

Projekt: 3D Druck in der Mechanik

Die Handprothese

Gruppe C
Kristina S. Leberer
Sascha G. Thiede
Jonte C. Fricke

Fakultät für Verkehrs- und
Maschinensysteme
Institut für Mechanik



Fachgebiet Stabilität und Versagen
funktionsoptimierter Strukturen
Prof. Dr. C. Völlmecke

Agenda



- Motivation
 - Projektziel und Problemkontext
 - Projekte & Open-Source Community
- Vorgehen
 - Meilensteine
 - Iterative Herangehensweise
 - Optimierungsziele
- Ergebnisse
 - Optimierungen
 - Kosten & Material
- Fazit
 - Projektgestaltung und Umsetzung
 - Bewertung der entstandenen Prothese
 - Geplante Weiterentwicklungen und Unterstützung



Motivation

Projektziel

Erstellung und individuellen Handprothese



Antonio

(9 Jahre)

Anforderungen

- individuell anpassbar
- robust, funktional, zuverlässig
- bequem & optisch ansprechend
- kostengünstig herzustellen
- hygienisch & biokompatibel
- einfach herzustellen
- mitwachsend



Flexy-Hand by Gyrobot

<https://www.thingiverse.com/thing:380665>



e-NABLE Kinetic Hand

<https://www.thingiverse.com/thing:4618922>



e-NABLE (open-source Community)



Gegründet 2013

von Ivan Owen & Richard Van As – erste Open-Source-3D-Prothese



Mission

Günstige, passgenaue Prothesen zum Selberdrucken



Netzwerk

140+ Chapters in 60+ Ländern, 1 000+ Freiwillige



Tools

FDM-Druck (ABS/PLA) mit „Handomatic“ für Größe/Form



Erfolg

FDM-Druck 10 000+ ausgelieferte Prothesen, Stückkosten < 100 USD;
Einsatz in Humanitärem, Bildung & Forschung



Bild quelle: <https://i0.wp.com/enablingthefuture.org/wp-content/uploads/2019/11/ec5.jpg?w=800&ssl=1>

Links: <https://enablingthefuture.org>, <https://github.com/e-nable>

Weitere Communities

- Limbitless Solutions
- Open Bionics
- Robohand
- LimbForge



Vorgehen

Meilensteine



Recherche

- Recherche
- Modellauswahl
- Maßaufnahme
- Problemanalyse

Prototypenerstellung

- ausgewählte Modelle drucken
- Verarbeitungsverfahren testen
- Maßanpassung
- vertiefte Materialauswahl

Optimierung

- Analyse der Haftreibung
- Griffstärke und -geometrie optimieren

Abschluss

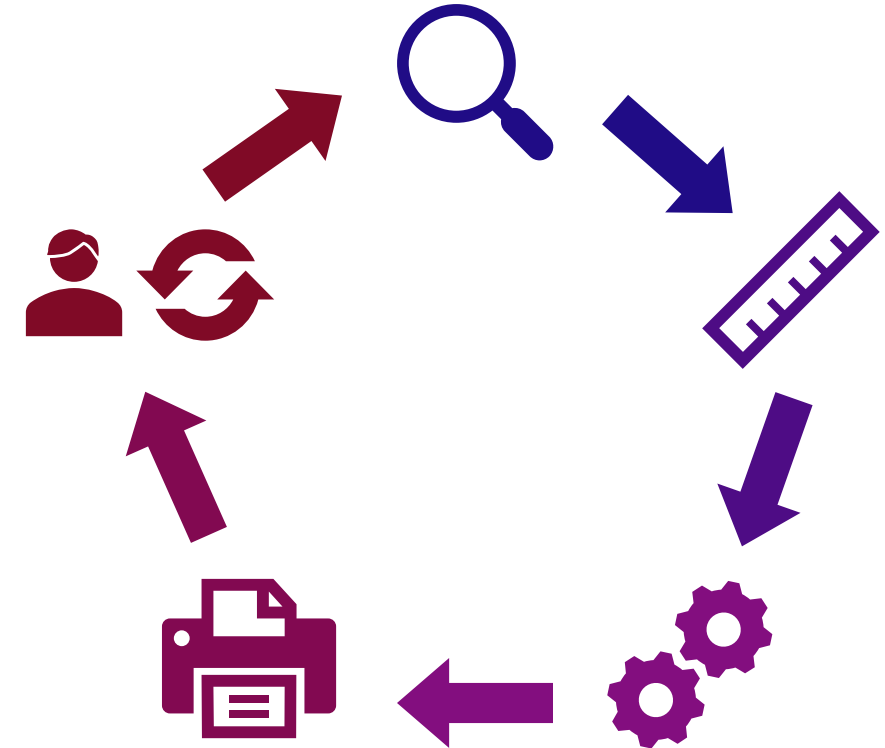
- Modell finalisieren
- Dokumentation
- Übergabe & Schulung



