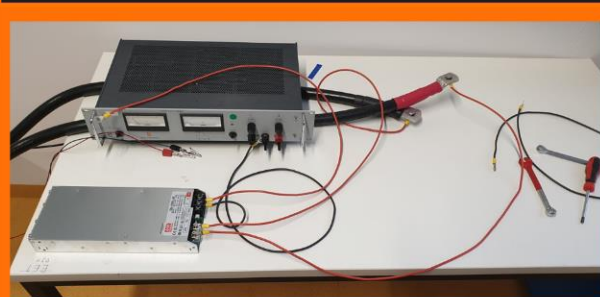
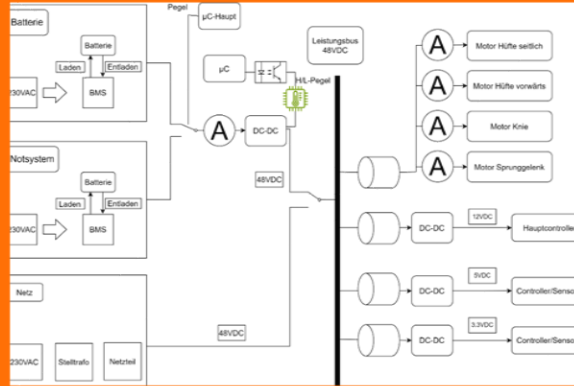


