

Sehnengetriebene Roboterhand: Kurzfassung für die Entscheidung

Fachpapier FP03 · SEHNENHAND v2.5 · Stand 6. Oktober 2026 · Thomas Schüller, Schicht-Werk

Offenlegung. Der Verfasser betreibt mit Schicht-Werk ein Gewerbe der additiven Fertigung und hat ein wirtschaftliches Interesse an den beschriebenen Bauteilen und Leistungen. Kein Bauteil ist gedruckt oder geprüft. **Kein Medizinprodukt:** Gegenstand ist ein Roboter-Endeffektor für Lehre, Versuch und Forschung.

Anlass

Am 16. Juli 2026 stellte mimic robotics aus Zürich die mimic hand M1 vor: eine sehnengetriebene Industriehand mit 15 angetriebenen Gelenken, Motoren im Unterarm und einer Traglast von über 25 kg (Herstellerangabe). Dazu gehört ein Exoskelett, mit dem Menschen Aufgaben vormachen und so Trainingsdaten für die Roboter-KI liefern.

Befund

1. **Nicht nachbauen.** Die M1 lebt von rollengeführten Sehnen, Gelenkgebern und einer Metallstruktur. Das ist mit gedruckten Teilen nicht zu erreichen.
2. **Das Umfeld ist der Markt.** Robotik-Teams ändern ihre Hände laufend und brauchen gedruckte Prototypen, Kuppen, Halterungen und Verschleißteile. Die installierte Basis wächst, die Preise fallen: 2026 gibt es Hände mit 20 bis 22 Freiheitsgraden ab 6.500 USD.
3. **Eine eigene Hand ist als Lehr- und Maker-Produkt machbar.** Stufe A mit fünf Antrieben kostet rund 70 bis 125 EUR Material, Stufe B mit zehn Bus-Servos rund 330 bis 650 EUR. Stufe B erreicht rechnerisch 4,4 N Dauerkraft an der Fingerspitze, etwa 18 % des Herstellerwerts der M1; für die konstruierte Hand mit Schläuchen siehe Punkt 11.
4. **Der Einstieg ohne Elektronik ist rechtlich am einfachsten.** Ein Mechanik-Bausatz fällt unter die Produktsicherheitsverordnung und braucht keine CE-Kennzeichnung.
5. **Die Hand wird als Baukasten geführt.** Fünfzehn Module hängen über dreizehn benannte Schnittstellen zusammen. Jedes Modul ist für sich verkaufbar, tauschbar und prüfbar; andere Vorhaben verknüpfen sich über den Modulpass (FP04).
6. **Der Grundbaustein ist die Gliederkette.** Aus derselben Kette entstehen Hand, Greifer, Baggerarm und weitere Maschinen. Eine gemeinsame Beschreibung und ein Bewegungsprüfstand zeigen die Bewegung, bevor ein Teil gedruckt ist; Kräfte rechnet der Prüfstand nicht (FP06). Die Hand bleibt das erste Ziel.

