

## BionicMotionRobot

Pneumatischer Leichtbauroboter mit natürlichen Bewegungsformen

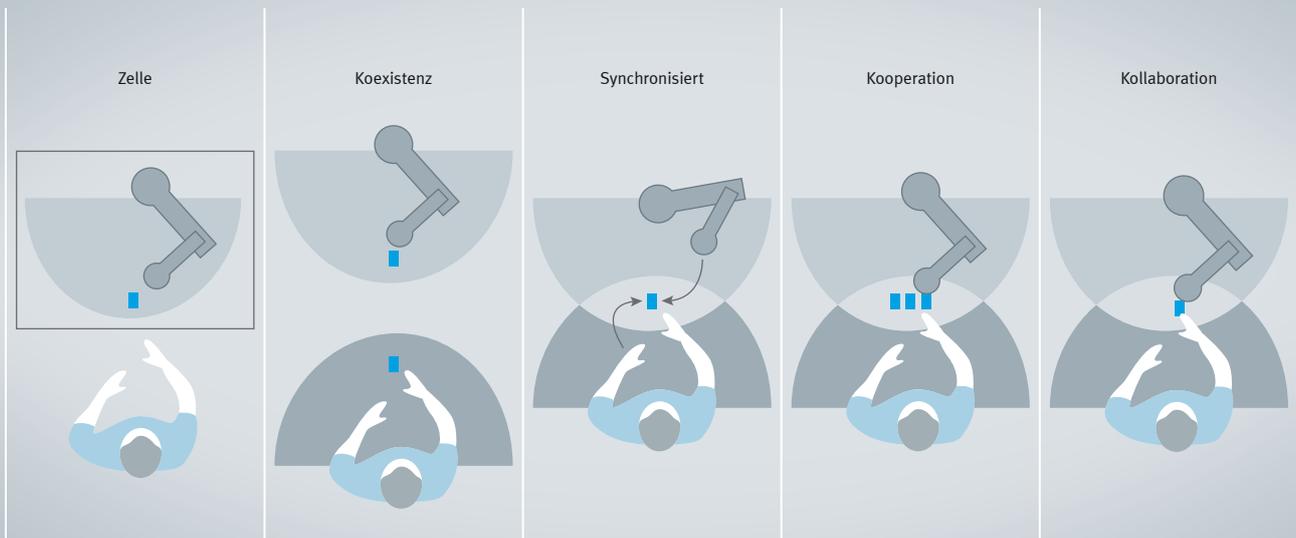
**FESTO**



# BionicMotionRobot

## Neue Ansätze für die Mensch-Roboter-Kollaboration

01



© Fraunhofer IA0, Studie Leichtbauroboter in der manuellen Montage

Ob feinfühlig und sanft oder kraftvoll und dynamisch – in seinen Bewegungen und seiner Funktionalität ist der BionicMotionRobot vom Elefantenrüssel und von den Tentakeln des Oktopus inspiriert. Der pneumatische Leichtbauroboter verfügt über zwölf Freiheitsgrade und kann mit seiner flexiblen Balgstruktur die fließenden Bewegungsabläufe der natürlichen Vorbilder mühelos umsetzen.

### Eindrucksvolles Kraft-Gewichts-Verhältnis

Der bionische Roboterarm hat eine Tragkraft von knapp drei Kilogramm – bei etwa demselben Eigengewicht. Je nach montiertem Greifer kann er eine Vielzahl von verschiedenen Objekten handhaben und für die unterschiedlichsten Aufgaben eingesetzt werden.

Das Konzept der nachgiebigen Kinematik basiert auf dem Bionischen Handling-Assistenten von 2010, der aufgrund der gefahrlosen Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine mit dem Deutschen Zukunftspreis ausgezeichnet wurde. Seitdem befasst sich Festo intensiv mit Systemen, die den Menschen bei monotonen Tätigkeiten entlasten könnten und gleichzeitig kein Risiko darstellen. Ein Aspekt, der im Fabrikalltag immer mehr an Bedeutung gewinnt.

