

BionicMobileAssistant

Mobiles Robotersystem mit pneumatischer Greifhand

FESTO



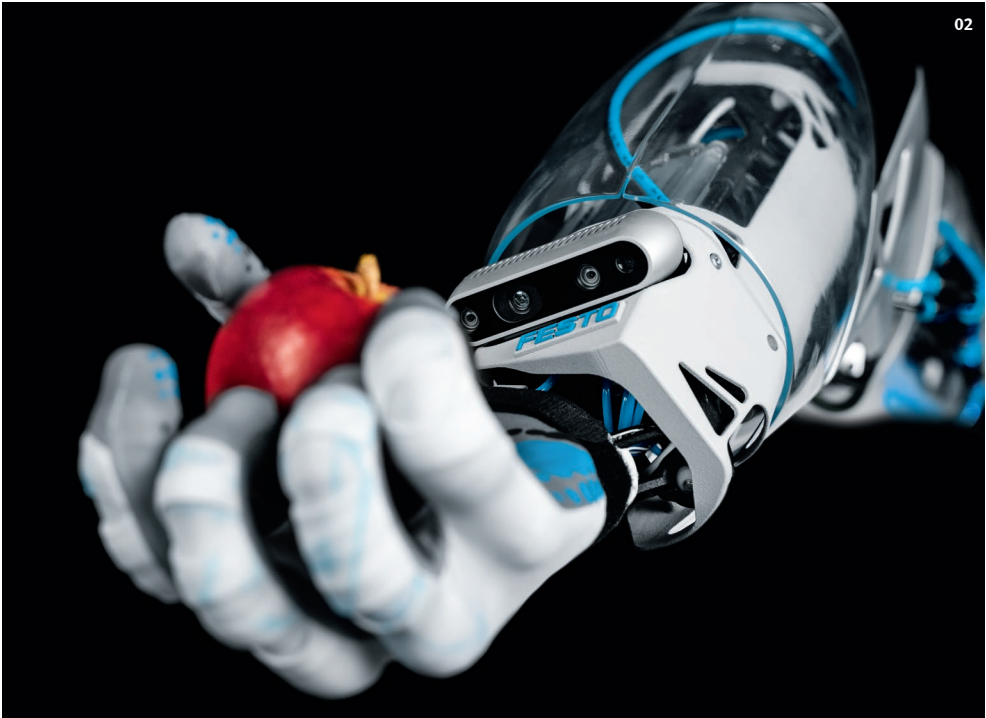
BionicMobileAssistant

Mobiles Robotersystem mit pneumatischer Greifhand

01: **Sicheres Assistenzsystem:** Ballbot, DynaArm und BionicSoftHand 2.0 in Aktion

02: **Visuelle Objekterkennung:** eine Tiefenkamera am Handgelenk

03: **Digitales Lernen:** Data Augmentation zum Trainieren des neuronalen Netzes



Der industrielle Wandel verlangt ein neuartiges Zusammenspiel von Menschen, Maschinen und Daten. Werker und Roboter werden in Zukunft immer mehr und enger zusammenarbeiten. Daher befasst sich Festo intensiv mit Systemen, die den Menschen zum Beispiel bei monotonen oder gefährdenden Tätigkeiten entlasten könnten und gleichzeitig kein Risiko darstellen. Künstliche Intelligenz spielt hierbei eine zentrale Rolle als Enabler.

Im Bionic Learning Network, einem Forschungsverbund von Festo mit Hochschulen, Instituten und Entwicklungsfirmen, ist mit dem BionicMobileAssistant ein Robotersystem entstanden, das sich autark im Raum bewegt und Gegenstände erkennen, adaptiv greifen und gemeinsam mit dem Menschen bearbeiten kann.

Modulares Assistenzsystem

Das gesamte System, das in Kooperation mit der ETH Zürich entwickelt wurde, ist modular aufgebaut und besteht aus drei Subsystemen: einem mobilen Roboter, einem elektrischen Roboterarm und der BionicSoftHand 2.0. Der pneumatische Greifer ist von der menschlichen Hand inspiriert und wurde erstmals 2019 vorgestellt.

