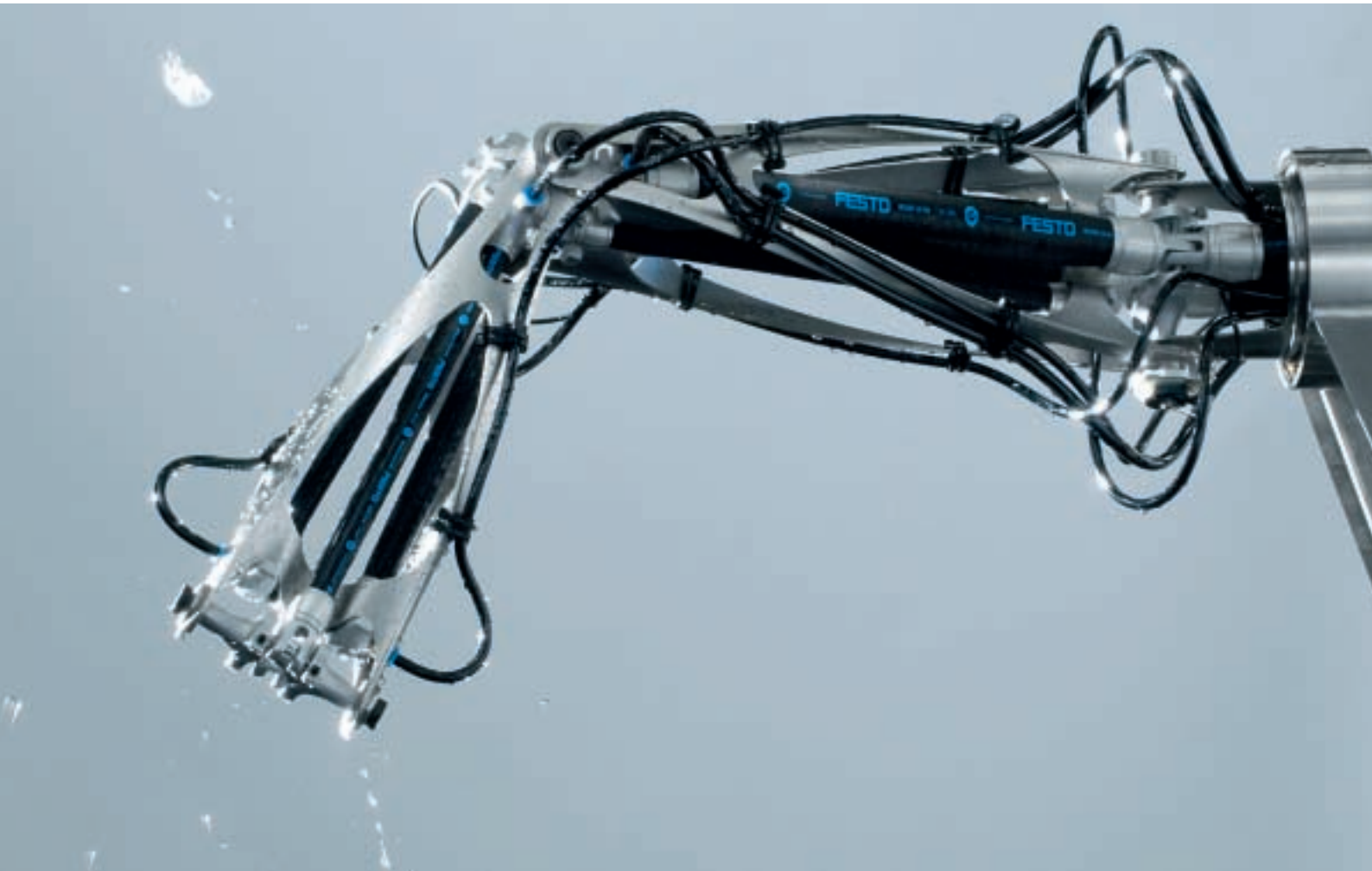


AirArm

FESTO



**AirArm fängt
Wassertropfen**

Info



Biologisch inspiriert durch die Ergebnisse der Analysen von Hummer- und Heuschreckenbeinen sowie menschlicher Zeigebewegungen ist ein zweiteiliger Arm mit außen liegendem Skelett entstanden, dessen Bewegungsablauf menschenähnlich ist. Von pneumatischen Muskeln angetrieben fängt der „AirArm“ Wassertropfen.