### Produktion im Wandel

Kürzere Vorlaufzeiten, schnellere Produktlebenszyklen sowie eine hohe Flexibilität bezüglich Stückzahlen und Varianz – die Anforderungen an die Produktion der Zukunft sind vielfältig und verändern sich schneller als je zuvor. Sie verlangen ein neuartiges Zusammenspiel von Menschen, Maschinen und Daten.

Eine entscheidende Rolle spielen bei dieser Entwicklung neben der digitalen Vernetzung ganzer Anlagen vor allem roboterbasierte Automatisierungslösungen, die Hand in Hand mit dem Menschen zusammenarbeiten.

### Kollaborative Arbeitsräume der Zukunft

Die strikte Trennung zwischen der manuellen Arbeit des Werkers und den automatisierten Aktionen des Roboters wird zunehmend aufgehoben. Ihre Arbeitsbereiche überlappen sich und verschmelzen zu einem kollaborativen Arbeitsraum. So können in Zukunft Mensch und Maschine gleichzeitig dasselbe Werkstück oder Bauteil gemeinsam bearbeiten – ohne dass sie aus Sicherheitsgründen voneinander abgeschirmt werden müssen.

01: **Kollaborativer Arbeitsraum:** gleichzeitige, gemeinsame Bearbeitung eines Werkstücks von Mensch und Roboter

02: **Sicherer Umgang:** die Kombination von BionicMotionRobot mit dem hoch elastischen TentacleGripper

03: **Denkbares Szenario:** im Einsatz mit einem Vakuumsaugnapf für flache und glatte Objekte

04: **Enormes Kraftpotenzial:** das herausragende Verhältnis von Eigengewicht und Traglast



Als weltweiter Anbieter von Automatisierungstechnik ist es die Kernkompetenz von Festo, die Produktions- und Arbeitswelten der Zukunft mitzugestalten. Wesentlicher Bestandteil bei der Ideenfindung ist das Bionic Learning Network. Im Verbund mit externen Partnern sucht Festo nach natürlichen Phänomenen und Wirkprinzipien, die sich auf die Technik übertragen lassen.

### Paradigmenwechsel in der Robotik

Im Fokus der aktuellen Forschungsarbeiten stehen bionische Leichtbauroboter, die aufgrund ihrer natürlichen Bewegungsmuster und der eingesetzten Pneumatik geradezu prädestiniert für kollaborative Arbeitsräume sind und in Zukunft eine preisgünstige Alternative zu klassischen Roboterkonzepten darstellen können.

Die Stärken pneumatischer Antriebe liegen seit jeher in der einfachen Handhabung und ihrer Robustheit, den geringen Anschaffungskosten und ihrer hohen Leistungsdichte – also vergleichsweise großen Kräften bei kleinem Bauraum und geringem Gewicht. Haltevorgänge kommen ohne weiteren Druckluftverbrauch aus und sind damit äußerst energieeffizient.

Für den direkten Kontakt zwischen Mensch und Maschine bietet die Pneumatik einen weiteren, entscheidenden Vorteil: ihre systemeigene Nachgiebigkeit. Wird ein Aktor mit komprimierter Luft befüllt, lässt sich die erzeugte Bewegung in Geschwindigkeit, Kraft und Steifigkeit exakt einstellen. Im Falle einer Kollision gibt das System nach und stellt damit keine Gefahr für den Werker dar.

Um nun ganze Systeme in ihrer Dynamik beliebig einstellen zu können, muss die eingesetzte Ventiltechnik die Luftflüsse und Drücke äußerst präzise regeln können und dabei die komplexen Verschaltungen von vielen Kanälen gleichzeitig gewährleisten.

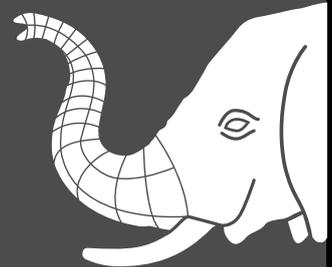
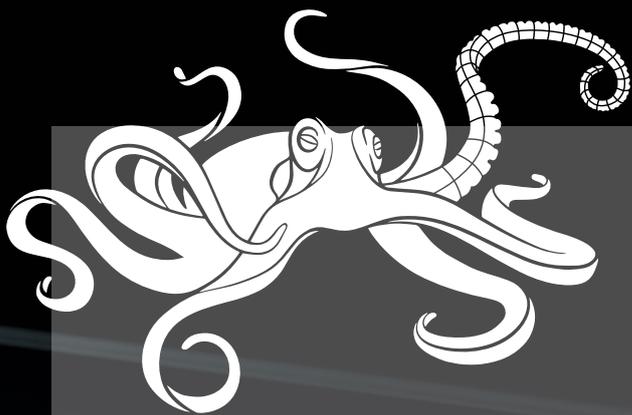
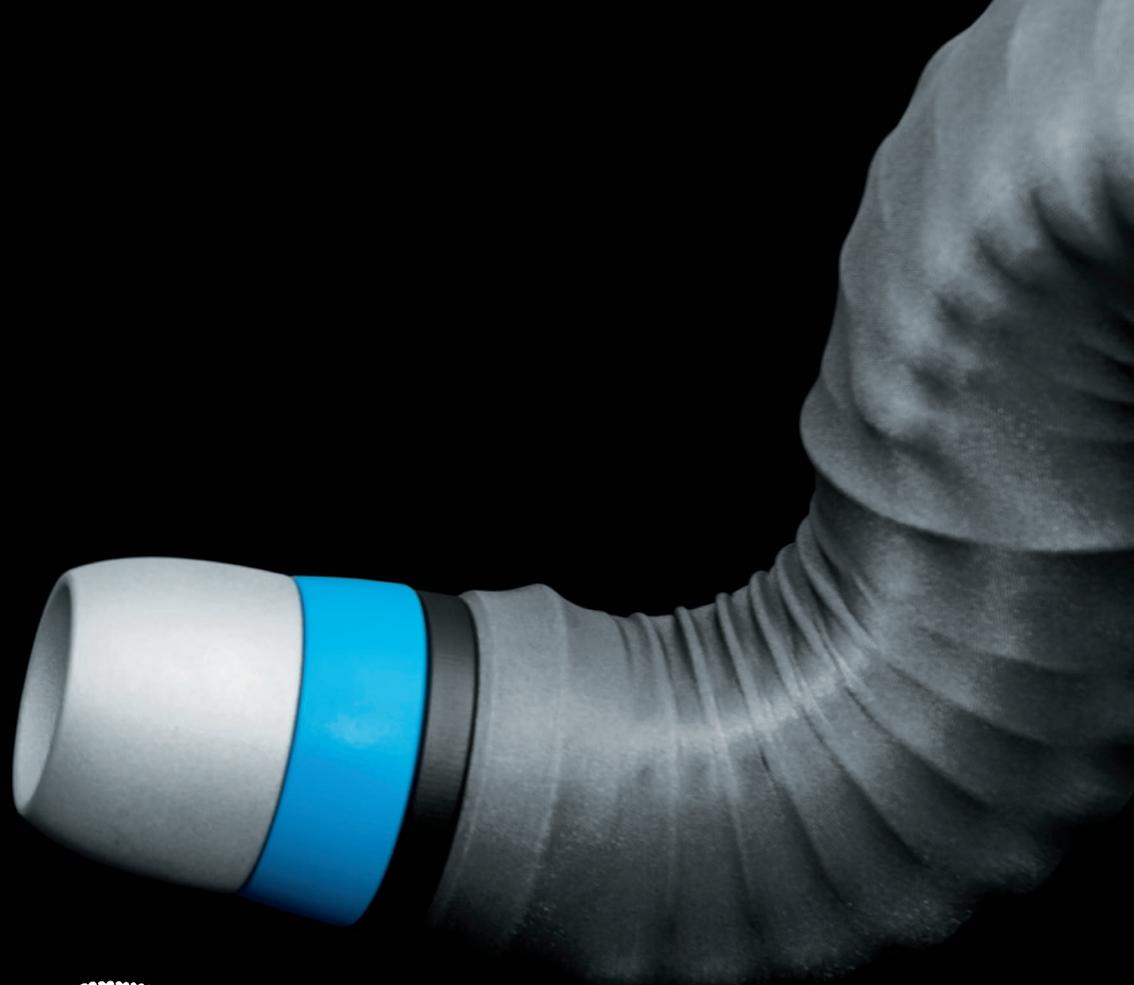
### Digitalisierung der Pneumatik

Was sich bislang nur aufwendig realisieren ließ, macht nun eine Weltneuheit von Festo problemlos möglich: Das Festo Motion Terminal ist die erste pneumatische Automatisierungsplattform, die mit ihrer Softwaresteuerung per Apps die Funktionalitäten von über 50 Einzelkomponenten in sich vereint. Die Digitalisierung eröffnet der Pneumatik nun völlig neue Anwendungsgebiete, die bisher der elektrischen Automatisierung vorbehalten waren.

## **BionicMotionRobot**

Pneumatischer Leichtbauroboter mit natürlichen Bewegungsformen





#### **Die natürlichen Vorbilder**

Elefantenrüssel und Oktopus-Tentakel haben eine gemeinsame Besonderheit: Dank ihrer feingliedrigen Kinematik beherrschen sie eine Vielfalt von flexiblen Bewegungsformen. Ob geschmeidig und weich oder kraftvoll und energisch – je nach gewünschter Aktion können sie sich frei verkrümmen und beliebig versteifen.

#### **Die technische Umsetzung**

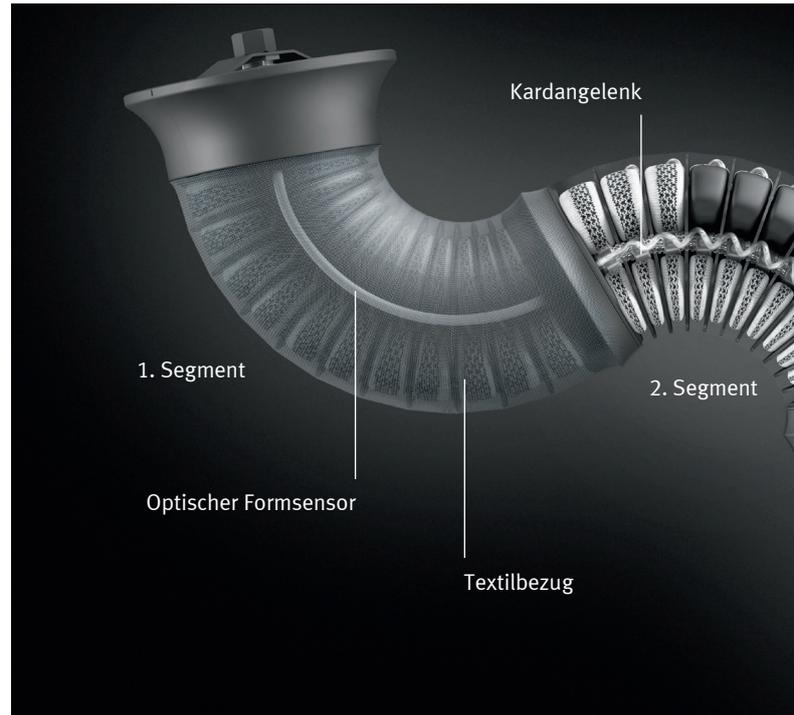
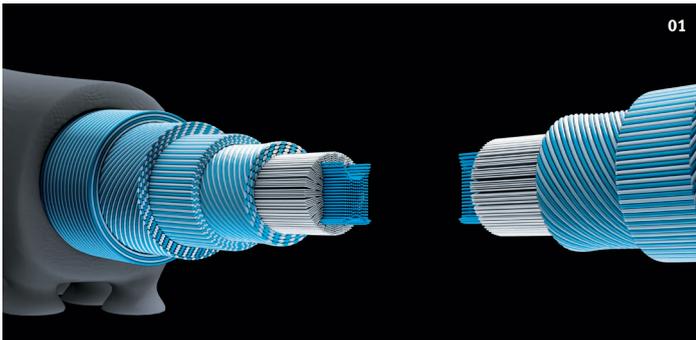
Dieses Verhalten lässt sich mit pneumatischen Antrieben und einer entsprechenden Ventil- und Regelungstechnik sehr gut nachbilden. Die Faltenbälge des BionicMotionRobot sind zusätzlich mit einem speziellen 3D-Textilgestrick ummantelt, das in seiner Funktion eine weitere verblüffende Parallele zur Natur aufweist: Ähnlich den Muskelfasern im Oktopus-Tentakel sind seine Fäden so orientiert, dass sie eine Ausdehnung der Balgstrukturen in die gewünschte Bewegungsrichtung erlauben und gleichzeitig in die anderen Richtungen begrenzen. Dank dieser neuartigen Fasertechnologie lässt sich erst das Kraftpotenzial der gesamten Kinematik ausschöpfen.