BionicSoftHand 2.0: nach dem Vorbild der menschlichen Hand

Die menschliche Hand ist mit ihrer einzigartigen Kombination von Kraft, Geschicklichkeit und Feinmotorik ein wahres Wunderwerk der Natur. Eine wichtige Rolle spielt dabei der Daumen, der den anderen Fingern gegenüber positioniert ist. Diese so genannte Opponierbarkeit ermöglicht es uns beispielsweise, eine Faust zu ballen, präzise wie eine Pinzette zu greifen und auch filigrane Arbeiten zu erledigen.

Pneumatische Kinematik mit 3D-Textilgestrick

Damit die BionicSoftHand 2.0 die Bewegungen der menschlichen Hand naturgetreu ausführen kann, sind auf engstem Raum kleinbauende Ventiltechnik, Sensorik, Elektronik und mechanische Komponenten integriert. Die Finger bestehen aus flexiblen Balgstrukturen mit Luftkammern, umhüllt von einem festen und zugleich nachgiebigen Textilgestrick. Dadurch ist die Hand leicht, anpassungsfähig und sensibel, aber dennoch in der Lage, starke Kräfte auszuüben. Auch die Ansteuerung der pneumatischen Finger erfolgt nach wie vor über eine kompakte Ventilinsel mit Piezovenilen, die direkt an der Hand angebracht ist.

Weiterentwicklung mit optimiertem Aktionsradius

Um den Spielraum von Daumen und Zeigefinger zu erweitern, haben die Entwickler den seitlichen Schwenkbereich beider Finger deutlich vergrößert. Dadurch können sie nun optimal zusammenarbeiten und sehr präzise greifen. Dank eines 3D-gedruckten Handgelenks mit zwei Freiheitsgraden kann sich die Hand außerdem sowohl vor und zurück als auch nach links und nach rechts bewegen. Somit ist auch ein Greifen mit engem Radius möglich.

Sensibler Greifer mit Fingerspitzengefühl

Für mehr Stabilität in den Fingern sitzen in den Luftkammern nun zwei Strukturelemente, die als Knochen fungieren. Pro Finger bestimmt ein Biegesensor mit je zwei Segmenten die Positionen der Fingerspitzen. Zudem trägt die Hand einen Handschuh mit taktilen Kraftsensoren an den Fingerspitzen, der Handfläche und den Außenseiten der Roboterhand. So kann sie die Beschaffenheiten des Greifguts fühlen und ihre Greifkraft – genau wie wir Menschen – an den jeweiligen Gegenstand anpassen. Zusätzlich sitzt am Inneren des Handgelenks eine Tiefenkamera zur visuellen Objekterfassung.