Signal Routing

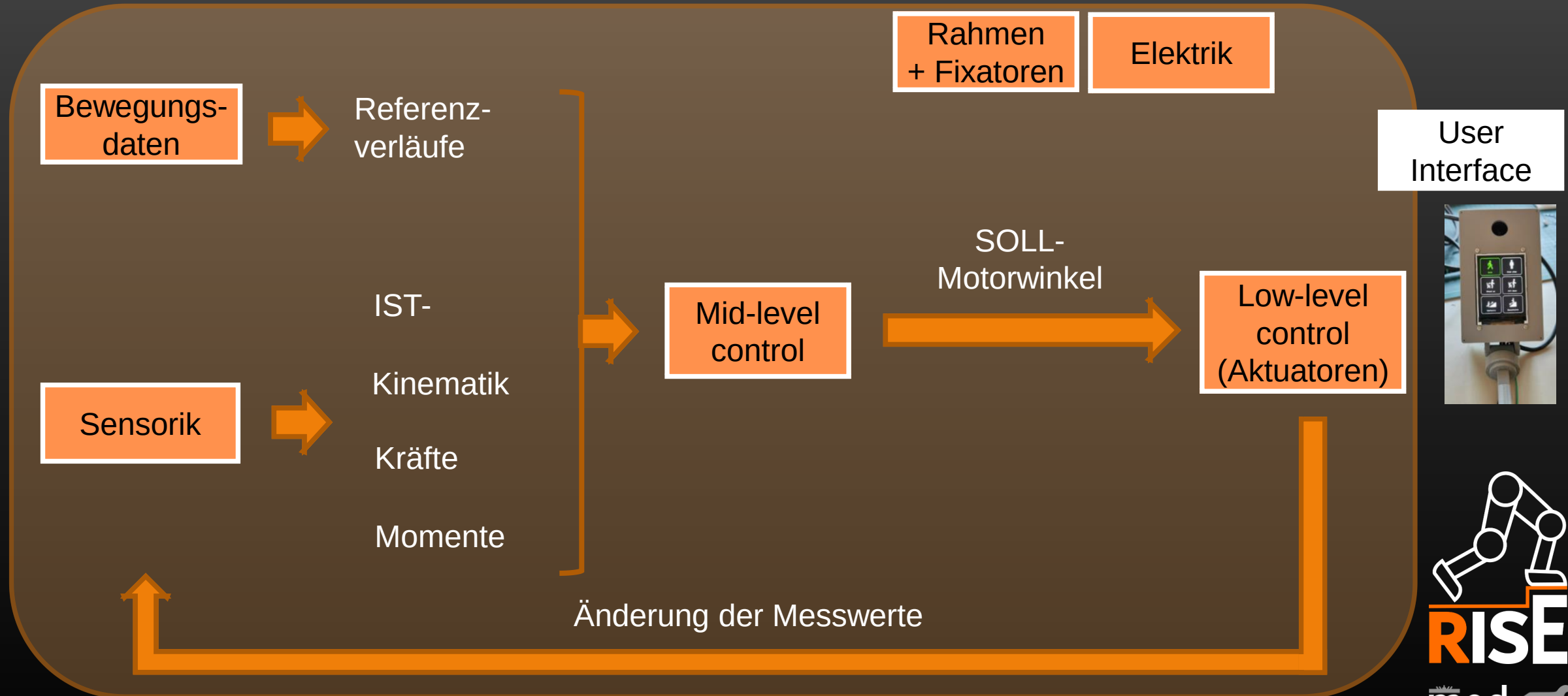


STO-Routing

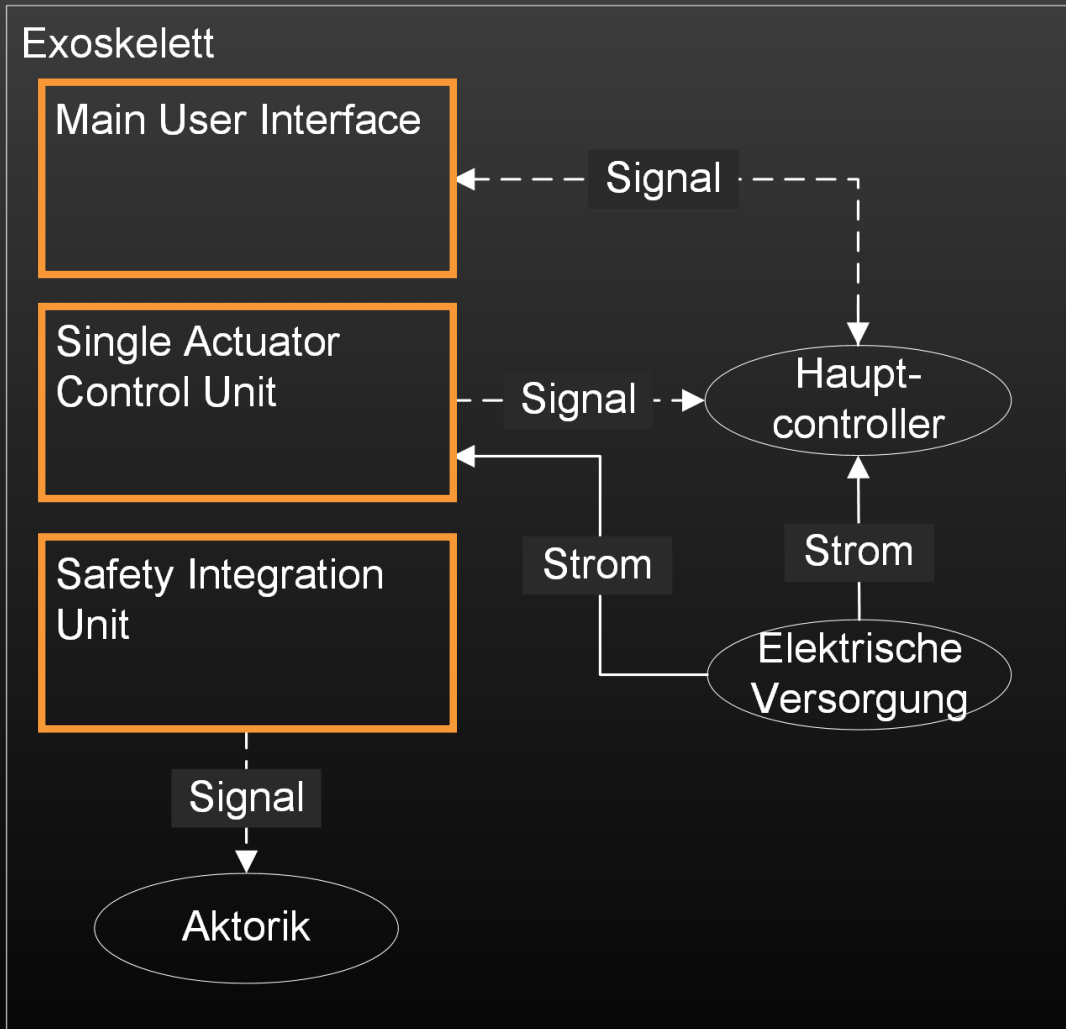




Funktionsweise



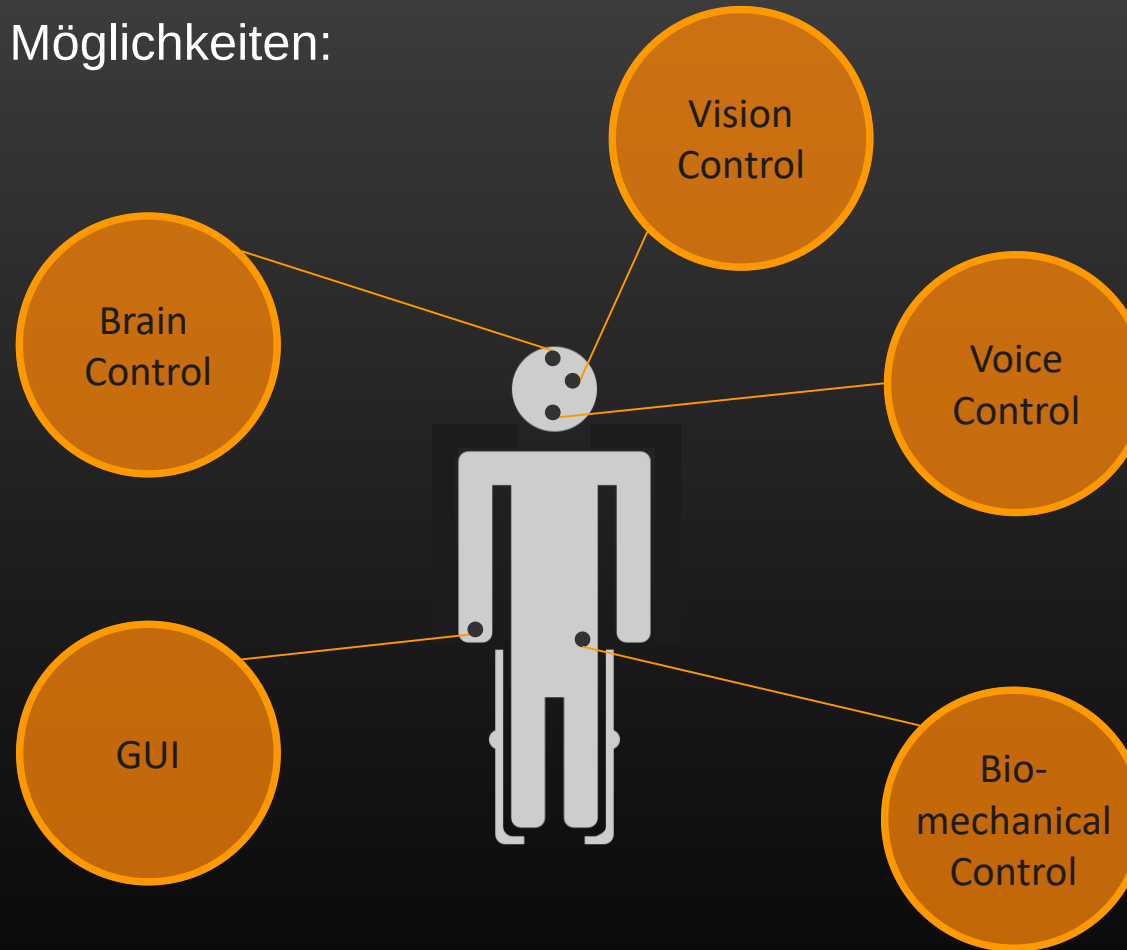
User Interface



- Main User Interface:
 - *Modiauswahl*
- Single actuator control unit (SACU):
 - *Einzelaktorbewegung*
- Safety Integration Unit (SIU):
 - *Not-Halt und Hauptschalter*

