

BionicSoftHand

Pneumatische Roboterhand mit künstlicher Intelligenz

FESTO



BionicSoftHand

Pneumatischer Greifer nach dem Vorbild der menschlichen Hand



Ob greifen, halten oder drehen, tasten, tippen oder drücken – im Alltag nutzen wir unsere Hände wie selbstverständlich für die unterschiedlichsten Aufgaben. Dabei ist die menschliche Hand mit ihrer einzigartigen Kombination von Kraft, Geschicklichkeit und Feinmotorik ein wahres Wunderwerkzeug der Natur. Eine wichtige Rolle spielt dabei der menschliche Daumen, der den anderen Fingern gegenüber positioniert ist. Diese so genannte Opponierbarkeit ermöglicht es uns beispielsweise, eine Faust zu ballen, präzise zu greifen und auch filigrane Arbeiten zu erledigen.

Nachgiebige Kinematik für eine sichere Zusammenarbeit

Was liegt da näher, als Roboter in kollaborativen Arbeitsräumen mit einem Greifer auszustatten, der diesem natürlichen Vorbild nachempfunden ist und durch künstliche Intelligenz lernen kann, verschiedene Aufgaben zu lösen? Damit die BionicSoftHand sicher und direkt mit dem Menschen interagieren kann, wird sie pneumatisch betrieben. Ihre Finger bestehen aus flexiblen Balgstrukturen mit Luftkammern und weiteren weichen Materialien. Dadurch ist sie leicht, nachgiebig, anpassungsfähig und sensibel, aber dennoch in der Lage, starke Kräfte auszuüben.

Funktionsintegration auf kleinstem Bauraum

Um die Bewegungen der menschlichen Hand naturgetreu auszuführen, sind auf engstem Raum kleinbauende Ventiltechnik, Sensorik, Elektronik und mechanische Komponenten integriert.

Greifen und Lernen – ein intelligentes Zusammenspiel

Mittels künstlicher Intelligenz lernt die bionische Roboterhand eigenständig Greif- und Drehaufgaben zu lösen, ähnlich wie die menschliche Hand im Zusammenspiel mit dem Gehirn: Denn unsere Hände reagieren auf die Befehle des Gehirns, liefern ihm gleichzeitig aber auch wichtige Informationen, um die weiteren Handlungen an die Umwelt und deren Anforderungen anzupassen.

Neurowissenschaftler sagen, der Mensch sei nur so intelligent, weil die Hand so viele komplexe Aufgaben lösen kann. Babys beginnen sehr früh zu greifen – zum Beispiel den Finger der Mutter. Sobald sie gelernt haben, ein Objekt richtig zu fassen, können sie es drehen und von allen Seiten betrachten. So erst lässt sich ein dreidimensionales Bild des Objektes im Kopf rekonstruieren und mithilfe der Hand buchstäblich begreifen.

01: **Pneumatisches Gesamtsystem:** gefahrlose Interaktion mit der BionicSoftHand am BionicSoftArm

02: **Maschinelles Sehen:** Computer Vision zur Sammlung der nötigen Daten für ein virtuelles Abbild

03/04: **Digitaler Zwilling:** die reale Roboterhand und ihr virtuelles Abbild im Simulationsmodell

05: **Massive Parallel Learning:** schnelles Lernen durch die Vervielfältigung des digitalen Zwillings



Reinforcement Learning: das Prinzip der Belohnung

Die Lernmethoden von Maschinen sind mit denen des Menschen vergleichbar: Ob positiv oder negativ – sie benötigen eine Rückmeldung zu ihren Aktionen, um diese einordnen zu können und daraus zu lernen. Bei der BionicSoftHand kommt die Methode des Reinforcement Learnings zum Einsatz, des Lernens durch Bestärken.

Das bedeutet: Statt einer konkreten Handlung, die sie nachahmen muss, bekommt die Hand lediglich ein Ziel vorgegeben. Dieses versucht sie durch Ausprobieren (Trial-and-Error) zu erreichen. Anhand des erhaltenen Feedbacks optimiert sie nach und nach ihre Aktionen, bis sie schließlich die gestellte Aufgabe erfolgreich löst.