#### **Der industrielle Nutzen**

Die dadurch einstellbare Steifigkeit ermöglicht einen direkten Kontakt zwischen Mensch und Maschine. Im Falle einer Kollision birgt das System keine Gefahr mehr und muss nicht wie konventionelle Fabrikroboter vom Werker abgeschirmt werden. Dadurch kann es den Menschen bei monotonen, anstrengenden oder gar gefährlichen Bewegungsabläufen entlasten und die Ergonomie am Arbeitsplatz der Zukunft verbessern.

# Funktionsweise und Einsatzpotenziale

Für eine sichere und ergonomischere Arbeitswelt der Zukunft



Der frei bewegliche Arm des BionicMotionRobot ist mit einer Textil-Außenhaut überzogen und besteht aus drei flexiblen Grundsegmenten, die sich modular zusammensetzen lassen.

## Neuartige Fasertechnologie als 3D-Textilgestrick

In jedem der drei Segmente sind vier pneumatische Faltenbälge verbaut, die im Abstand von ca. zwei Zentimetern von scheibenförmigen Spanten zusammengehalten werden. Dazwischen verläuft ein Kardangelenk, das die pneumatischen Aktoren aufnimmt und die Spanten vor dem Verdrehen sichert. Die zwölf Faltenbälge sind aus robustem Elastomer. Jeder einzelne von ihnen ist von einem speziellen 3D-Textilmantel umschlossen, der sowohl aus elastischen als auch hochfesten Fäden gestrickt ist.

Für dieses einzigartige 3D-Textilgestrick haben die Entwickler den Muskelaufbau des Oktopus genauer unter die Lupe genommen: Die Muskelfasern in den Tentakeln sind in mehreren Lagen unterschiedlich ausgerichtet. Dieses Zusammenspiel radial, diagonal und längs orientierter Fasern erlaubt dem Tier eine gezielte Bewegung seiner Fangarme.

In Anlehnung daran verlaufen die Fäden des 3D-Textilgestricks in einem speziellen Muster um die Balgstrukturen. Wird ein Balg mit Druckluft beaufschlagt, kann er sich in Längsrichtung ausdehnen und die Gelenkstruktur damit verformen. In radialer Richtung wird die Ausdehnung des Elastomers von den festen Fäden im Gestrick begrenzt. 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. So lassen sich sehr große Kräfte erzeugen und gezielt in Bewegung umsetzen.

## Steuerung und Regelung mit dem Festo Motion Terminal

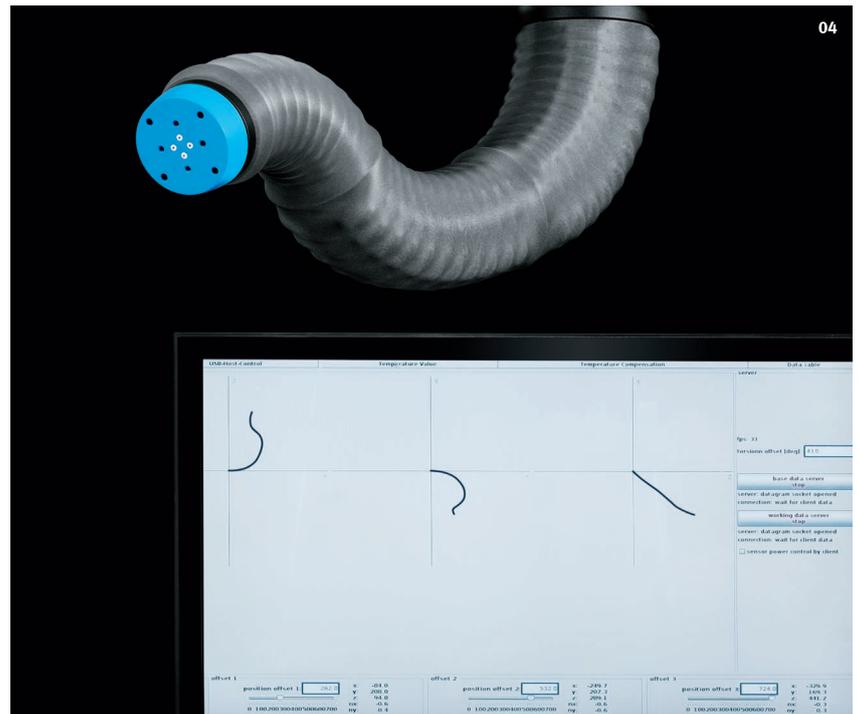
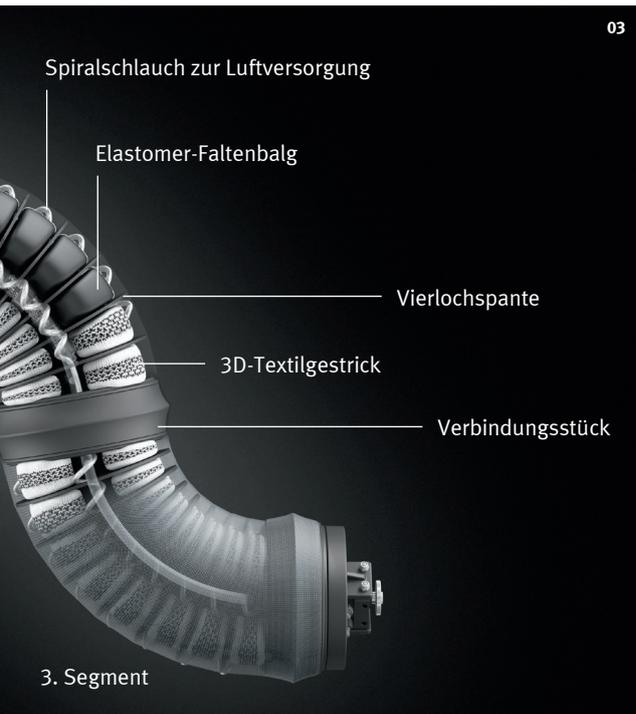
Die komplexe Steuerung und Regelung der zwölf Balgkinematiken übernimmt ein Festo Motion Terminal. Es kombiniert hochpräzise Mechanik, Sensorik sowie komplexe Steuerungs- und Messtechnik auf engstem Raum. Mit den internen Regelalgorithmen der Motion Apps und den verbauten Piezoventilen lassen sich Durchflüsse und Drücke exakt dosieren und auch in mehreren Kanälen gleichzeitig beliebig variieren. Das ermöglicht dem BionicMotionRobot sowohl kraftvolle und schnelle, als auch weiche und präzise Bewegungsabläufe – bei frei einstellbarer Steifigkeit der Kinematiken.

01: **Natürliches Vorbild:** die gegenläufigen Muskelstränge im Tentakel des Oktopus

02: **Neuartige Fasertechnologie:** das spezielle 3D-Textilgestrick um die flexiblen Balgstrukturen

03: **Modularer Aufbau:** ein Blick ins Innenleben des pneumatischen Roboterarms

04: **Virtuelles Abbild:** Der Formsensord ermöglicht ein simuliertes Modell der gesamten Kinematik



Dank seines modularen Aufbaus und dieser präzisen Regelung der flexiblen Balgstrukturen kann sich der Roboterarm gleichzeitig in drei verschiedene Richtungen biegen und die fließenden Bewegungen seiner natürlichen Vorbilder umsetzen.

#### Optischer Formsensord für eine exakte Wegbestimmung

In den Kardangelenken der drei Segmente ist ein gemeinsamer Formsensord verlegt, der wie ein Kabel entlang der gesamten Längsachse des Systems verläuft. Dadurch kann er Position, Form und Interaktionen der kompletten Kinematik erfassen und virtuell abbilden. Das simulierte Modell des Sensorkabels folgt dem realen Sensor in Echtzeit und ermöglicht so eine Positions- und Wegbestimmung auf etwa zehn Millimeter genau.

#### Vielseitige Einsatzpotenziale und Anwendungsfelder

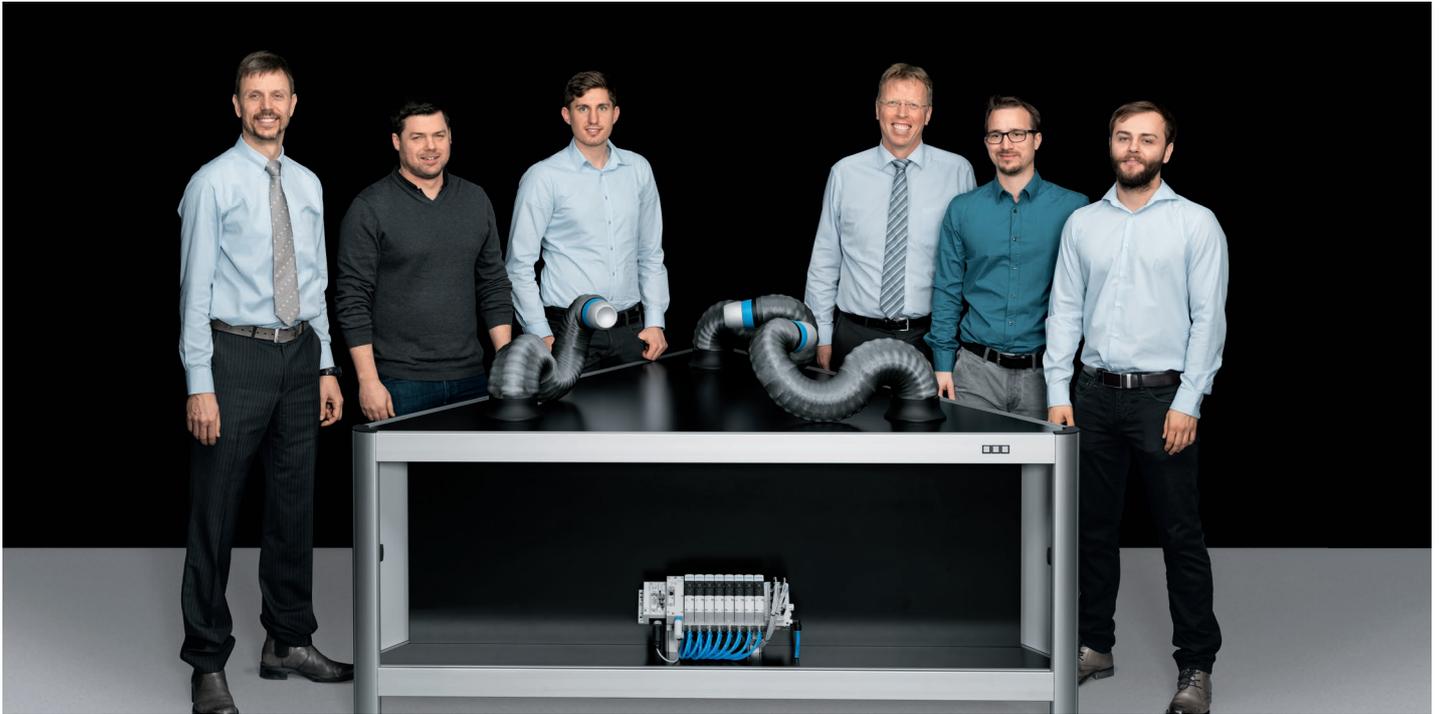
Der BionicMotionRobot könnte überall dort Anwendung finden, wo kompakte, kräftige und leistungsfähige Systeme gefragt sind. Sein pneumatischer Aufbau ist unempfindlich gegen Staub und Schmutz, was auch einen Einsatz in belasteten oder gesundheitsgefährdenden Umgebungen denkbar macht.