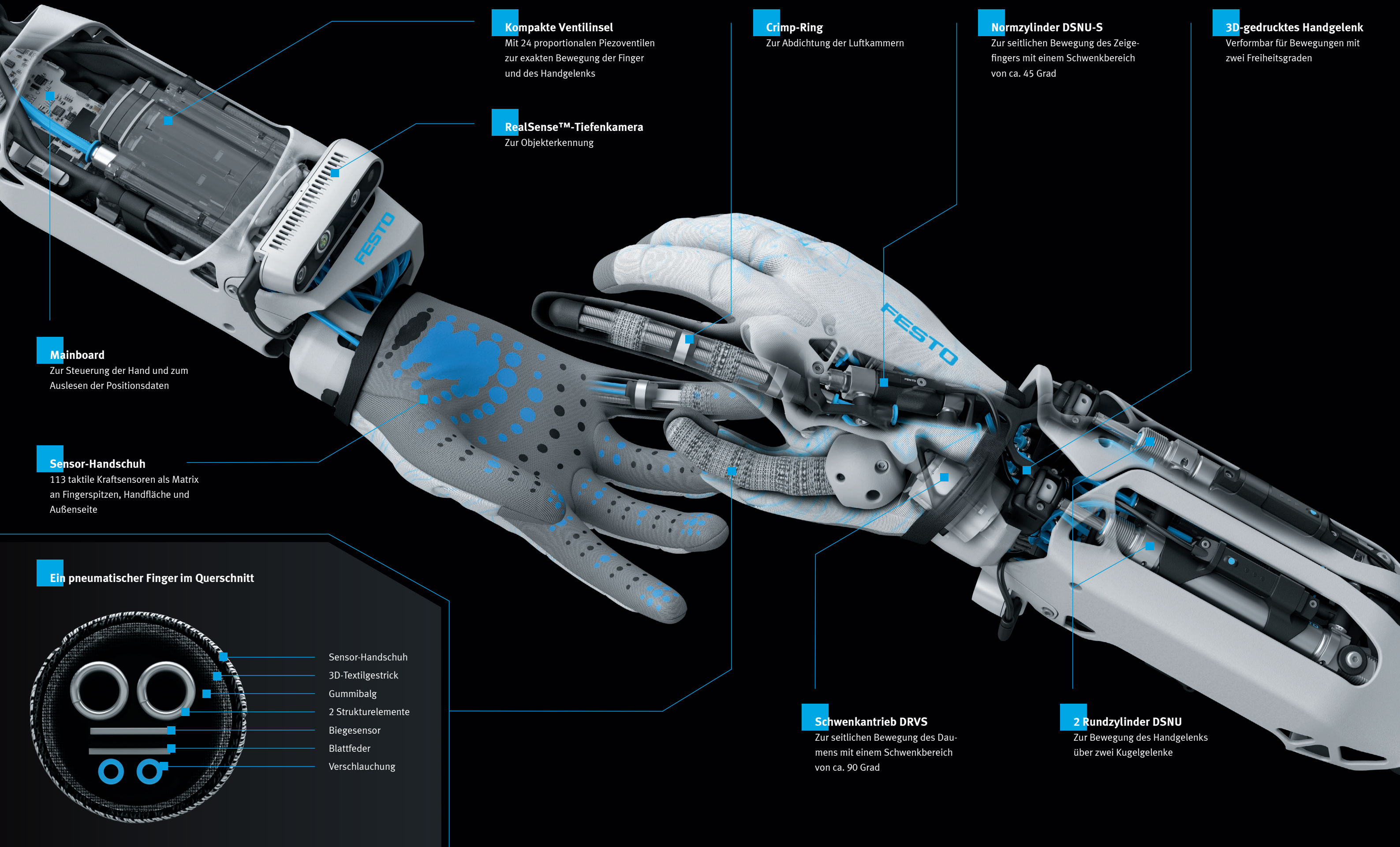
Objekterkennung mittels neuronalen Netzes

Mit Hilfe der Kamerabilder kann die Roboterhand verschiedene Gegenstände erkennen und greifen, selbst wenn diese teilweise verdeckt sind. Nach entsprechendem Training kann die Hand anhand der erfassten Daten die Objekte außerdem beurteilen und so beispielsweise gute von schlechten unterscheiden. Die Verarbeitung der Informationen übernimmt ein neuronales Netz, das im Vorfeld mit Hilfe von Data Augmentation trainiert wurde.

Umfangreiche Datensätze durch Data Augmentation

Um bestmögliche Ergebnisse zu erreichen, benötigt das neuronale Netz viele Informationen, anhand derer es sich orientieren kann. Das heißt: Je mehr Trainingsbilder ihm zur Verfügung stehen, desto zuverlässiger wird es. Da dies in der Regel zeitaufwändig ist, bietet sich eine automatische Vermehrung der Datenbasis an. Dieses Verfahren wird als Data Augmentation bezeichnet. Durch marginale Abänderungen weniger Ausgangsbilder – beispielsweise mit unterschiedlichen Hintergründen, Lichtverhältnissen oder Blickwinkeln – und deren Vervielfältigung erhält das System einen umfangreichen Datensatz, mit dem es selbstständig arbeiten kann.

BionicSoftHand 2.0
Hochintegrierte Softrobotik-Komponente



Mainboard
Zur Steuerung der Hand und zum Auslesen der Positionsdaten

Sensor-Handschuh
113 taktile Kraftsensoren als Matrix an Fingerspitzen, Handfläche und Außenseite

Ein pneumatischer Finger im Querschnitt

- Sensor-Handschuh
- 3D-Textilgestrick
- Gummibalg
- 2 Strukturelemente
- Biegesensor
- Blattfeder
- Verschlauchung

Kompakte Ventilinsel
Mit 24 proportionalen Piezoventilen zur exakten Bewegung der Finger und des Handgelenks

RealSense™-Tiefenkamera
Zur Objekterkennung

Crimp-Ring
Zur Abdichtung der Luftkammern

Normzylinder DSNU-S
Zur seitlichen Bewegung des Zeigefingers mit einem Schwenkbereich von ca. 45 Grad