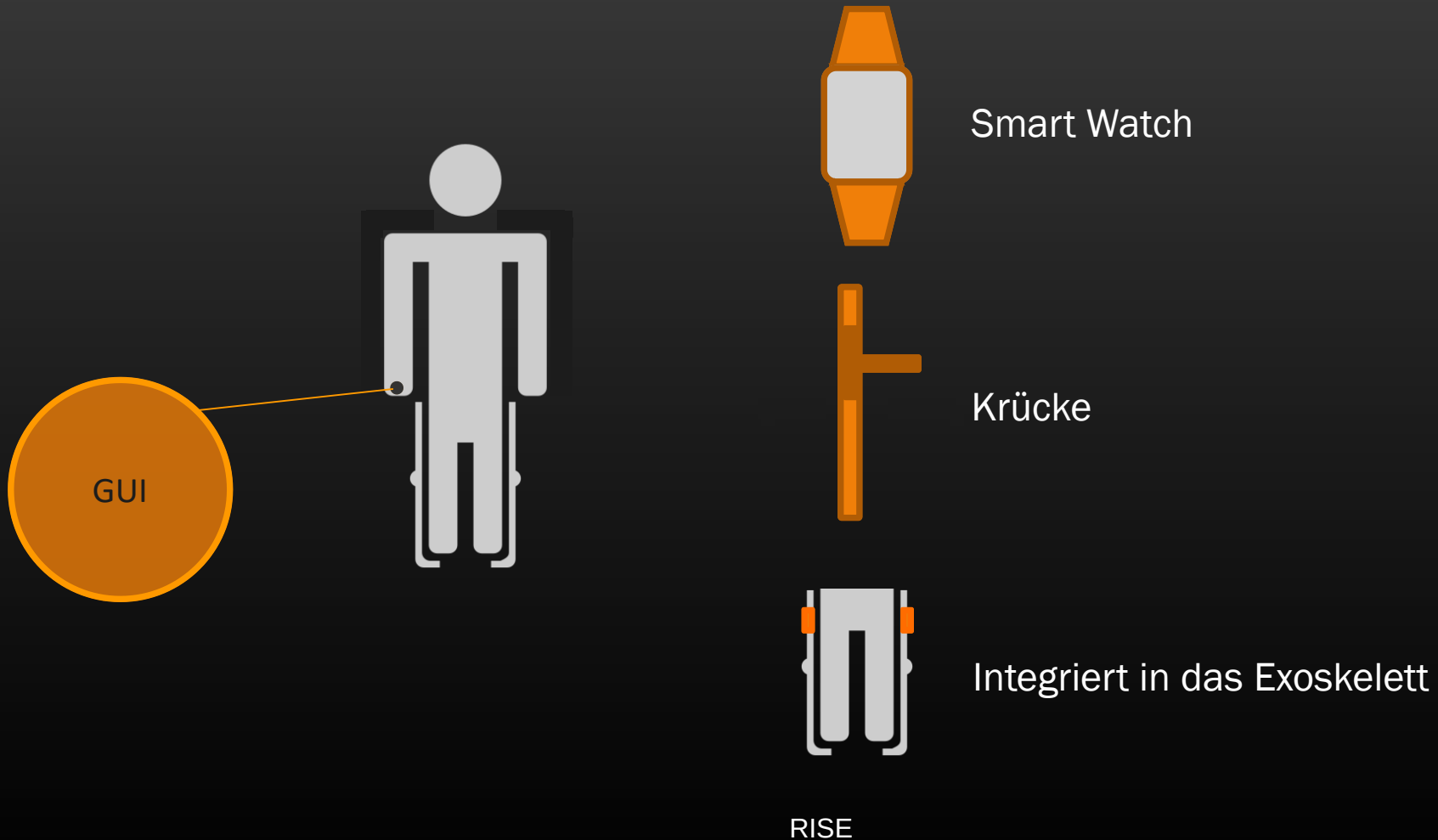
User Interface

Main User Interface - Möglichkeiten:



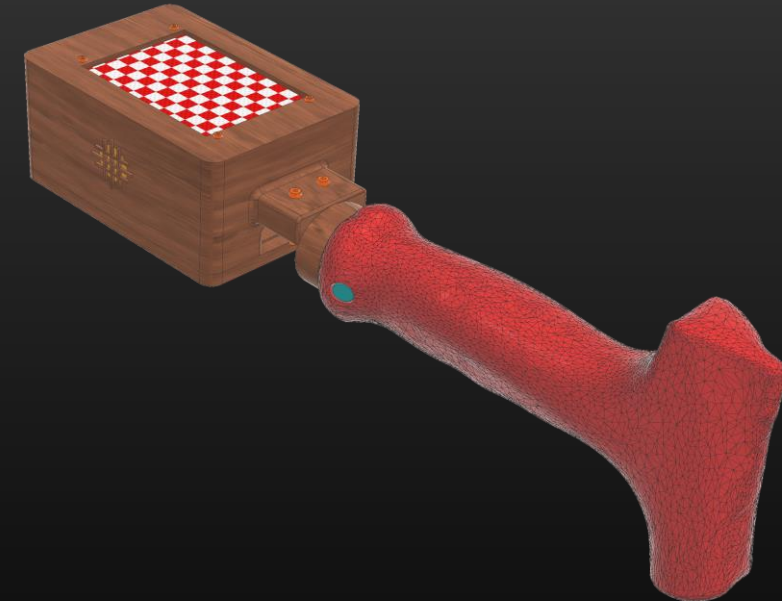
User Interface

Main User Interface - Möglichkeiten:



User Interface

Main User Interface - Realisierung:



User Interface

Single Acuator Control Unit:

- Aktivierung durch Kippschalter
- Feedback mit LED
- 8 Buttons zur Eingabe pro Seite



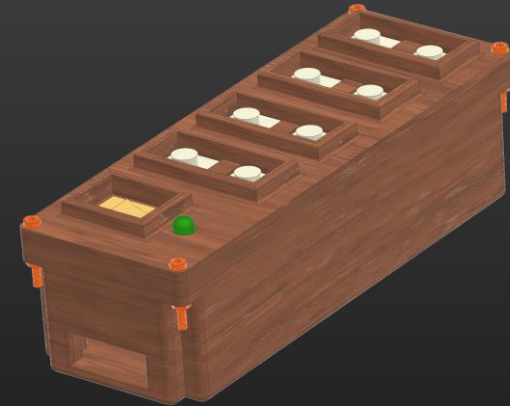
RISE

Actuator off

HM1 F	HM1 E
HM2 AB	HM2 AD
KM1 F	KM1 E
FM1 D	FM1 P

Actuator on

HM1 F	HM1 E
HM2 AB	HM2 AD
KM1 F	KM1 E
FM1 D	FM1 P



User Interface

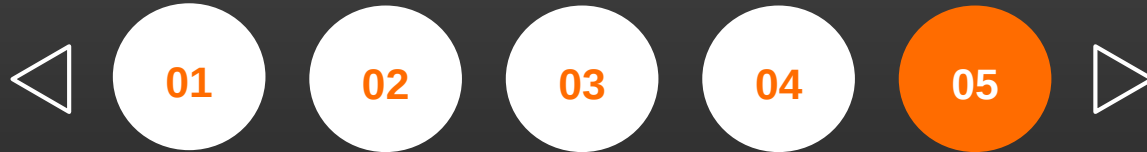
Safety Integration Unit:

- Nothalt:
 - *Anbringung am Oberschenkel (und/oder extern)*
 - *zweikanalig*
 - *direkt mit Aktoren verkabelt*
 - *Wiederaanlaufssperre durch Einrastfunktion des Not-Halt Buttons*
 - *Einnehmen einer stabilen Position!*
- Hauptschalter:
 - *Ein- und Ausschalten des Exoskeletts*
 - *Anbringung im Rückenbereich*
 - *mindestens 2 Pole*

Risikomanagement



- Hohe Sicherheitsanforderungen
- Nutzendenzentrierter Ansatz
- Vermeidung von Improvisation und Ingenieurdaumen
- Hoher Trainings- und Testbedarf
- Einhaltung ethischer Richtlinien
- Langfristige Nutzer*innenfreundlichkeit



Unterstützungsaufruf

- We Want YOU!