Methodische Herangehensweise (iterativ)



- I. Modellanalyse**
Bewertung existierender Open-Source-Prothesen
- II. Geometrie-Anpassung**
Parametrische Skalierung nach Patientendaten
- III. Kraftfluss-Optimierung**
Simulation & Feintuning der Seilführung
- IV. Prototypen-Fertigung**
Additiver Druck (PLA/TPU) & Kurzprüfung
- V. Nutzertest & Redesign**
Praxiserprobung → Feedback → Überarbeitung



Optimierungsziele



Ergonomie

Verbesserung von Tragekomfort und individueller Passform

Funktionalität

Sicheres Greifen alltäglicher Gegenstände mit möglichst wenig Kraftaufwand

Materialwahl

Leicht, robust, kostengünstig und für den Nachdruck geeignet

Befestigungsmechanismus

Stabiler Halt bei gleichzeitig einfacher Handhabung

Anpassbarkeit & Modularität

Möglichkeit zur schnellen Justierung und Erweiterung der Prothese



Ergebnisse

Zwei Modelle

Model von **Gyrobot** (1. Prototyp)

- vor dem Projekt gebaut

Pro	Kontra
weniger Teile	Bänder liegen zu nah an der Haut
Tensoren der Bänder simple	Bänder gehen über die Kontaktflächen der Fingersitzen
	Glatte Gripflächen



HOME: <https://www.gyrobot.co.uk>

STL: <https://www.thingiverse.com/thing:380665>

Model von **e-NABLE** (finales Model)

- im Projekt gebaut und optimiert

Pro	Kontra
Form der Handaussparung	mehr Teile
optisch ansprechender	Tensoren nicht justierbar
bessere Anleitung	schwieriger beim Zusammenbauen der Gelenke
fortschrittlicher	