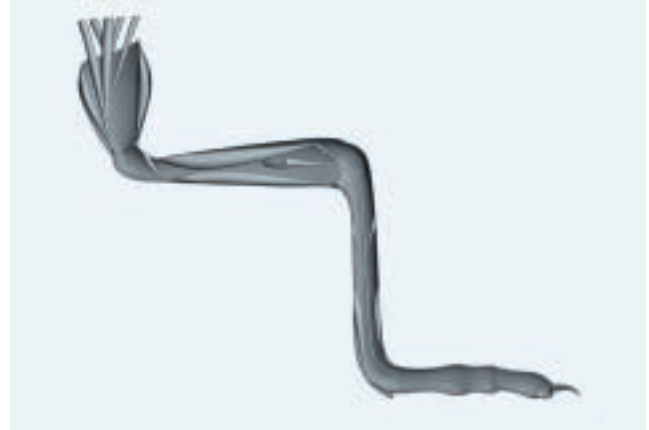
Bei einer wissenschaftlichen Analyse der Funktion „Arm“ wurde eine Vielzahl technischer Umsetzungsmöglichkeiten erarbeitet. Der technische Zweck eines „Arms“ wird hierbei darin gesehen, von einem Punkt im Raum ausgehend, möglichst viele davon entfernte Punkte in einem halbkugeligen Arbeitsraum zu erreichen.

Als Randbedingungen für mögliche Lösungsansätze wurden dabei unter dem Leitmotiv „Intelligente Mechanik“ die folgenden Kategorien herangezogen:

- Leichtbau
- Flexibilität
- Nachgiebigkeit
- Reduzierte Komplexität
- Robustheit
- Anpassungsfähige Steuerung



Längsschnitt durch das Heuschreckenbein mit innenliegender Muskulatur



Beuger- und Streckmuskulatur des Heuschreckenbeines

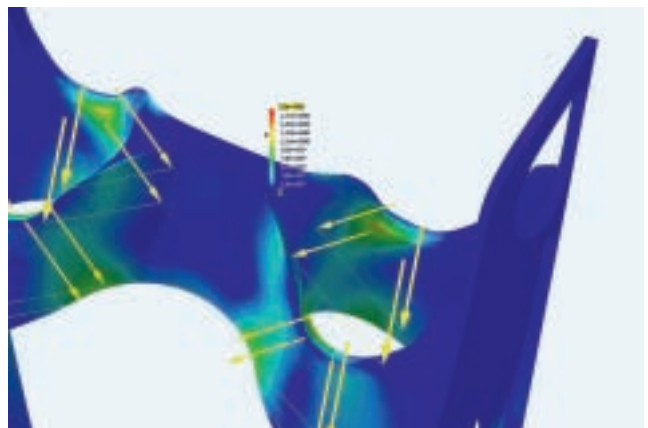
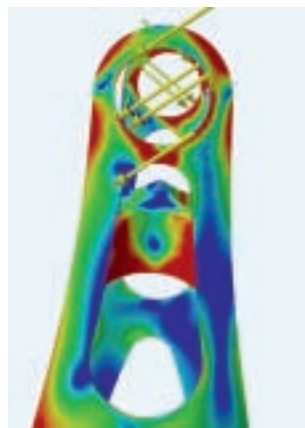
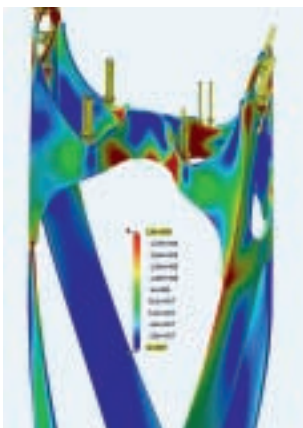


Präparat Hummerbein mit winklig versetzten Gelenksachsen



Computerbild Hummerbein

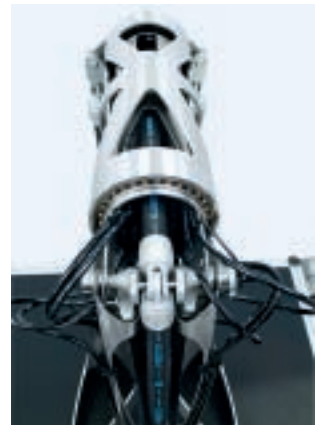
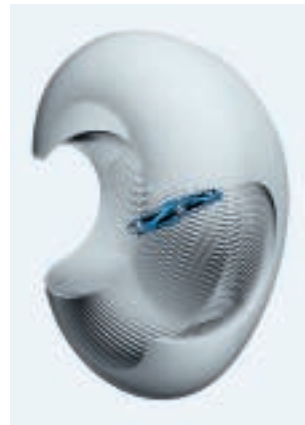
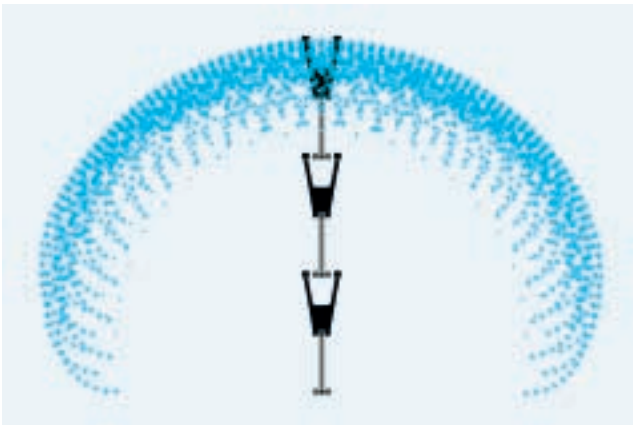
Für die Ausbildung der Gelenke ließ man sich durch Vorbilder aus der belebten Natur inspirieren. Über die körpernen Gelenke des Heuschreckenbeines (insbesondere das Coxa-Trochanter-Gelenk) erschloss sich der Weg zum Hummerbein mit seinen winklig versetzten Bewegungsachsen. Als generelles, technisch umzusetzendes Prinzip wurde ein zweiteiliges Klappsystem mit gegeneinander arbeitenden Muskeln als Antriebspaare ausgewählt. Dem natürlichen Vorbild folgend wurde dabei versucht, die Konstruktion in der einfachsten möglichen Weise zu gestalten sowie Prinzipien und Strukturen wieder zu verwenden, was als Selbstähnlichkeit bezeichnet wird.



Die Triangulierung der Armmodule wurde wie beim Aufbau des Außenskeletts eines Heuschreckenbeins entwickelt, um Leichtigkeit und Robustheit in Einklang zu bringen. Durch die kreuzweise versetzten Gelenkachsen beim Hummerbein in Kombination mit angepassten Segmentlängen wurde ein relatives Optimum zwischen Einfachheit und Flexibilität bei Reichbewegungen im halbkugeligen Arbeitsraum erzielt. Durch die pneumatischen Muskeln als Antriebe wird für das Halten einer bestimmten Position ein hohes Maß an Nachgiebigkeit bei gleichzeitiger minimaler Energie erreicht.

Für alle zur technischen Umsetzung erforderlichen Funktionsteile wurden zunächst zweidimensionale Designskizzen angefertigt. Die dreidimensionale Ausgestaltung erfolgte durch CAID mit Prüfung der Entwürfe in Konstruktionsprogrammen. Die erzeugten Datensätze dienten als Basis für die Herstellung der Funktionsteile durch 3D-Laserbearbeitung oder Mehrachs-CNC-Fräsen. Bei der Konstruktion war darauf Rücksicht zu nehmen, dass eine sinnhafte Fertigung der jeweiligen Bauteile auf der Basis von metallischen Norm-

halbzeugen sichergestellt werden konnte. Aus Gewichtsgründen wurde daher Rohmaterial beidseitig auf die minimal notwendige Wandstärke abgedreht, die Schnittkonturen wurden dreidimensional mit Hilfe eines Lasers eingebracht. Aussteifende Bauteile wurden durch Laserschweißen mit der Grundkonstruktion verbunden. Wegen des Einsatzes mit dem Medium Wasser wurde ein nicht rostender Stahl gewählt. Anhand aufwändiger Festigkeitsuntersuchungen konnte eine optimierte Bauteilform bei gesicherter Bauteilbelastung und ausreichend Sicherheitstoleranz erreicht werden.

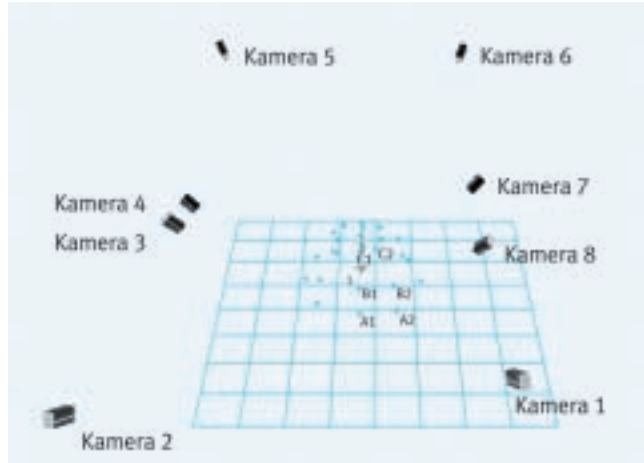


Um einen optimalen Antrieb im Armsystem zu erreichen, wurden die Standard-Muskeln von Festo in folgenden Punkten modifiziert: Die Gabelköpfe wurden mit verkürzter Einbaulänge konstruiert, ebenso die gegenüberliegenden Lagerungen als integrierte Pressanbindungen, welche die Druckluftversorgung, das Selbstzentrieren und die notwendige Drehbewegung sicherstellen.

Die Dynamik des Armsystems sowie die Bewegungsbahnen im Arbeitsraum wurden bereits vor Produktion der Funktionsteile durch dynamische Bewegungssimulationen und Computeranimationen visualisiert, so dass frühzeitig die Bewegungscharakteristik analysiert und kritische Systemzustände erkannt werden konnten.



Versuchsaufbau: Arm und Ziele der Zeigebewegungen sind durch reflektierende Kugeln markiert.



Röntgenbild Ratte beim Reichen



Computeranimation

Objekte der ursprünglichen biologischen Anregung für AirArm waren das Heuschrecken- und das Hummerbein, also Beine mit innen liegenden Muskeln und Exoskelett, wie sie für Gliederfüßler charakteristisch sind. Da AirArm aber die Struktur eines Gliederfüßler-Beines mit dem Arbeitsraum des menschlichen Armes kombinieren sollte, mussten zunächst die Drehachsen und die Beweglichkeit in den Beingelenken ermittelt werden. Es zeigte sich, dass beim Gliederfüßler-Bein anders als beim Wirbeltier-Bein die Drehachsen aufeinander folgender Achsen im rechten Winkel zueinander stehen. Der zentrale Drehantrieb beim Gliederfüßler-Bein wird durch die Summierung von Gelenkbewegungen in den vier rumpfnahen Gelenken erzielt. Insgesamt ist hier eine Gesamtdrehung von mindestens 220° möglich. Dagegen wird der große Arbeitsraum des menschlichen Armes durch die hohe Beweglichkeit im Schultergelenk und durch die kraftgeführte Beweglichkeit des Schulterblattes erreicht.

Ausgewählte Gelenkwinkel beim Hummer

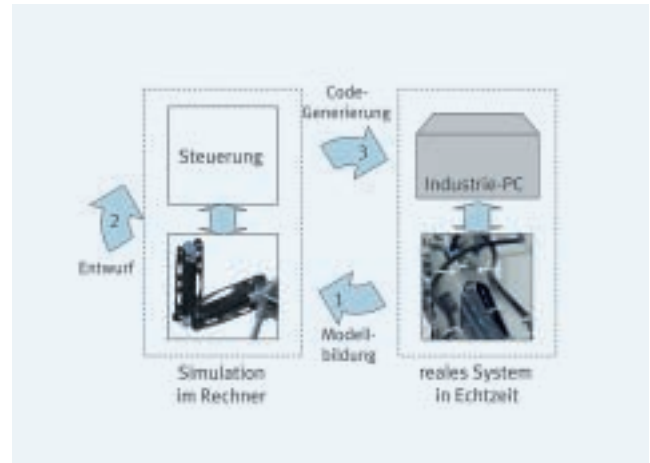
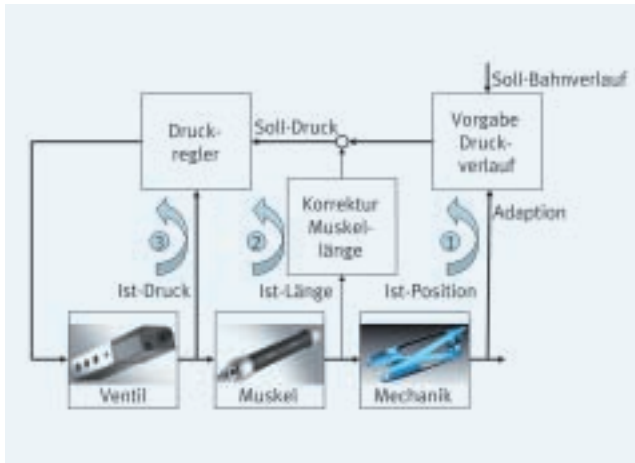
		Gelenkachse	Beweglichkeit
Rumpf	Coxa	zur Mitte-/zur Seite hin	ca. 45°
Coxa	Trochanter	bauch-/rückenwärts	ca. 85°

Verhältnis ausgewählter Beinsegmente des Hummers

an der Gesamtlänge des Beines:

Coxa	1
Trochanter	1

Die Verhältnisse beim Reichen und Greifen eines Säugetieres wurden mit Hilfe eines hochauflösenden Röntgenfilms mit bis zu 1000 Bildern pro Sekunde in zwei Ebenen bei der Ratte untersucht. Dabei zeigte sich die Bedeutung des Schulterblattes für die Ausführung dieser Bewegung. Da sich beim Menschen solche Aufnahmen verbieten, wurde der Anteil des Schulterblattes beim menschlichen Reichen über Messmethoden auf der Armoberfläche



ermittelt (Motion Capture). Deren Ergebnisse stehen weitgehend im Einklang mit jenen der Röntgenanalysen bei Ratten.