Digitaler Zwilling der realen Roboterhand

Konkret soll die BionicSoftHand einen zwölfseitigen Würfel so drehen, dass am Ende eine vorher festgelegte Seite nach oben zeigt. Das Einlernen der dazu nötigen Bewegungsstrategie geschieht in einer virtuellen Umgebung anhand eines digitalen Zwillings, der mithilfe der Daten einer Tiefenkamera und der Algorithmen der künstlichen Intelligenz erstellt wird.

Schneller Wissenstransfer durch Massive Parallel Learning

Das digitale Simulationsmodell beschleunigt das Training erheblich, insbesondere wenn man es vervielfacht. Beim so genannten Massive Parallel Learning wird das erlangte Wissen mit allen virtuellen Händen geteilt, die dann mit dem neuen Wissensstand weiterarbeiten: Jeder Fehler wird so nur einmal gemacht. Erfolgreiche Aktionen stehen sofort allen Modellen zur Verfügung. Nachdem die Steuerung in der Simulation trainiert ist, wird sie auf die reale BionicSoftHand übertragen. Mit der virtuell erlernten Bewegungsstrategie kann sie den Würfel auf die gewünschte Seite drehen und zukünftig auch andere Gegenstände entsprechend orientieren.

Lernalgorithmen statt aufwendiger Programmierung

In der Automatisierung von heute sind viele Aufgaben zu komplex, um jede Bewegung und Funktion direkt programmieren zu können. Aufgrund der vielen Freiheitsgrade sind auch bei der BionicSoftHand herkömmliche Steuerungsstrategien nicht ohne Weiteres anwendbar. Um ihr Produktivitäts- und Effizienzpotenzial voll auszuschöpfen, muss sie selbstständig lernen, wie sie ihr Verhalten anpassen kann, um ihre Fähigkeiten zu erweitern.

BionicSoftHand

Hochintegrierte Softrobotik-Komponente

Im Gegensatz zur menschlichen Hand besitzt die BionicSoftHand keine Knochen. Sie steuert ihre Bewegungen über die pneumatischen Strukturen in ihren Fingern. Werden die Kammern mit Luft befüllt, krümmen sich die Finger. Sind die Luftkammern entlüftet, bleiben die Finger gestreckt. Daumen und Zeigefinger sind zusätzlich mit einem Schwenkmodul ausgestattet, wodurch sich diese beiden Finger auch seitlich bewegen lassen. Dadurch verfügt die bionische Roboterhand über insgesamt zwölf Freiheitsgrade.

Drei taktile Kraftsensoren

Zur Kraftmessung und Erkennung von unterschiedlichen Greifobjekten

Flexible Leiterplatte

Mit Mäanderstruktur und integrierten Inertial- und Kraftsensoren

Elastomer-Balg

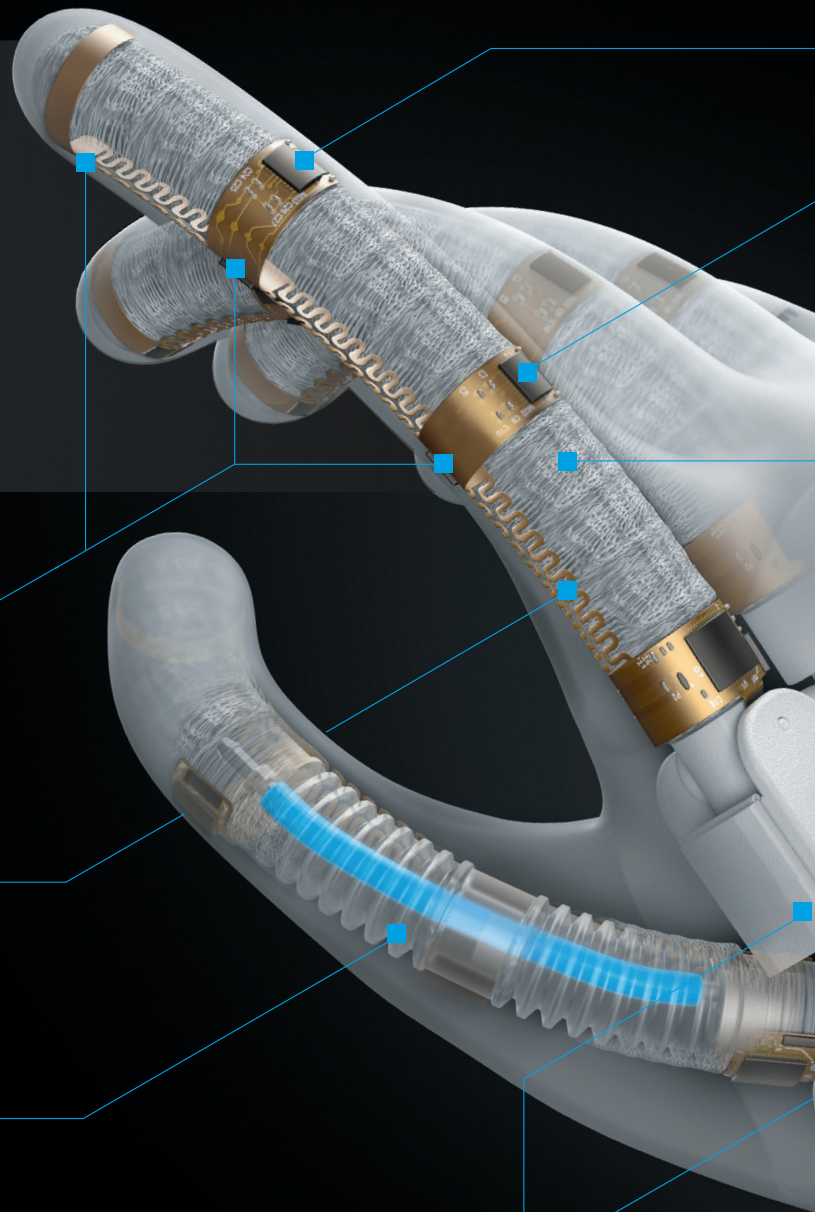
Mit zwei Luftkammern zur Bewegung des Fingers

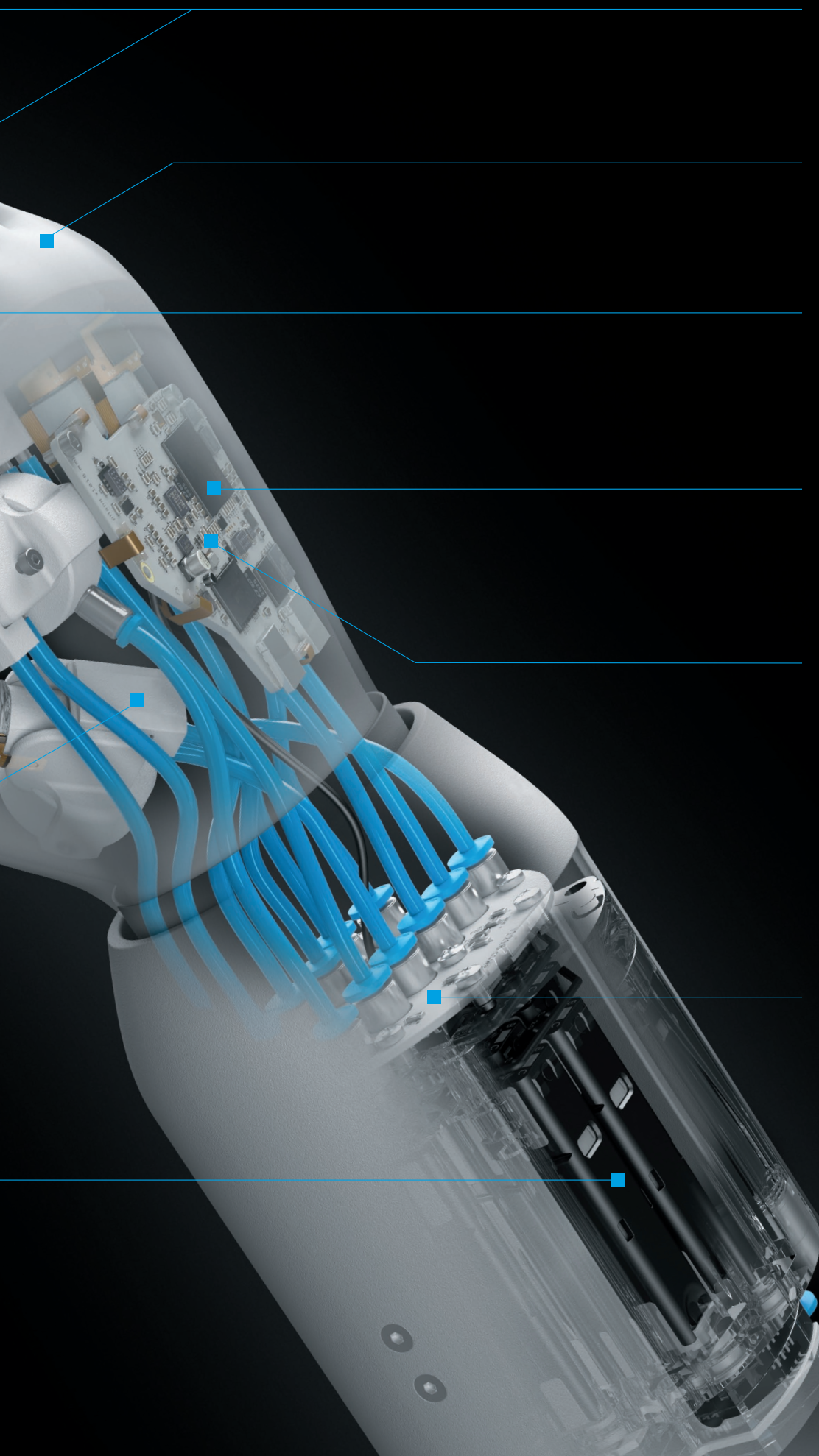
Zwei pneumatische Schwenkmodule

Jeweils ein zusätzlicher Freiheitsgrad für seitliche Bewegung

Kompakte Ventilinsel

Mit 24 proportionalen Piezoventilen zum exakten Be- und Entlüften der Finger und zur Ansteuerung der Schwenkmodule





Zwei Inertialsensoren

Zur Erfassung von Position und Stellung des Fingers

Elastische Silikonhaut

Zur Verbesserung der Haptik und zum Schutz der Sensorik

3D-Textilgestrick

Webstruktur mit elastischen und hochfesten Synthetikfasern

Inertialsensor

Referenzpunkt für die Inertialsensoren in den Fingern zur Positionserkennung

Mainboard

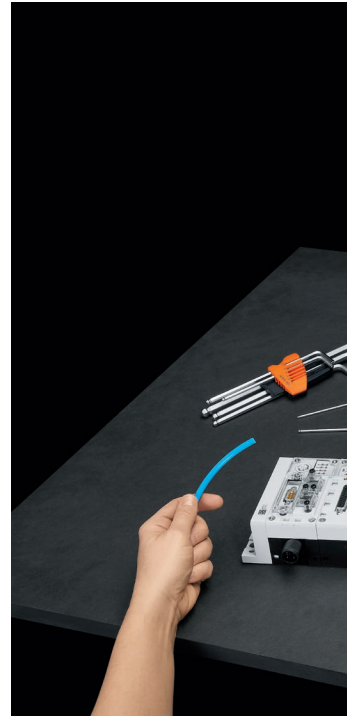
Zur Steuerung der Hand

Luftführungsplatte mit integrierten Drucksensoren

Verbindung der Ventile mit den Verschlauchungen der Finger

BionicSoftHand

Feinfühlige Roboterhand mit digitaler Ansteuerung



Um den Aufwand für die Verschlauchung der BionicSoftHand möglichst gering zu halten, haben die Entwickler eigens eine kleinbauende, digital angesteuerte Ventilinsel konstruiert, die direkt an der Hand angebracht ist. Dadurch müssen die Schläuche zur Ansteuerung der Finger nicht durch den kompletten Roboterarm gezogen werden. So lässt sich die BionicSoftHand mit nur je einem Schlauch für Zuluft und Abluft schnell und einfach anschließen und in Betrieb nehmen.

Proportionale Piezoventile für eine präzise Regelung

Die Ventilinsel setzt sich aus 24 proportionalen Piezoventilen zusammen, mit denen sich die Durchflüsse und Drücke in den Fingern der Roboterhand exakt dosieren lassen. Das ermöglicht sowohl kraftvolle als auch feinfühligere Bewegungsabläufe. Die 24 Ventildüsen sind über eine Luftführungsplatte mit den zehn Luftanschlüssen der Finger und den beiden Schwenkmodulen verbunden. Gleichzeitig sitzen auf der Platte die für eine präzise Regelung notwendigen Drucksensoren. Um das filigrane Design mit den komplexen Luftführungskanälen auf so engem Bauraum realisieren zu können, ist die Platte im 3D-Druck hergestellt.

Pneumatische Kinematik mit 3D-Textilgestrick

Bewegt werden die Finger über einen Balg aus robustem Elastomer mit zwei Kammern, die mit Druckluft beaufschlagt werden. Dadurch sind sie besonders elastisch und gleichzeitig strapazierfähig. Sind beide Luftkammern vollständig entleert, steckt keine Kraft in den Fingern und diese bleiben gestreckt.

Die Gummibälge sind von einem speziellen 3D-Textilmantel umschlossen, der sowohl aus elastischen als auch hochfesten Fäden gestrickt ist. Damit kann über das Textil genau bestimmt werden, an welchen Stellen die Struktur sich ausdehnt und damit Kraft entfaltet und wo sie an der Ausdehnung gehindert wird: Während die Außenseite der Finger dehnbar ist, begrenzt ein Zugband die Längsausdehnung an der Fingerinnenseite. So krümmt sich der Finger, sobald er mit Luft gefüllt wird.

Auf dem Gestrick sind flexible Leiterplatten mit Mäanderstruktur appliziert, auf der die Inertial- und taktilen Kraftsensoren sitzen. Die hauchdünnen Platinen sind biegsam und beeinträchtigen dadurch die Bewegungen der Finger nicht.

01: **Einfache Inbetriebnahme:** schneller Anschluss an unterschiedliche Leichtbauroboter, wie den BionicSoftArm

02: **Helfende Hand:** prädestiniert für die direkte Zusammenarbeit in kollaborativen Räumen

03: **Vielseitige Verwendung:** vier pneumatische Finger der BionicSoftHand in einem adaptiven Zangengreifer

04: **Denkbares Zukunftsszenario:** das Arbeiten aus sicherer Distanz mittels Gestenimitation



Ihre flexible, pneumatische Kinematik und der Einsatz von elastischen Materialien und leichten Bauteilen unterscheiden die BionicSoftHand von elektrischen oder seilzugaktuerten Roboterhänden und machen eine preiswerte Herstellung möglich. Dank ihres modularen Aufbaus gibt es auch Greifervarianten mit drei oder vier Fingern.

Potenziale für die Mensch-Roboter-Kollaboration

Kombiniert mit pneumatischen Leichtbaurobotern – wie dem BionicCobot oder dem BionicSoftArm – ist eine direkte und sichere Zusammenarbeit im Sinne der Mensch-Roboter-Kollaboration möglich. Beide Roboter sind von Grund auf nachgiebig und müssen nicht wie konventionelle Fabrikroboter vom Werker abgeschirmt werden.

Damit ist die BionicSoftHand prädestiniert für Anwendungen in den kollaborativen Arbeitsräumen der Fabrik von morgen. Da die flexible Roboterhand sowohl kräftig als auch sensibel greifen kann, ist ein Einsatz als helfende dritte Hand in der Montage ebenso denkbar wie eine Verwendung in der Servicerobotik.

Fernmanipulation durch Gestenimitation

Auch eine Fernmanipulation der BionicSoftHand ist vorstellbar. Mithilfe der Bilder einer Tiefenkamera kann die Roboterhand die Gesten und Handbewegungen des Anwenders nachahmen, beziehungsweise auf diese reagieren. So ließe sich die Hand auch aus sicherer Distanz steuern, beispielsweise im Umgang mit gefährlichen Stoffen oder bei gesundheitsgefährdenden Prozessen. Zudem könnten mehrere Systeme gleichzeitig gesteuert werden.

In der Produktion der Zukunft werden immer flexiblere Anlagen und Komponenten benötigt, die sich eigenständig auf das jeweils zu fertigende Produkt einstellen. Adaptive Greifer wie die BionicSoftHand können dabei eine bedeutsame Rolle einnehmen.

Gelernte Wissensbausteine weltweit einsetzbar

Die Fähigkeit, eigenständige Lösungsstrategien zu entwickeln, macht das Zusammenwirken von Mensch und Maschine künftig noch intuitiver, einfacher und effizienter. Einmal gelernte Wissensbausteine und neue Fertigkeiten lassen sich grenzenlos teilen und global zur Verfügung stellen.



Technische Daten

- Länge der Finger: 4 × 98 mm
. 1 × 79 mm (kleiner Finger)
- Freiheitsgrade der Hand: 12
- Betriebsdruck: 3,5 bar (Finger)
. 6,0 bar (Schwenkmodule)
- Maximale Traglast: bis zu 4 kg (je nach Orientierung)

Material:

- Haut: Silikon
- Textilgewebe: Dyneema®
- Bälge: EPDM mit SHORE-Härte ~45
- Gehäuse: 3D-Druck-Material
- Luftführungsplatte: Harz, im Stereolithographie-Verfahren gefertigt

Sensorik:

- 1 Inertialsensor im Handrücken
- 10 Inertialsensoren in den Fingern
- 15 taktile Kraftsensoren in den Fingern
- 14 Drucksensoren in der Luftführungsplatte
- Pneumatische Antriebe: 2 Schwenkmodule EV
- Ventiltechnik: 12 Piezo-Patronen aus dem Festo Motion Terminal VTEM
- Computer Vision: 1 Tiefenkamera Leap Motion
- Dyneema® ist ein eingetragenes Markenzeichen von DSM IP Assets B.V., Te Heerlen, Niederlande

Projektbeteiligte

Projektinitiator:

Dr. Wilfried Stoll, Geschäftsführender Gesellschafter, Festo Holding GmbH

Projektleitung:

Karoline von Häfen, Dr.-Ing. Elias Knubben, Festo AG & Co. KG

Idee und Konzept:

Prof. Dieter Mankau, Frankfurt am Main

Projektteam:

Christian Ebert,
Ebert Zobel Industrial Design GbR, Frankfurt am Main

Dr.-Ing. Alexander Hildebrandt, Mart Moerdijk, Timo Schwarzer, Sebastian Schrof, Philipp Steck, Julia Gastinger, Manuel Rausch, Micha Purucker, Paolo Rüegg, Christian Schweizer, Festo AG & Co. KG

Reinforcement Learning:

Jan Koutnik, Zdenek Buk, Vojtech Micka
Nnaisense SA, Lugano, Schweiz

Textiltechnik:

Walter Wörner Gesellschaft für textilen Service mbH, Pfullingen

Festo AG & Co. KG

Rüter Straße 82
73734 Esslingen
Deutschland
Telefon 0711 347-0
Telefax 0711 347-21 55
cc@festo.com
→ www.festo.com/bionik