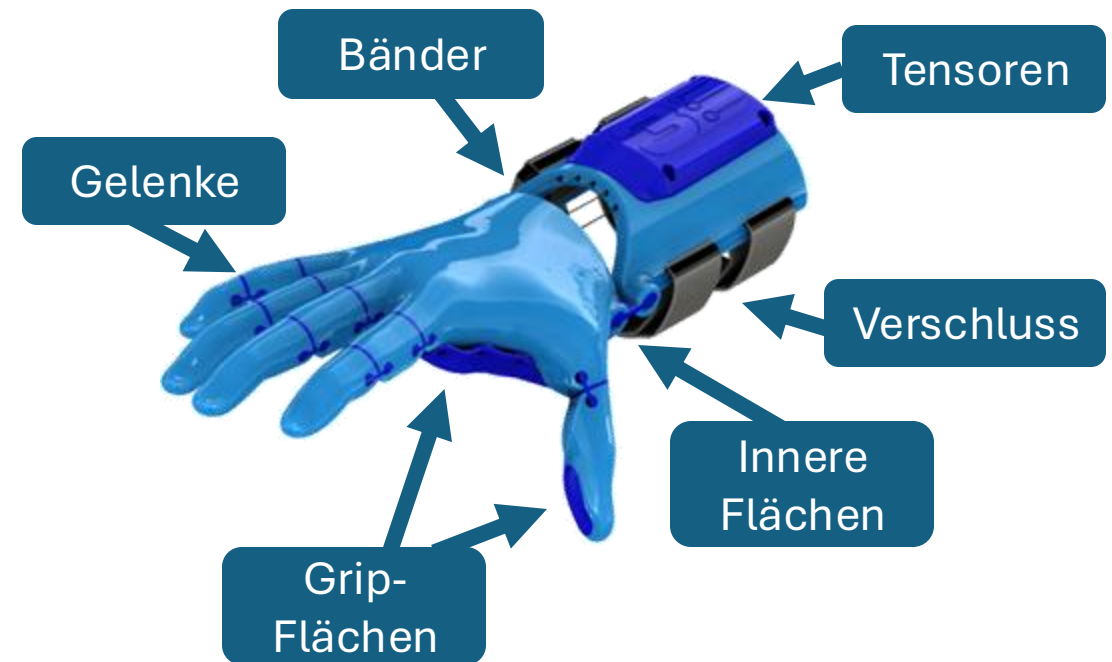
HOME: <https://enablingthefuture.org>

STL: <https://www.thingiverse.com/thing:4618922>

Überblick: Optimierungsansätze































- **Materialwahl**
Hand, Bänder
- **Herstellung**
vereinfachte Verarbeitungsprozesse
- **Grip-Flächen**
Material- und Oberflächenalternativen
- **Gelenke**
TPU-Gelenke durch Schrumpfschlauch ersetzen
- **Tensoren**
Bänderbefestigung mit einfacher Kalibrierungsmöglichkeit der Spannkraft
- **Bänder**
Kraftverteilungsalternative
- **Innere Flächen**
Bequemlichkeitsanpassung durch Handschuh






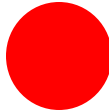






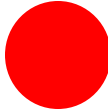













Material Hand



	PC-ABS	ABS	Nylon	PCTG	PLA/PLA	PETG
 Robust?						
 Hygienisch?						
 Leicht druckbar?						
 Verfügbar?						
 Kostengünstig?						
EIGNUNG						

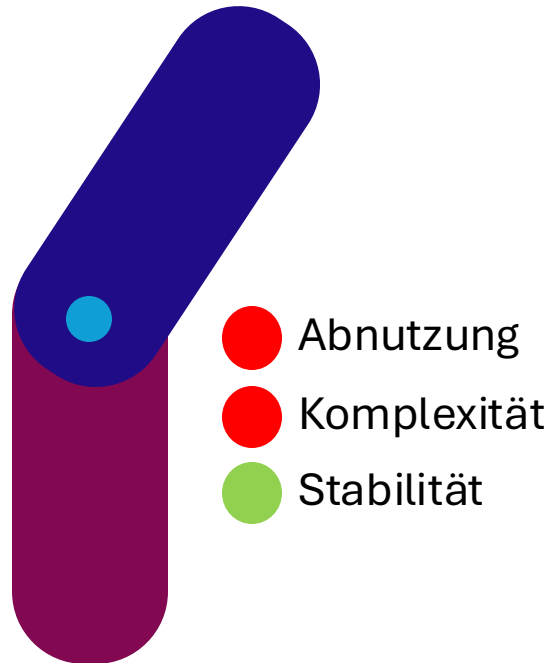
Optimierung Seilzüge



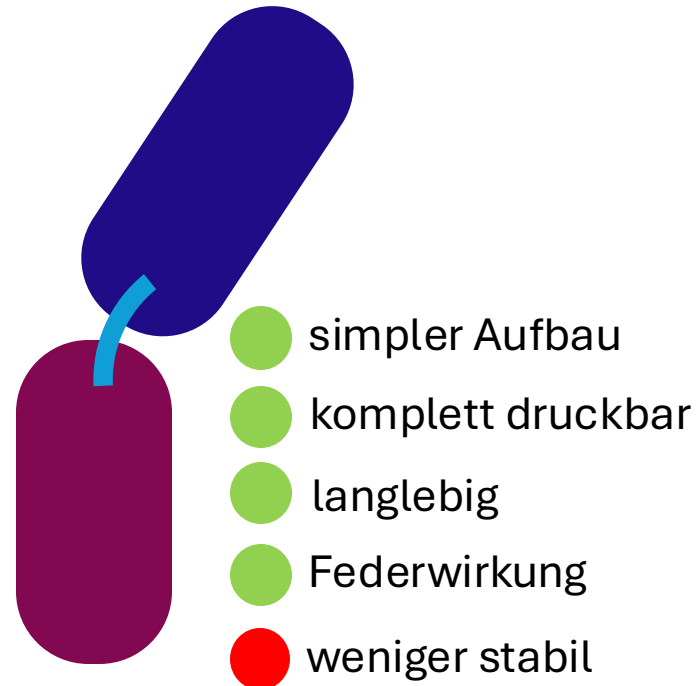
	Nähzwirn (Polyester, geflochten)	Angelschnur (PE, geflochten)	Nylonschnur	Kevlar (geflochten)	Dyneema (UHMwPE)
 Dehnung					
 Abriebfestigkeit					
 Verfügbarkeit					
 Preis	$0,05 \frac{\text{€}}{\text{m}}$	$0,12 \frac{\text{€}}{\text{m}}$	$0,03 \frac{\text{€}}{\text{m}}$	$0,63 \frac{\text{€}}{\text{m}}$	$0,12 \frac{\text{€}}{\text{m}}$
EIGNUNG					