Fragen und Diskussion

» Wir sind gespannt auf eure Gedanken

Quellen

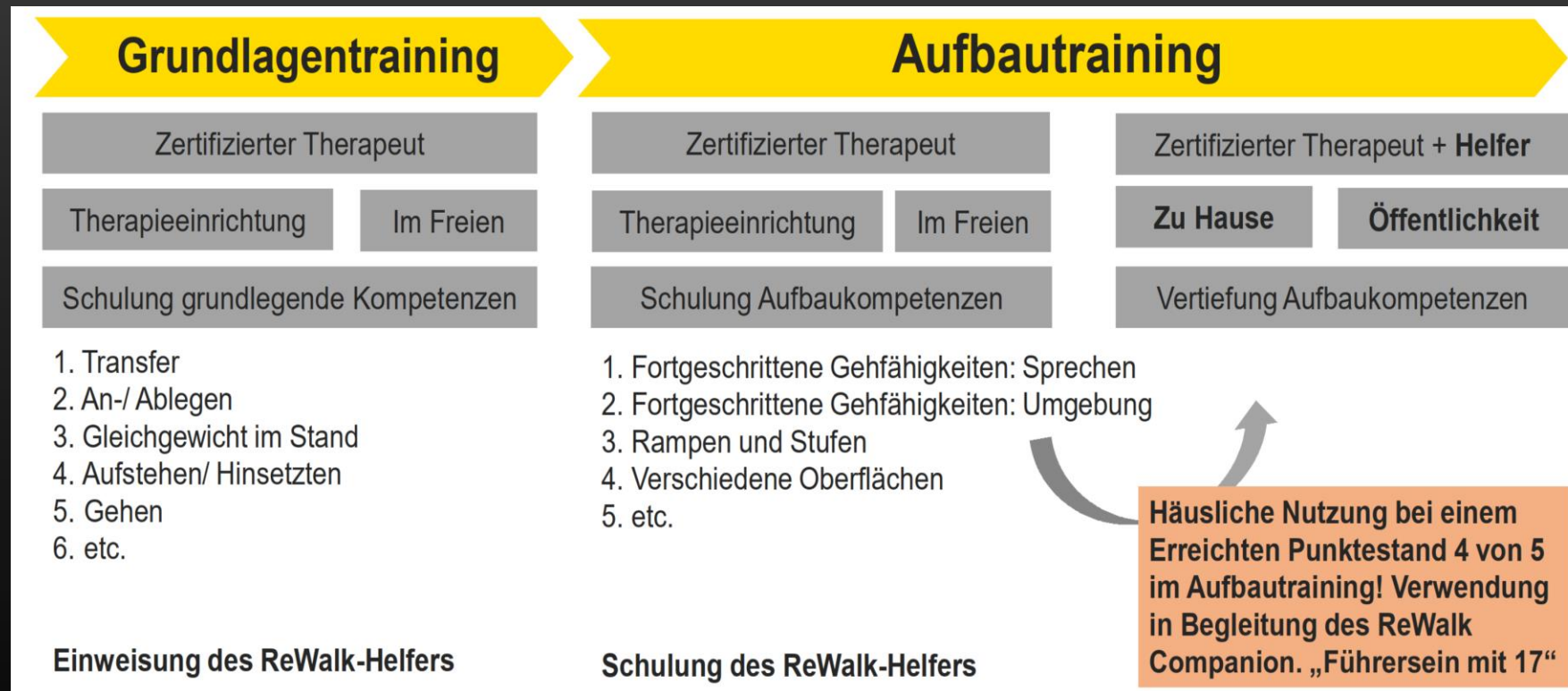
- [1]: https://www.youtube.com/watch?v=bxhfCRltCOw&list=PL0PAKY_2e_WFkxYn_jjKTB4tyok7RM82M; Zugriff 18.10.2022
- [2]: <https://www.youtube.com/watch?v=dlySwaplg4o>; Zugriff 18.10.2023
- [3]: Exoskeleton Catalog. exoskeletonreport.com. Unter Mitarb. von LLC Exoskeleton Report. 01. 12 2023. url: <https://exoskeletonreport.com/product-category/exoskeleton-catalog/>.
- [4]: Marc Kraft, Catherine Disselhorst-Klug: Rehabilitationstechnik, Lehrbuch Biomedizinische Technik. Band 10, 2015, De Gruyter (Verlag), 978-3-11-025208-8 (ISBN)
- [5]: Max Böhme; Zur Entwicklung von exoskelettalen Bewegungsunterstützungssystemen zur Überwindung von Treppen für Exoskelette der unteren Extremitäten
- [6]: Von Jahobr - Eigenes Werk, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53789383>
- [7]: Von Martin Meise - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8681050>



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Backup

Schulung im Gebrauch:



Einschlusskriterien:

- **Körpergröße** ca. 160 bis ca. 190 cm
- **Unterschenkellänge**: 43,5 bis 56 cm
- **Oberschenkellänge**: 36 bis 48,5 cm
- Maximales **Gewicht** von 100 kg
- Generell gute **Gesundheit**
- **Patient*in kann** mithilfe eines Hilfsmittels **stehen**
- Skelett weist **keine Frakturen** auf
- Gesunde **Knochendichte** (ausreichende Knochendichte entsprechend der Beurteilung des verordnenden Arztes nach klinischer Untersuchung des Patienten – einschließlich radiologischem Nachweis, falls erforderlich)