3D-gedrucktes Handgelenk
Verformbar für Bewegungen mit zwei Freiheitsgraden

Schwenkantrieb DRVS
Zur seitlichen Bewegung des Daumens mit einem Schwenkbereich von ca. 90 Grad

2 Rundzylinder DSNU
Zur Bewegung des Handgelenks über zwei Kugelgelenke

BionicMobileAssistant

Mobiles Robotersystem mit pneumatischer Greifhand



Kombiniert ist die BionicSoftHand 2.0 mit einem mobilen Ballbot und einem leichten, elektrischen Roboterarm – dem DynaArm. Dank modellbasierter Kraftregelung und Regelalgorithmen zur Kompensation dynamischer Effekte kann der Arm gut auf äußere Einflüsse reagieren und damit sehr feinfühlig mit seiner Umgebung interagieren.

Roboterarm mit hoher Leistungsdichte

Mit dem DynaArm sind schnelle und dynamische Bewegungen möglich. Dafür sorgt seine leichte Bauweise mit hochintegrierten, nur einem Kilogramm schweren Antriebsmodulen. In diesen so genannten DynaDrives sind Motor, Getriebe, die Motoren-Kontroll-elektronik und Sensoren auf engstem Raum verbaut.

Außerdem verfügt der Arm über eine hohe Leistungsdichte, die mit einem kW bei 60 Nm Antriebsmoment weit über die der üblichen Industrieroboter hinausgeht. Angesteuert wird er von dem Ballbot aus über einen EtherCAT-Kommunikationsbus. Durch seinen modularen Aufbau lässt sich der DynaArm schnell in Betrieb nehmen und einfach instand halten.



Mobile Roboteranwendung mit speziellem Antrieb

Für den Ballbot setzen die Entwickler auf ein ausgeklügeltes Antriebskonzept: Der Roboter balanciert auf einer Kugel, die von drei Omniwheels angetrieben wird. Dadurch kann sich der BionicMobileAssistant beliebig in alle Richtungen manövrieren. Der Roboter berührt den Boden immer nur an einem Punkt und kann so auch durch enge Passagen navigieren. Um sein Gleichgewicht zu halten, muss er sich kontinuierlich bewegen. Die Planung und Koordination der Bewegungen erfolgen über Planungs- und Regelalgorithmen, die auf einem leistungsstarken Rechner im Körper des Ballbots hinterlegt sind.

Die Stabilität des Roboters wird rein dynamisch realisiert – bei Einflüssen von außen kann der Ballbot die Kugel schnell in Rotation versetzen und so das Gleichgewicht halten. Mit Hilfe einer inertialen Messeinheit und von Positionsensoren an den Rädern erfasst er seine Bewegungen und die relative Neigung des Systems. Ein Optimierungsprogramm berechnet auf Basis dieser Daten, wie sich Roboter und Arm bewegen müssen, um die Hand in Zielposition zu bringen und den Roboter gleichzeitig zu stabilisieren.

01: **Sichere Manöver:** Selbst wenn er geschubst wird, balanciert sich der Ballbot aus und fällt nicht um.

02: **Optimale Traktion:** Die drei Omniwheels werden ebenfalls von je einem DynaDrive angetrieben.

03: **Autonomes Navigieren:** Orientierung im Raum mit Hilfe zweier Kameras

04: **Modulares Konzept:** die BionicSoft-Hand 2.0 am BionicCobot



Mobiler Einsatz an wechselnden Orten

Seine gesamte Energieversorgung hat das System an Bord: Die Batterie für Arm und Roboter sitzt im Körper. Die Druckluftkartusche für die pneumatische Hand ist im Oberarm verbaut. Damit ist der Roboter nicht nur mobil, er kann sich auch autark bewegen.

Die auf dem Leitrechner hinterlegten Algorithmen steuern auch die autonomen Bewegungen des Systems. Sie planen mit Blick in die Zukunft, wie sich der Arm und der Ball bewegen müssen, um gewisse Zielpunkte zu erreichen und dabei die Balance zu halten. Mit Hilfe von zwei Kameras orientiert sich der Roboter dabei selbstständig im Raum: Eine Kamera sucht nach vordefinierten Fixpunkten in der Umgebung, um sich absolut zu positionieren, während eine zweite Kamera die Deckenstruktur zur Abschätzung der Bewegung nutzt.