Optimierung Gelenke

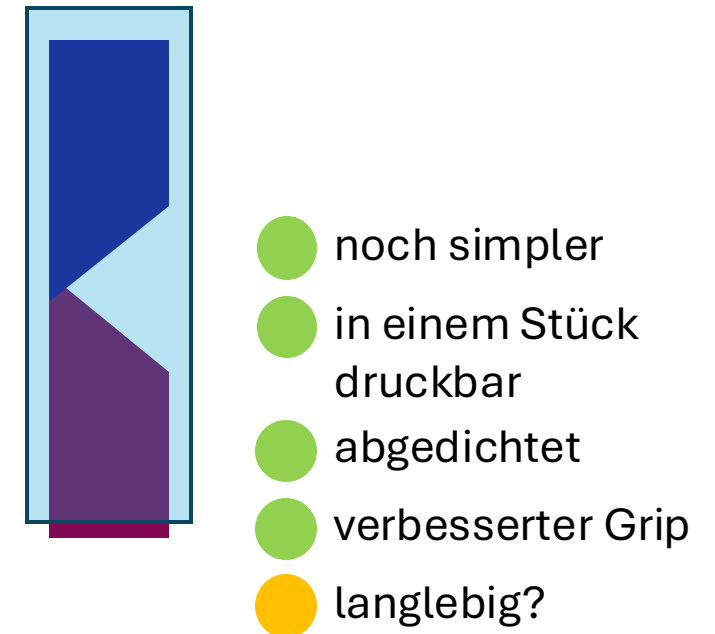
Standardgelenk



Flexibles Gelenk



Schrumpfschlauch-Gelenk



Anatomische Passformoptimierung

Skalierungsmöglichkeiten

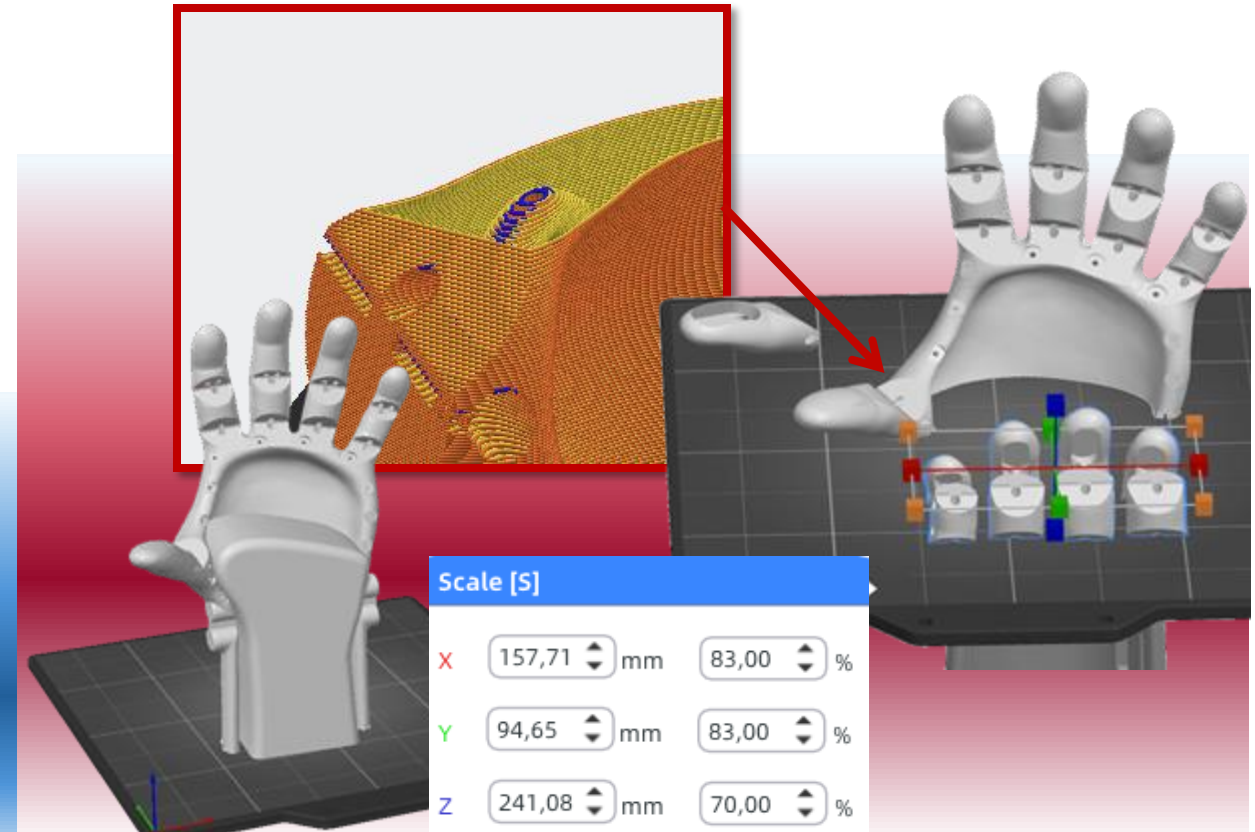
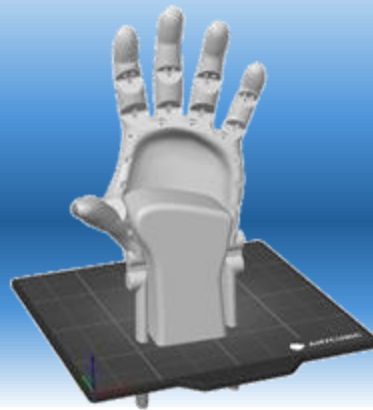
Verzerrte Skalierung:

- Problematisch bei der Banddurchführung
- Verzerrte Gelenke und Finger machen die Skalierung umständlicher und unproportional

Einfache Skalierung:

- Simple Umsetzung
- Druckbar ohne Stützstruktur

Scale [S]			
X	167,21 mm	88,00 %	
Y	100,35 mm	88,00 %	
Z	303,07 mm	88,00 %	



Scale [S]			
X	157,71 mm	83,00 %	
Y	94,65 mm	83,00 %	
Z	241,08 mm	70,00 %	

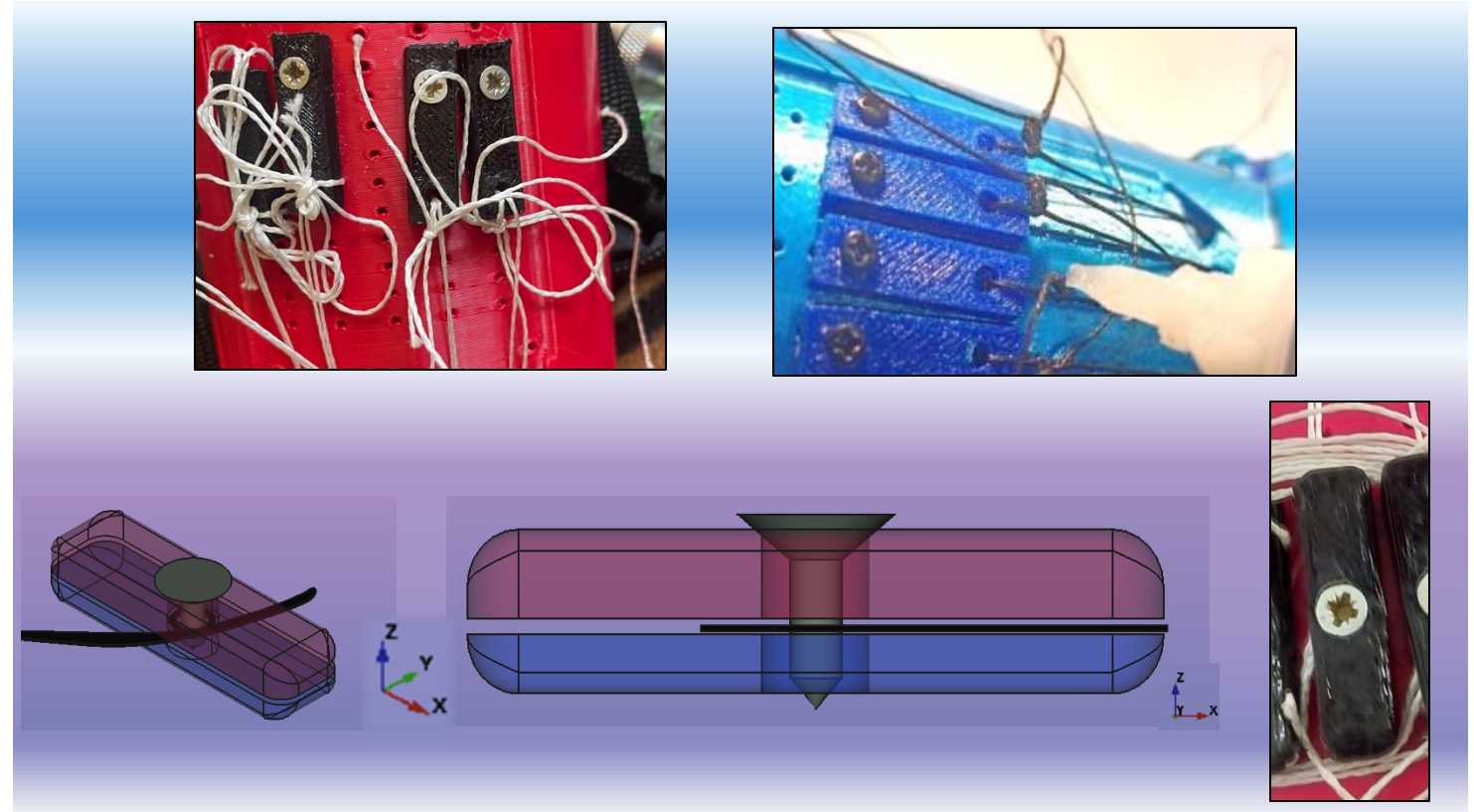
Befestigungsalternativen der Bänder

Empfohlen von e-NABLE

- Mit Kleber fixieren
- TPU-Tensor -> dehnbar

Neuer Tensor

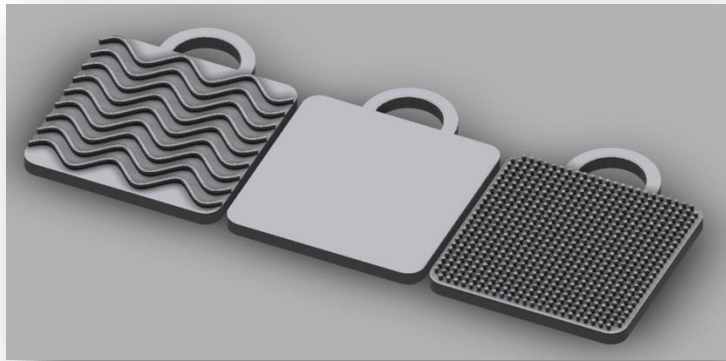
- Backentensor
 - nicht dehnbar
 - Fixierung mit Druckkraft
 - einfache Justierung:
 1. Länge einstellen
 2. Schraube festziehen
- Solle einhändig möglich sein



Gripelemente und Ideen

Empfohlen von e-NABLE

→ Silikoneinsätze in gedruckte Formen gießen



TPU mit modellierter Oberfläche



Latexhandschuh



Latexstoff

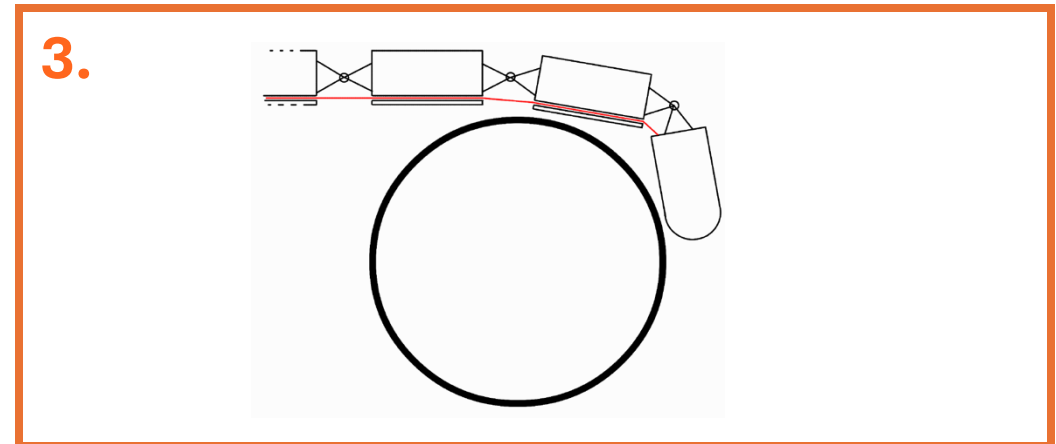
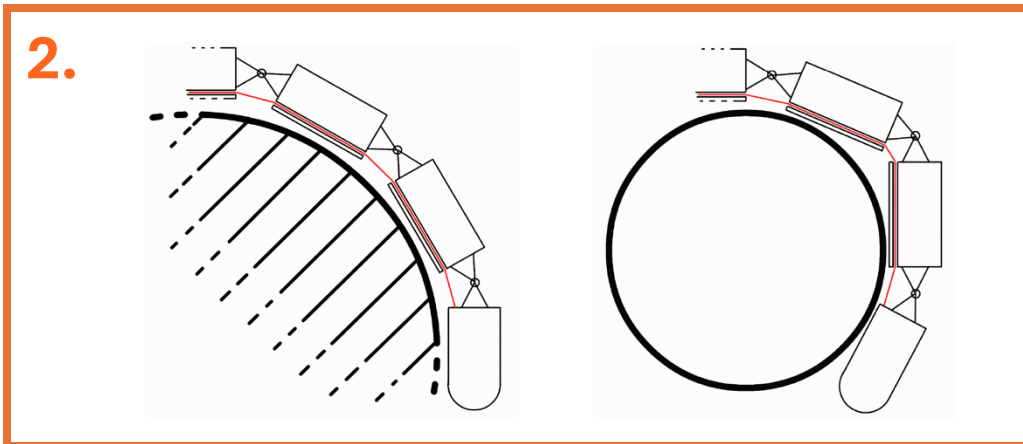
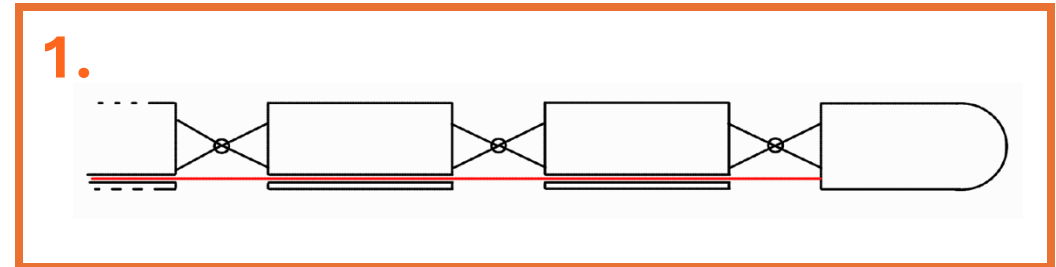


Spritzguss mit
Heißkleber

Bandführungsalternativen

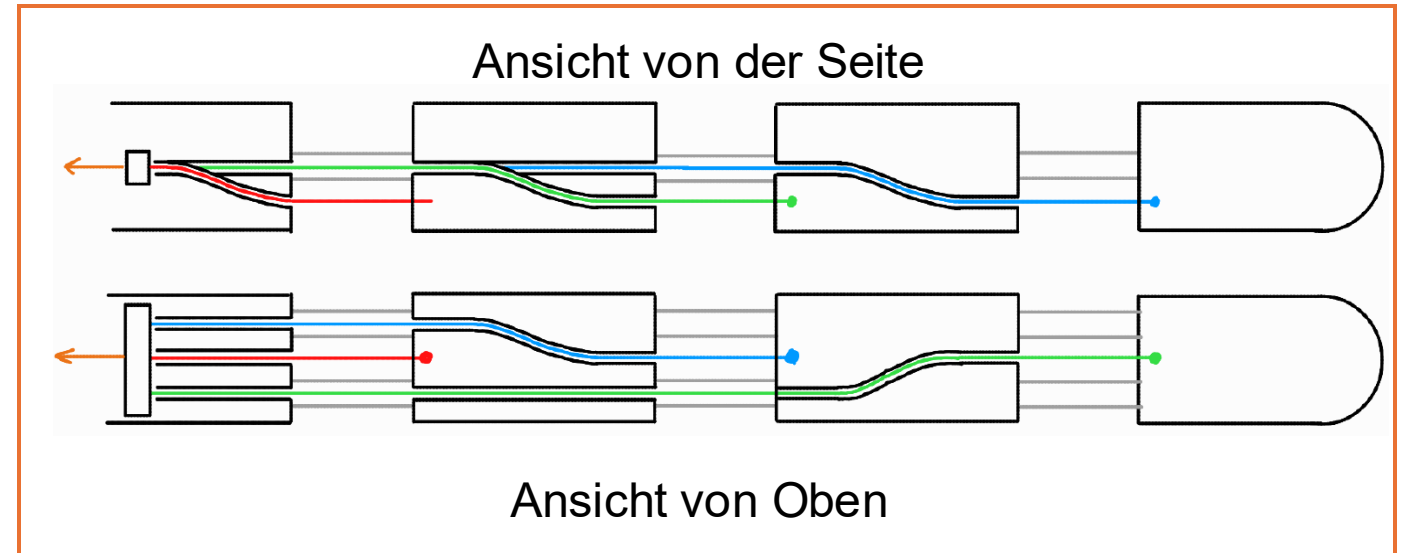
Model eines Fingers mit mehreren Befestigungspunkten