7. **Die erste Hand hat sechs Antriebe.** Handfläche und Daumen liegen als Entwurf vor und sind rechnerisch auf Durchdringung geprüft (FP07). Je Finger beugt eine Sehne alle drei Gelenke; die Anordnung mit zehn Antrieben braucht eine Lösung für die Kopplung am Grundgelenk. Gedruckt ist nichts.
8. **Die Kette bis zum Servo liegt als Entwurf vor.** Fingerkuppen, Flanschadapter, eine abgesetzte Antriebseinheit für sechs Bus-Servos und eine Steuerung, die die Stelltable des Bewegungsprüfstands in Befehle umsetzt (FP08). Die Sehnen laufen in Schläuchen zur Antriebseinheit; das löst die Führung am Daumen und kostet Kraft, die noch zu messen ist. Die Steuerung ist im Trockenlauf geprüft und an keinem Gerät erprobt.
9. **Ein Lehrpaket mit fünf Einheiten liegt vor.** Es arbeitet mit Rechner und Bewegungsprüfstand und braucht kein gedrucktes Modell. Im Unterricht erprobt ist es nicht.
10. **Dieselbe Beschreibung speist jetzt auch die Simulation und den Betrieb.** Jede Maschine liegt als URDF-Datei für Starrkörpersimulationen vor; gespannt werden die Sehnen über die Steuerung; für Fertigung, Prüfung, Wartung und Schulung von Mitarbeitern gibt es interne Unterlagen (FP09). Erprobt ist davon nichts.
11. **Die Schläuche kosten weniger Kraft als befürchtet.** In einer durchgerechneten Aufstellung kommen 81 bis 88 Prozent der Sehnenkraft an; die Finger erreichen rechnerisch 3,9 bis 4,1 N an der Kuppe statt der 4,4 N der Stufe B, nach Abzug des Rückzugs rund 3,5 bis 3,7 N (FP10). Der Reibwert dahinter ist unbelegt; eine Messreihe am Prüffinger mit Schlauch klärt ihn.
12. **Aus dem Finger ist ein offener Baukasten geworden.** Eine Standardlinie führt die Glieder in jeder Länge von 24 bis 120 mm. In einer Werkstatt im Browser setzen Anwender eigene Maschinen zusammen, bewegen und programmieren sie und geben sie als Datei weiter; aus der Datei entstehen die Druckteile (FP11). Zehn Beispielmachines lassen sich vollständig aus der Standardlinie fertigen; für flache Anordnungen entsteht die Trägerplatte dazu, und die Werkstatt meldet, wenn Glieder einander zu nahe kommen. Ein Testbetrieb mit vier Anwendergruppen ist vorbereitet und nicht begonnen; gedruckt ist nichts.
13. **Die Druckdateien liegen vor, ohne dass OpenSCAD gelaufen ist.** Ein eigener Netzkern zieht aus jedem Körper ein geschlossenes Netz in Drucklage und prüft die geschriebene Datei gegen den Körper und gegen die Konstruktionsdatei; 44 Netze, ohne Befund. Ein Prototypenplan führt in elf Stufen von vier Lehren über die Hand bis zu Endstücken, Trägerkopf und Drehsockel, mit Druckliste und Prüfvorlagen je Stufe; was die Lehren zeigen, geht als Aufmaß des Druckers in die Daten. Für stehende Anordnungen entsteht ein Trägersockel, sodass alle Beispielmachines vollständig druckbar sind. Ein Überschlag der Festigkeit bei Blockmoment zeigt zwei Stellen unter dem Zielwert: die Auflage der Gelenkschraube in der Zunge (Sicherheit 1,7) und die Trägerplatte, wenn sie nur an einer Bohrung gehalten wird (1,1 bis 1,4). Beides beruht auf angenommener Festigkeit (FP12). Geöffnet in einem Druckvorbereitungsprogramm, gedruckt oder gemessen ist nichts.
14. **Ketten enden nicht mehr nur in einer Kuppe und sitzen nicht mehr nur am Körper.** Greiferbacke, Schaufel und Standfuß sitzen auf der Aufnahme der Kuppe und greifen mit einem Sattel über den Rücken des Endglieds. Ein Trägerkopf lässt eine Kette weitere Ketten tragen, etwa einen Arm zwei Finger; Werkstatt und Baukette entscheiden nach derselben Regel, wann er entsteht (FP13). Der Steg des Trägerkopfs liegt im Überschlag bei einer Sicherheit von 1,5 und damit ebenfalls unter dem Zielwert. Für die Sensorik liegt ein Konzept in vier Stufen vor, mit Bauteilwerten aus Datenblättern: Ein Weggeber am Finger

löst nicht feiner auf als die Rückmeldung des Antriebs, zeigt aber Dehnung und Lose der Sehne. Statt eines Handschuhs ist eine Führungshand aus denselben Bausteinen vorgesehen, weil dieser Strang nichts anbietet, was am Körper getragen wird. Beschafft, gedruckt oder gemessen ist davon nichts.

15. **Auch das Gelenk um die Hochachse ist jetzt ein Baustein, und die Hand hat dabei einen Fehler gezeigt.** Der Daumensockel der Hand dient als Drehsockel der Standardlinie; die Trägerplatte erhält dafür Ohr, Sehnenbock und Anker (FP14). Die Hand mit sechs Antrieben läuft seither zur Probe wie ein Baukastenbeispiel durch die Bauteilerzeugung. Dabei zeigte sich, dass der Daumen im Programm „Faust“ auf dem Weg in die Endlage den Zeigefinger streifte; die Reihenfolge am Daumen ist berichtigt. Die Steuerung schreibt Iststellung und Last der Antriebe je Ereignis mit, geprüft ohne Gerät. Gedruckt, angeschlossen oder gemessen ist davon nichts.

Empfohlene Reihenfolge

Schritt	Inhalt	Voraussetzung
1	Lohnfertigung und Zubehör anbieten; Flyer und Rechner als Türöffner	Freigabe des Flyers
2	Finger, Führungseinsatz und Prüfstand konstruieren, drucken und messen; damit Fingerfuß, Führungseinsatz und Sehnendurchgang festlegen	Entscheidung über Vorlage
3	Fingerkuppe, Handfläche und Daumen; Mechanik-Bausatz als Modulsatz, Pilotserie mit einer Schule oder Hochschule	Messwerte, Risikoanalyse, Patentprüfung
4	Antriebseinheit und Steuerung am Gerät erproben; Sensorik und Datenhandschuh	ein Servo zum Abnehmen der Maße, EMV-Bewertung, gegebenenfalls Förderprojekt

Grenzen

- Kein Angebot als Körperersatz, zur Behandlung oder zum Tragen am Körper.
- Keine Arbeit für Rüstung, Militär oder Waffen.
- Als Lehr- und Maker-Produkt ab 14 Jahren gestalten, nicht als Spielzeug.
- Vorlagen mit Ausschluss kommerzieller Nutzung scheiden aus.

Offen

Preis und Lieferstatus der M1, die Patentlage, die Lizenz einzelner offener Vorlagen, der Maschinenstundensatz für die Kalkulation, die Maße der Schnittstellen und der Markenname. Die vollständige Liste steht in `04_META/offene-punkte.md`.

Quellen

Siehe FP01, FP02, FP04 bis FP12 und `literatur.md`.