#### Unterstützendes Assistenzsystem für die Montage

Als helfende dritte Hand in der Montage ist der BionicMotionRobot geradezu prädestiniert: Die pneumatischen Strukturen können entlastende Haltearbeiten verrichten, ohne sich dabei zu erwärmen und zusätzliche Energie zu verbrauchen. Denkbar wäre ein Szenario, in dem der Roboterarm verschiedenste Werkstücke selbstständig aufgreift, dem Menschen zur Bearbeitung anreicht und anschließend an anderer Stelle wieder ablegt. Der Werker könnte seiner Arbeit dadurch ergonomischer, präziser, konzentrierter und damit effizienter nachgehen.

#### Hohe Nutzerakzeptanz und gefahrloser Umgang

Die natürlich wirkenden Bewegungen des Roboterarms schaffen dabei Vertrautheit beim Anwender, was die Akzeptanz für eine direkte Zusammenarbeit steigert. Im Falle einer Kollision gibt die pneumatische Kinematik automatisch nach und stellt keine Gefahr für den Menschen dar. Diese systemeigene Nachgiebigkeit und das geringe Eigengewicht erlauben einen Einsatz ohne Schutzkäfig und machen somit eine unmittelbare und sichere Kollaboration von Mensch und Maschine möglich.



## Projektbeteiligte

Projektinitiator:  
Dr. Wilfried Stoll, Geschäftsführender Gesellschafter  
Festo Holding GmbH

Idee, Konzept, Realisation:  
Prof. Dieter Mankau, Frankfurt am Main

Projektkoordination:  
Markus Fischer, Bissingen a. d. Teck

Steuerungs- und Regelungstechnik:  
Prof. Dr. Ivo Boblan, Beuth Hochschule für Technik Berlin  
Mirco Martens, Alexander Pawluchin, Technische Universität Berlin  
Dr.-Ing. Alexander Hildebrandt, Festo AG & Co. KG

Sensorik:  
Dr.-Ing. Jens Teichert, Teichert Systemtechnik GmbH, Lilienthal

Wissenschaftliche Beratung, Biologie:  
Prof. Dr. Martin S. Fischer, Friedrich-Schiller-Universität Jena

Consulting:  
Dr. Werner Fischer, München

Design, CAD und Prototypen:  
Christian Ebert, Mirko Zobel, Ebert Zobel, Industrial Design,  
Frankfurt am Main

Textiltechnik und Ausführung Pneu:  
Walter Wörner, Gesellschaft für textilen Service mbH, Pfullingen  
Rex Gummitechnik GmbH & Co. KG, Pfungstadt

Kunststofftechnik:  
Klaus Hilmer, Dennis Meyer, Festo Polymer GmbH, St. Ingbert  
Helmut Müller, Mattias-Manuel Speckle, Festo AG & Co. KG

## Technische Daten

Gesamtlänge: ..... 850 mm  
Durchmesser: ..... 130 mm/100 mm  
Freiheitsgrade: ..... 12  
Eigengewicht Roboterarm: ..... 2.950 g  
Bewegtes Gewicht: ..... 2.950 g  
Arbeitsdruck: ..... 3 bar  
Wiederholgenauigkeit: ..... ±10 mm  
Abstand zwischen den Spanten: ..... 19 mm  
Achsabstand der Spanten: ..... 21 mm

Steuerung und Regelung: Festo Motion Terminal  
Sensorik: 3D-wirksamer optischer Formsensor  
Aktorik: im Tauchverfahren hergestellte Bälge aus Naturkautschuk mit hoch festem 3D-Textilgestrick  
Spanten: kardanisch verbundene Spanten aus kohlefaserverstärktem Polymer

## Bildnachweise

Seite 2: Fraunhofer IAO, Stuttgart  
Seite 6, oben links: Amir Andikfar, Jonas Lauströer, Hamburg  
Prof. Dr. Martin S. Fischer, Jena  
Seite 6, mittig: deutschle cgi, Nürtingen

## Festo AG & Co. KG

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

→ [www.festo.com/bionik](http://www.festo.com/bionik)