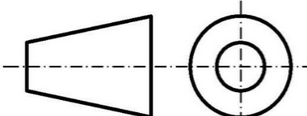
1. Ausgangspunkt (Standardmodell)
2. Standardmodell passt sich gut an Oberfläche an
 - Halten von z.B. einem Türgriff
3. Finger öffnet sich wobei sich Spitze schließt



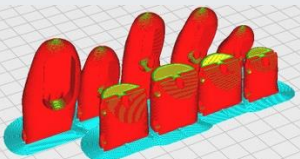
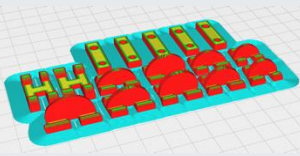
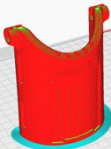
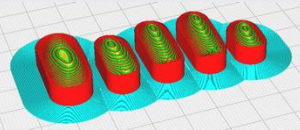
Neue modellierte Finger

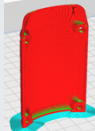
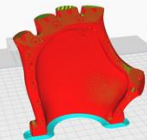
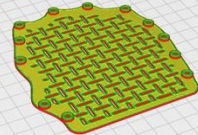
- Ausgangspunkt (Standardmodell)
- Standardmodell passt sich gut an Oberfläche an
- Halten von z.B. einem Türgriff
- Finger öffnet sich wobei sich Spitze schließt
- Idee: Individueller Seilzug pro Fingerglied mit Bowden-artiger Leitung der Züge
- Nachteil: Ist Starr, passt sich schlecht einer Oberfläche an



Projektionsmethode: 

Kosten und Materialien

Finger Plate		52 g PETG	0,83 € - 1,14 €
Hinge Plate		17g TPU	0,31 € - 0,43 €
Gauntlet		66g PETG	1,05 € - 1,45 €
Grip Plate		7g TPU	0,13 € - 0,18 €

Gauntlet Cover		13g PETG	0,20 € - 0,27 €
Palm		90g PETG	1,44 € - 1,98 €
Palm Cover		15g TPU	0,27 € - 0,38 €

PETG: 16 - 22 €/kg

TPU: 18 - 25 €/kg

(Stand 2025-07)

Gedruckte Teile: 4,23 - 5,38 €

Fazit



Fazit:

Projektgestaltung und Umsetzung

- Erste Prothese basierend auf **Open-Source**-Daten gebaut
- **Anatomische Anpassungen** nach ersten Treffen mit Antonio
- Kompletter Neuaufbau zur Verbesserung von **Passform und Komfort**
- Erste **Krafttests** und **Alltagserprobung** durch Antonio
- **Nachjustierung** der Feinmotorik basierend auf Nutzererfahrung
- **Ergänzungen** durch Antonios Mutter

Fazit:

Bewertung der Prothese zum Projektabschluss



- Passform und Komfort deutlich verbessert
 - Funktionalität im Alltag ausreichend für grundlegende Greifbewegung
 - Nutzerfeedback positiv: intuitive Handhabung nach kurzer Eingewöhnung
 - Materialwahl: PETG statt PLA (empfohlen) für höhere Belastbarkeit und Temperaturbeständigkeit
 - Reproduzierbarkeit: Design dient als Basis für weitere Exemplare (z.B. Ersatzprothese)
-
- Kosten unter < 10€ / Prothese
 - Gewicht: 181g



Fazit:

Weiterentwicklungen und zukünftige Unterstützung



- **Neue Fingerkuppen** aus hochreibungsfähigem Material zur Verbesserung des Grips geplant
- **Langfristige Unterstützung** durch Sascha bei Wartung, Reparatur & Nachdruck
- **Weitere Handschuhe** in Arbeit – individuell angepasst durch die Mutter des Nutzers
- **Ersatzprothese** wird zeitnah auf Basis des optimierten Designs gefertigt
- **Wissensaustausch**: Optimierungserkenntnisse werden an die Open-Source-Community zurückgespielt
- **Langfristige Perspektive**: mögliche Integration von EMG-Sensorik zur aktiven Steuerung

Danke.

Ein großen Dank an Frau Prof. Dr. C. Völlmecke, die es uns ermöglicht hat, dieses Projekt mit kompetenter Beratung durchzuführen. Wir bedanken uns auch bei Yating Ou (M.Sc.) und Narges Panjalipoursangari (M.Sc.) für die stetige Unterstützung. Unser Dank geht auch an alle anderen Beteiligten, für ihr Ideenreichtum und ihren Rat.