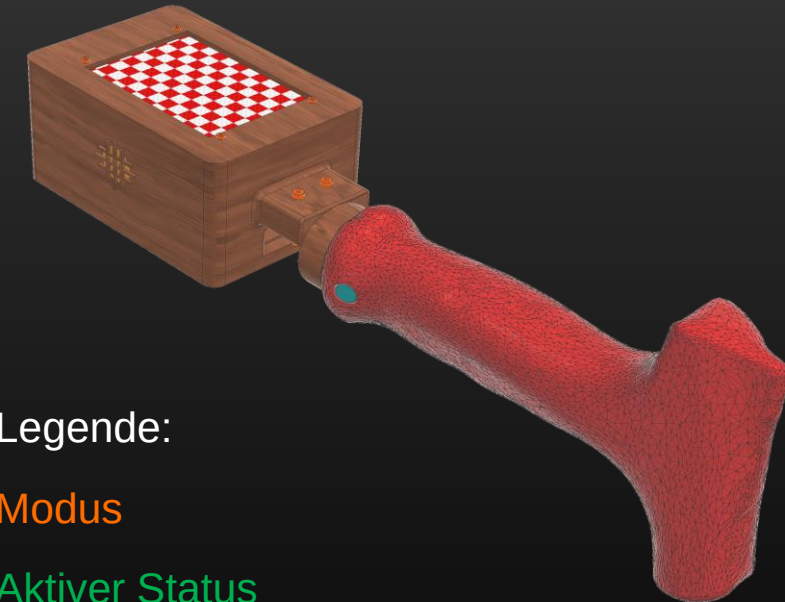
Ausschlusskriterien:

- Schwere **neurologische Verletzungen** mit Ausnahme von Rückenmarksverletzungen in der Anamnese
- Schwere **Begleiterkrankungen**: Infektionen, Durchblutungsstörungen, Herz- oder Lungenerkrankungen, Druckgeschwüre
- **Schwere Spastizität** (Modified Ashworth 4)
- **Instabile Wirbelsäule** oder nicht verheilte **Frakturen** der Gliedmaße oder des Beckens
- **Signifikante Kontrakturen**
- **Psychiatrische oder kognitive Störungen**, die eine ordnungsgemäße Bedienung des Geräts beeinträchtigen könnten
- **Schwangerschaft**

User Interface

Main User Interface - Realisierung:

	Modus	Status
1	Walk	Walking
2	Forward Step	Forward Stepping
3	Right Step	Right Stepping
4	Backward Step	Backward Stepping
5	Left Step	Left Stepping
6	Stairs up	Walking upstairs
7	Stairs down	Walking downstairs
8	Sit down	Sitting down
9	Stand up	Standing up
10		Seated
11		Standing



Legende:

Modus

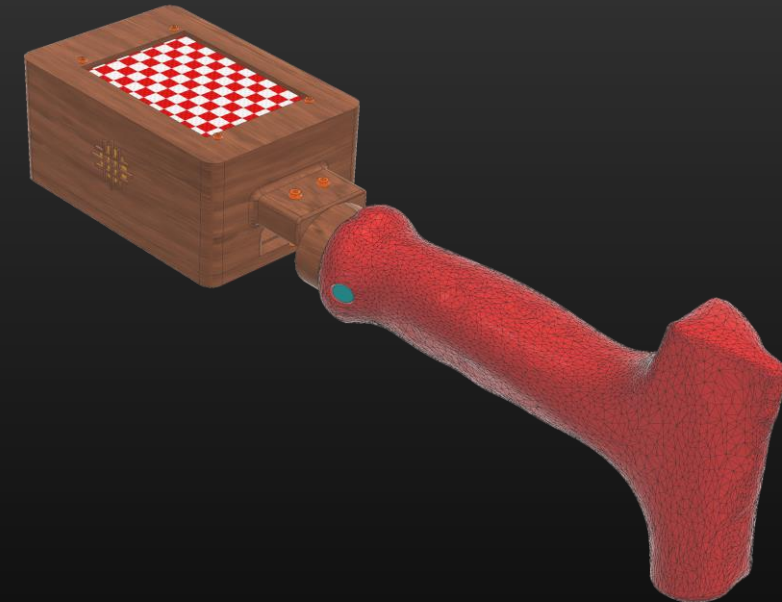
Aktiver Status

Passiver Status

User Interface

Main User Interface – Realisierung (RISE):

Microcontroller	Teensy 4.1
WLAN Modul	Adafruit Airlift
Bildschirm	2,4 Zoll Farb-LCD
Lautsprecher	85 dB Piezo
Vibrationsmodul	10000 rpm
Buttons	Große SMD Buttons
Energieversorgung	5000 mAh Powerbank



User Interface

Single Acuator Control Unit:

