

## BionicWorkplace

Selbstlernender Arbeitsplatz mit künstlicher Intelligenz  
für die Mensch-Roboter-Kollaboration

FESTO



# BionicWorkplace

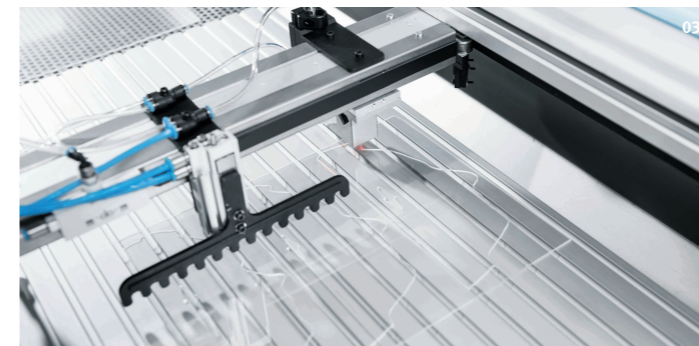
## Flexible Produktion bis zur Losgröße 1

**01: Kollaborative Arbeitsumgebung:** Der BionicWorkplace im Zusammenspiel mit dem BionicMotionRobot als Pick-and-Place-Einheit und einem Robotino®.

**02: Wechselnde Anforderungen:** Das Szenario zeigt, wie ein vernetztes Produktionssystem auf individuelle Kundenwünsche dynamisch reagieren kann.

**03: Modulares Konzept:** Neben dem Lasercutter lassen sich in den Arbeitsplatz noch weitere Anwendungen zur Fertigung in Losgröße 1 integrieren.

**04: Personalisiertes Endprodukt:** Einzelstücke wie die exemplarisch hergestellten 3D-Kopfmodelle werden fester Bestandteil der Fabrik von morgen.



Ob kürzere Vorlaufzeiten, schnellere Produktlebenszyklen oder eine hohe Flexibilität bezüglich Stückzahlen und Varianz – die Anforderungen an die Produktion der Zukunft sind vielfältig und verändern sich schneller als je zuvor. Dieser industrielle Wandel verlangt ein neuartiges Zusammenspiel von Menschen, Maschinen und Daten.

Eine entscheidende Rolle spielen dabei neben der digitalen Vernetzung ganzer Anlagen auch selbstlernende Systeme und roboter-basierte Automatisierungslösungen, die Hand in Hand mit dem Menschen zusammenarbeiten – wie der BionicCobot, den Festo 2017 im Rahmen des Bionic Learning Network entwickelt hat.

### Roboterarm mit menschlichen Bewegungsmustern

Der pneumatische Leichtbauroboter ist dem menschlichen Arm in seinem anatomischen Aufbau nachempfunden und löst – wie sein biologisches Vorbild – viele Aufgaben mit Hilfe seiner flexiblen und feinfühligsten Bewegungen. Aufgrund dieser Nachgiebigkeit und seiner intuitiven Bedienbarkeit kann der BionicCobot unmittelbar und sicher mit dem Menschen interagieren.

### Künstliche Intelligenz für effiziente Zusammenarbeit

Im BionicWorkplace kommen genau diese kollaborativen Fähigkeiten des Roboters zum Tragen. Der flexible Arbeitsplatz ist mit zahlreichen Assistenzsystemen und Peripheriegeräten ausgestattet, die miteinander vernetzt sind und untereinander kommunizieren. Gleichzeitig machen künstliche Intelligenz und Machine-Learning-Methoden den BionicWorkplace zu einem lernenden und antizipativen System, das sich kontinuierlich selbst optimiert. So kann der Mensch direkt mit dem BionicCobot interagieren und ihn über Bewegung, Berührung oder über die Sprache steuern. Auch eine Fernmanipulation des Systems ist möglich.

In Zukunft gilt es bei den hergestellten Produkten ebenso flexibel zu sein wie beim Arbeitsort und bei der Gestaltung der Arbeitsumgebung. Durch sein modulares Konzept lassen sich Aufbau und Ausstattung des BionicWorkplace einfach und individuell anpassen – je nach Anforderung und Aufgabe. Wie die effiziente und sichere Mensch-Roboter-Kollaboration die Fertigung von individuellen Produkten bis zur Losgröße 1 ermöglicht, wird in folgendem Szenario deutlich.

### Mögliches Szenario zur individuellen Produktion

Zur Herstellung von Acrylglas-Zuschnitten für ein individuelles Modell eines Kopfes ist in die Arbeitsplatte des BionicWorkplace ein Lasercutter integriert. Dazu werden die zuvor per Smartphone mit Tiefenkamera eingescannten Gesichtszüge einer Person in ein CAD-Modell umgewandelt, das eine Software danach in einzelne Scheiben zerlegt. Nach dieser dreidimensionalen Vorlage schneidet der auf einem Flächenportal sitzende Lasercutter aus Acrylglas die Elemente aus. Der BionicCobot nimmt die Scheiben aus dem Schneidebereich des Cutters und reicht dem Werker die Teile in der richtigen Reihenfolge an, der sie dann Stück für Stück zu einem einzigartigen Modell zusammenfügt.

Für den permanenten Materialnachschub sorgt in diesem Szenario ein Robotino®, der autonom zwischen den Stationen pendelt und mittels Laserscanner sicher seinen Weg findet. Beladen wird er von einer weiterentwickelten Version des BionicMotionRobot, einer Softrobotik-Struktur mit pneumatischen Kammern und einem 3D-gestrickten Textilbezug. Damit vereint dieser Aufbau alle wesentlichen Elemente der Robotik.

### Unterstützung und Entlastung des Menschen

Der BionicCobot unterstützt den Werker bei eintönigen und ergonomisch belastenden Arbeiten. Außerdem kann er in Bereichen agieren, die für den Menschen gefährlich sind, wie beim Griff in den Lasercutter. Der Werker übernimmt dafür die Arbeiten, für die er besser geeignet ist – dann, wenn hohe Fingerfertigkeit, Geschicklichkeit und kreatives Denken gefragt sind.

Der gesamte Arbeitsplatz ist ergonomisch gestaltet und bis hin zur Beleuchtung individuell an den Menschen anpassbar. Zentrales Element neben dem BionicCobot ist eine große Projektionsfläche, die mittig im Blickfeld des Werkers platziert ist. Sie versorgt ihn mit allen relevanten Informationen und reagiert dynamisch mit ihren Inhalten auf die jeweiligen Anforderungen.

### Positionserfassung von Werker und Arbeitsumgebung

Um die Projektionsfläche herum sind verschiedene Kamerasysteme angebracht, die permanent die Positionen von Werker, Bauteilen und Werkzeugen erfassen. Den Werker und seine Bewegungen erkennt das System an seiner speziellen Arbeitskleidung.

# BionicWorkplace

## Selbstlernender Arbeitsplatz für die Mensch-Roboter-Kollaboration

Der gesamte Arbeitsplatz ist modular konzipiert. Je nach Anforderung und Aufgabe lässt er sich anpassen. Das verzweigte Design seiner Leichtbauverstreben erlaubt eine integrierte Kabelführung zu den Peripheriegeräten, die optimal aufeinander abgestimmt und so positioniert sind, dass sie den Arbeitsraum des Werkers nicht beeinträchtigen.

Aufgrund des parametrischen Designs der Leichtbaustruktur gestaltet sich die Konstruktion des Arbeitsplatzes ganz einfach: In der Planungsphase des Arbeitsplatzes werden alle relevanten Befestigungspunkte und Kabelführungen definiert. Die CAD-Software kann dann weitestgehend eigenständig auf Basis der parametrisch gestalteten Konstruktionsprinzipien die Knotenelemente und Rohrstücke generieren.

**Robotino®**  
Autonomer Materialtransport zwischen BionicMotionRobot und BionicWorkplace

**Flächenportal EXCM mit Lasercutter**  
Fertigung individueller Werkstücke nach Vorlage eines CAD-Modells

**Pneumatische Linearachse DGCI**  
Zusätzlicher Freiheitsgrad für den BionicCobot

**Beamer**  
Beispielung der Projektionsfläche

**Festo Motion Terminal VTEM**  
Präzise Ansteuerung des BionicCobot

**Stufenlose Höhenverstellung**  
Pneumatischer Muskel DMSP und pneumatischer Feststellmechanismus

**3D-Kamera**  
Objekterkennung und Ermittlung der idealen Griffpunkte am jeweiligen Gegenstand

**4x Infrarotkamera**  
Positionserfassung des Werkers anhand der Infrarotmarker auf seiner Arbeitskleidung (Wearable)

**BionicCobot**  
Kollaborative Montage zur Entlastung des Werkers

**2x 3D-Kamera mit Tiefenwahrnehmung**  
Objekterkennung auf der Arbeitsfläche

**Verzweigte Carbon-Verstreben**  
Mit 3D-gedruckten Knotenelementen und integrierter Verkabelung zur präzisen Anbringung aller Komponenten

**180-Grad-3D-Kamera**  
Erfassung der gesamten Arbeitsumgebung für eine Fernmanipulation per Virtual Reality

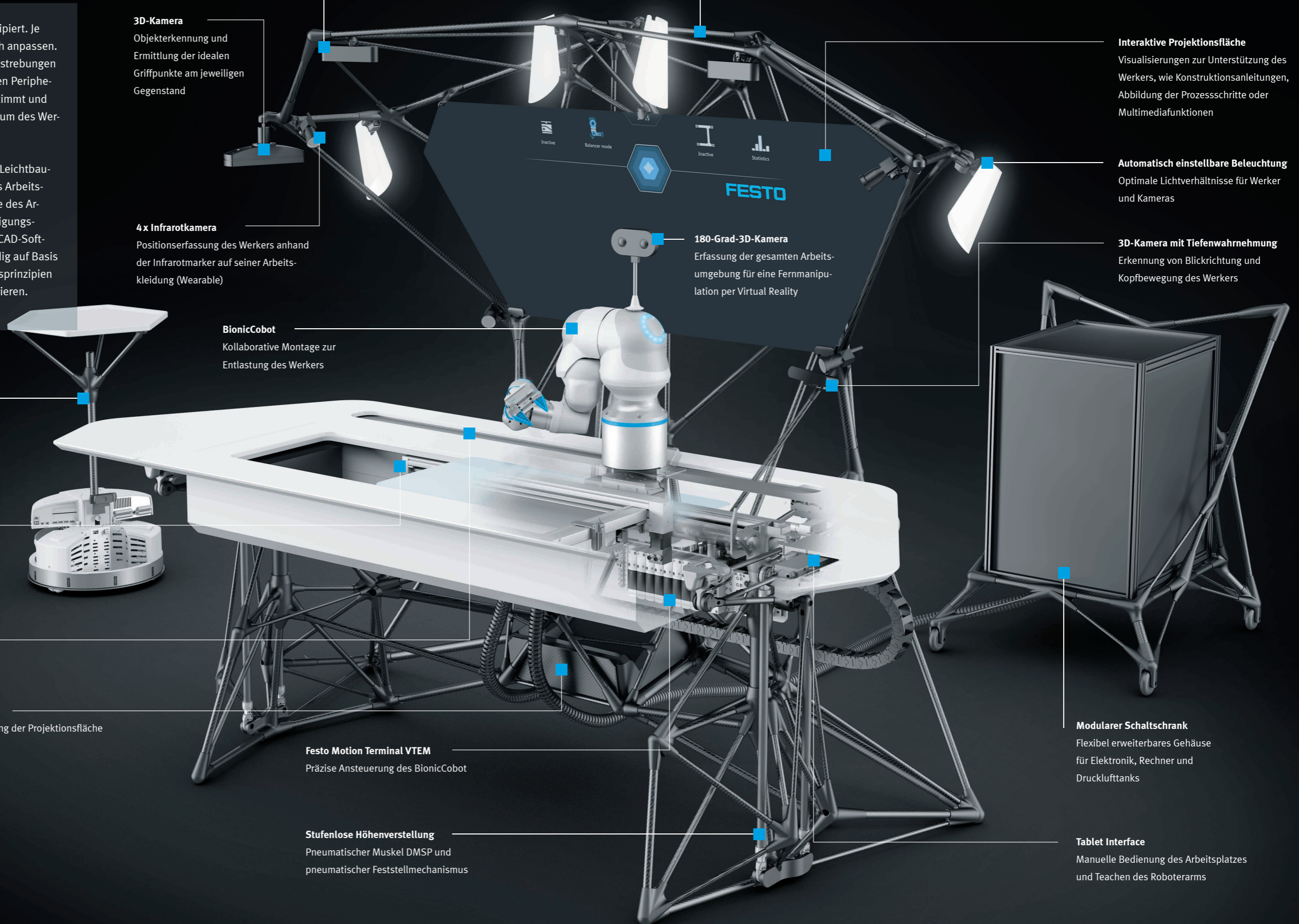
**Interaktive Projektionsfläche**  
Visualisierungen zur Unterstützung des Werkers, wie Konstruktionsanleitungen, Abbildung der Prozessschritte oder Multimediafunktionen

**Automatisch einstellbare Beleuchtung**  
Optimale Lichtverhältnisse für Werker und Kameras

**3D-Kamera mit Tiefenwahrnehmung**  
Erkennung von Blickrichtung und Kopfbewegung des Werkers

**Modularer Schaltschrank**  
Flexibel erweiterbares Gehäuse für Elektronik, Rechner und Drucklufttanks

**Tablet Interface**  
Manuelle Bedienung des Arbeitsplatzes und Teachens des Roboterarms



# BionicWorkplace

## Intuitive Bedienkonzepte und künstliche Intelligenz

01: **Sicherer Umgang:** Anhand der speziellen Arbeitskleidung kann das System seine Aktionen an die Position und die Bewegungen des Werkers anpassen.

02: **Lernfähiger Arbeitsplatz:** Mit Hilfe künstlicher Intelligenz verarbeitet das System die Sprachbefehle weiter und lernt mit jeder neuen Aktion dazu.

03: **Kontrollierte Fernmanipulation:** gefahrloses Arbeiten mit Hilfe der textilen Wearables und einer Virtual-Reality-Brille aus sicherer Distanz.



Die spezielle Arbeitskleidung des Werkers besteht aus einem Langarm-Oberteil, das mit Inertialsensoren ausgestattet ist, und einem Arbeitshandschuh, auf dem Infrarotmarker sitzen. Alle notwendigen Leitungen sind in das Textil dieser so genannten Wearables integriert.

Das Zusammenspiel von Kameras und Wearables erlaubt einen sicheren und intuitiven Umgang mit dem gesamten Arbeitsplatz. Mit Hilfe der erfassten Sensordaten kann der BionicCobot seinem menschlichen Kollegen punktgenau Gegenstände übergeben und ihm bei Bedarf ausweichen – eine unabdingbare Voraussetzung für die direkte Kollaboration zwischen Mensch und Roboter.

### Kamerasysteme für eine sichere Interaktion

Blickrichtung und Kopfbewegung des Werkers registriert eine spezielle 3D-Kamera mit Tiefenwahrnehmung. Durch das Augen-Tracking überprüft das System permanent, ob die Aufmerksamkeit des Werkers auf dem Arbeitsplatz liegt oder ob sie nachlässt. Besteht eine Gefährdungssituation, kann der BionicCobot sofort reagieren und sein Verhalten anpassen.

Lenkt der Mensch seinen Blick auf eine bestimmte Stelle der Projektionsfläche, passt sich hier der Inhalt entsprechend an. Soll der Roboter dem Werker ein Bauteil aus einer ungeordneten Kiste reichen, unterstützt ihn eine weitere Kamera, indem sie die Koordinaten für die idealen Griffpunkte am Objekt ermittelt.

### Sprachsteuerung und digitale Verarbeitung

Ein weiteres Element für das intuitive Bedienkonzept des BionicWorkplace ist die Sprachsteuerung. Dank einer entsprechenden Software ist das System in der Lage, semantische Details sowie den jeweiligen Sprachkontext zu interpretieren und mit dem Menschen auf natürliche Weise in Dialog zu treten.

Damit der BionicCobot den gewünschten Befehl ausführen kann, wandelt die Spracherkennungssoftware den gesprochenen Satz in Text um. Dazu gleicht sie sein Frequenzmuster mit Datenbanken ab, in denen bereits unzählige Wortbeispiele und ihre Muster hinterlegt sind. Im nächsten Schritt gilt es, die Bedeutung des Satzes zu verstehen. Dafür sendet die Software den Text an ein Sprachinterface, das ihn auf bestimmte Schlüsselworte überprüft.

### Maschinelles Lernen optimiert Arbeitsabläufe

Hat das Interface die Bedeutung des Satzes erkannt, gibt es ein so genanntes Context-Objekt aus: Einen Software-Code, mit dem die Robotersteuerung arbeiten kann. Für die eindeutigen Handlungsanweisungen an den BionicCobot sorgt dann eine spezielle, selbstlernende Automatisierungssoftware mit künstlicher Intelligenz.

Die intelligente Software wertet den Inhalt des Context-Objekts aus und verarbeitet gleichzeitig sämtliche sensorisch erfassten Daten und Inputs der verschiedenen Peripheriegeräte. Aus allen diesen Informationen leitet sie den optimalen Programmablauf ab und sendet ihn über die Robotersteuerung an den Screen und den BionicCobot. So weiß dieser, wie und wohin er sich bewegen soll.

Mit jeder gelösten Aktion lernt das System weiter hinzu. Dabei entsteht eine so genannte semantische Karte, die kontinuierlich wächst. Entlang der Netzwerkpfade ziehen die hinterlegten Algorithmen permanent dynamische Schlussfolgerungen. So gelangt man von einem gesteuerten, programmierten und festen Ablauf nach und nach zu einem wesentlich freieren Arbeiten.

### Neue Einsatzmöglichkeiten mit Fernmanipulation

Zur Fernmanipulation erfasst eine 180-Grad-3D-Stereokamera den gesamten Arbeitsraum. Gleichzeitig trägt der Werker, der räumlich getrennt agiert, zu den textilen Wearables auch eine Virtual-Reality-Brille. Mit ihr kann er die Bilder der Kamera in Echtzeit abrufen und verfolgen. So lässt sich der Roboter aus der Distanz steuern, was beispielsweise im Umgang mit gefährlichen Stoffen oder bei gesundheitsgefährdenden Prozessen von Vorteil ist. Auch könnte ein Werker so mehrere Systeme gleichzeitig steuern – selbst, wenn diese in Fabrikanlagen über den gesamten Globus verteilt sind.

### Gelernte Wissensbausteine weltweit einsetzbar

Durch lernfähige, intelligente Arbeitsplätze und den Einsatz multifunktionaler Tools wird 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. So wäre es möglich, Arbeitsplätze künftig als weltweit vernetzten Verbund mit lokalen Anpassungen aufzubauen – jeweils abgestimmt auf die individuellen Aufgaben und Kundenwünsche vor Ort.



### Projektbeteiligte

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

**Projektleitung:**  
Dr.-Ing. Heinrich Frontzek, Dr.-Ing. Elias Knubben,  
Festo AG & Co. KG

**Projektteam:**  
Nadine Kärcher, Mart Moerdijk, Sebastian Schrof, Christian Trapp,  
Timo Schwarzer, Micha Purucker, Philipp Steck, Gaetano Lopez,  
Tobias Riphaut, Konstantin Lehleiter, Winfried Werthmann,  
Philipp Andermatt, Waldemar Kunz, Festo AG & Co. KG

**Künstliche Intelligenz:**  
Harald Kirsch, Philipp Pelchmann, Liudmyla Nechepurenko,  
arago GmbH, Frankfurt am Main

**Wearables:**  
Niels Hämmerle, Elena Suleymanova, Prof. Martin Luccarelli,  
School of Textiles & Design, Reutlingen University  
Felix Fuchs,  
Felix Fuchs Design, Stuttgart

**Programmierung Eyescanner:**  
Kenneth Funes, Bastjan Prenaj,  
Eyeware Tech SA, Martigny, Schweiz

**Programmierung Robotino®:**  
Haoming Zhang Cybernetics Lab IMA/ZLW & IfU,  
RWTH Aachen University

**Weiterentwicklung BionicMotionRobot:**  
Mit Unterstützung der Vorentwicklung,  
Festo AG & Co. KG

### Technische Daten

**Integrierte Kamera- und Sensorsysteme:**

- 4× Infrarotkamera
- 1× 3D-Kamera PickIt
- 2× 3D-Kamera Orbbec Astra für Objekterkennung
- 1× 3D-Kamera Orbbec Astra für Eyescanning
- 1× 180-Grad-3D-Kamera LucidCam

**Software-Architektur:**

- Software zur Spracheingabe: IBM Watson
- Software mit künstlicher Intelligenz: arago HIRO™
- Robotersteuerung: Robot Operating System (ROS)

**Eingesetzte Produkte von Festo:**

- 1× elektrisches Flächenportal EXCM
- 1× Festo Motion Terminal VTEM
- 1× pneumatische Linearachse DGCI
- 4× pneumatischer Muskel DMSP-20
- 4× Quetschventil VZQA-C
- 1× Robotino® von Festo Didactic SE

**Sensorik Wearables:**

- im Oberteil: Kombination aus Gyrosensorik für Drehbewegungen, Beschleunigungs- und Kompassensoren
- im Handschuh: Infrarotmarker

### 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)