Seine Mobilität und die autarke Energieversorgung ermöglichen dem BionicMobileAssistant einen flexiblen Einsatz für unterschiedliche Aufgaben an wechselnden Orten – ganz im Sinne einer sich ständig wandelnden Fertigung.



Vielseitige Anwendungsmöglichkeiten

Prädestiniert wäre das System für die Anwendung als direkter Assistent des Menschen, zum Beispiel als Serviceroboter, als helfende Hand in der Montage oder zur Unterstützung von Workern bei ergonomisch belastenden oder eintönigen Arbeiten.

Möglich wäre auch ein Einsatz in Umgebungen, in denen Menschen nicht arbeiten können, etwa aufgrund von Gefahren oder beschränkter Zugänglichkeit. Denkbar sind vor allem Unterhalts- oder Reparaturarbeiten, die Messung von Daten oder optische Überprüfungen.

Hand in Hand mit dem Menschen

Dank des modularen Konzepts lässt sich die BionicSoftHand 2.0 auch rasch an andere Roboterarme montieren und einfach in Betrieb nehmen. Kombiniert mit dem BionicCobot oder dem BionicSoftArm bildet der Greifer beispielsweise ein komplett pneumatisches Robotersystem, das aufgrund seiner inhärenten Nachgiebigkeit Hand in Hand mit dem Menschen zusammenarbeiten kann.



Technische Daten

BionicSoftHand 2.0

- Freiheitsgrade der Hand: 11, inkl. Handgelenk
- Gewicht der Hand: 1,295 kg
- Maximale Traglast: bis zu 4 kg (je nach Orientierung)
- Betriebsdruck Hand bzw. Schwenkmodule: 5 bzw. 6 bar
- Pneumatische Antriebe: 1 Schwenkantrieb DRVS,
..... 3 Zylinder DSNU/DSNU-S
- Ventiltechnik: 12 Piezopatronen des Motion Terminals VTEM
- Computer-Vision: 1 Intel®-RealSense™-Tiefenkamera

Material:

- Textil Finger: ... technisches 3D-Gestrick (extrem zugfestes Garn)
- Bälge: EPDM mit SHORE-Härte ~45
- Gehäuse und Handgelenk: 3D-gedrucktes Polyamid
- Luftführungsplatte: Epoxidharz

Sensorik:

- 10 Biegesensoren für Fingerposition, 1 Inertialsensor
- 113 taktile Kraftsensoren als Matrix im Handschuh
- 14 Drucksensoren in der Luftführungsplatte

DynaArm

- Gesamtgewicht (inkl. BionicSoftHand 2.0): 8 kg
- Traglast: 8 kg
- Reichweite: 850 mm
- Schwenkbereich: 180° in jedem Gelenk
- Freiheitsgrade: 4 Drehgelenke
- Antriebe: 4 DynaDrives V2 mit 48 V, 32 A, 980 W

Ballbot

- Gesamtgewicht: 21,9 kg
- Batterie: LiPo-Akku, 48 V
- Antriebe der Omniwheels: 3 DynaDrives V2
- Sensorik: 1 inertielle Messeinheit (IMU),
..... 2 Intel®-RealSense™-Tiefenkameras

Projektbeteiligte

Projektinitiator:

Dr. Wilfried Stoll, Geschäftsführender Gesellschafter,
Festo Holding GmbH

Projektleitung:

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

Projektteam:

Mart Moerdijk, Timo Schwarzer, Sebastian Schrof, Philipp Steck,
Emile Dickson, Li Zhong Yong, Lars Schillinger, Mathias Baumann,
Festo SE & Co. KG

Design:

Jörg Peschel, Philipp Eberl, Sebastian Schrof, Festo SE & Co. KG,
Genesis Design, München, und IMM Studios, Renningen

DynaArm und Ballbot:

Prof. Dr. Marco Hutter, Maria Vittoria Minniti, Dhionis Sako, Jan
Preisig, ETH Zürich

Textiltechnik:

Walter Wörner Gesellschaft für textilen Service mbH, Pfullingen

Sensortechnologie Matrixsensoren:

LOOMIA Technologies Inc., New York, USA

Festo SE & Co. KG

Ruiter Straße 82
73734 Esslingen
Deutschland
Telefon 0711 347-0
Telefax 0711 347-21 55
cc@festo.com

➔ www.festo.com/bionik