Bei der Auslegung von AirArm wurde keine anthropomorphe, am Menschen orientierte Lösung verfolgt, sondern das Prinzip „Drehung findet körpernah statt“ auf die Verwendung von Linearantrieben übertragen (Anthropofunktionalität). Sich von der Natur inspirieren zu lassen bedeutet ja gerade nicht das direkte Kopieren der menschlichen Armbewegungen (als „Biomimikry“ bezeichnet), sondern das technische Umsetzen der menschlichen Bewegungen mit in diesem Falle einem Hebelsystem anderer Längen, Verhältnisse und Antriebsart. Das Aufsuchen von Punkten im Halbkugelraum wurde beim menschlichen Vorbild als „Zeigen“ des menschlichen Zeigefingers auf Punkte einer Kugelfläche untersucht. Mit einer infrarotgestützten Bewegungsuntersuchung wurde die Bewegung des Armes erfasst. Bei der Auswertung der Bewegungsbahnen ließen sich Muster der Gelenkbewegungen beobachten, welche in (scheinbar) einfache Regeln überführt werden konnten. Die in der Evolution des Menschen entstandenen strukturellen Lösungen müssen nicht kopiert werden, wesentlich ist es, technisch die erforderlichen Weg- und Kraftgrößen verfügbar zu machen. Die Nachahmung des menschlichen Schultergelenkes ist nicht erforderlich.

Bei den Zeigebewegungen werden die Koordinaten der reflektierenden Punkte und der Ziele durch eine Infrarot-Kamera mit bis zu 1000 Bildern pro Sekunde verfolgt. Aus diesen Koordinaten-Zeit-Verläufen lassen sich Beschreibungen der Bewegungen berechnen.

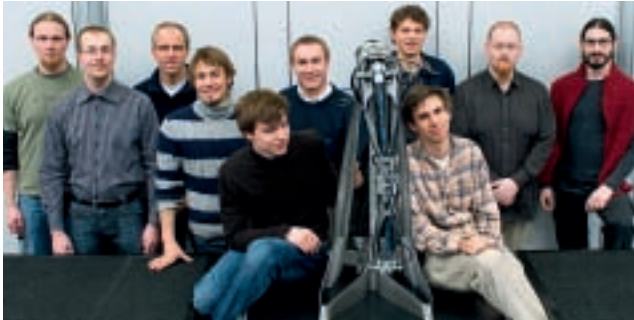
Die als Antrieb verwendeten pneumatischen Muskeln zeichnen sich durch ein sehr günstiges Verhältnis zwischen hohen erzeugbaren mechanischen Kräften und ihrem geringen Eigengewicht aus. Der AirArm spielt seinen Vorteil also insbesondere bei schnellen dynamischen Bewegungen aus. Allerdings weisen die pneumatischen Muskeln eine hohe Elastizität und nichtlineare Beziehungen zwischen Hub, pneumatischem Druck und der erzeugten Kraft auf.

Wie beim biologischen Vorbild muss auch das technische System lernen, damit umzugehen – das ist die Aufgabe der anpassungsfähigen Steuerung des AirArms!

Die Steuerung des AirArms besitzt drei ineinander verschachtelte Rückkopplungen (siehe Bild):

1. Die Soll-Bahnkurve der Bewegung des Arms wird in den Soll-Druckverlauf für alle pneumatischen Muskeln umgerechnet. Das dazu erforderliche Wissen stellt zunächst ein mathematisches Modell des AirArms zur Verfügung. Am Ende einer Bewegung wird bewertet, ob der Arm die Bewegung tatsächlich in gewünschter Weise ausgeführt hat. Dazu werden die Gelenkwinkel fortwährend gemessen. Bei Abweichungen wird eine Anpassung der Druck-Bahnkurven durchgeführt. Dadurch „lernt“ der AirArm seine Bewegungen ständig anzupassen und auf veränderte Umgebungsbedingungen zu reagieren.
2. Diese Schleife überwacht die Muskellängen. Anders als in üblichen Positionsregelungen dient sie nur zur Korrektur der Druckverläufe. Dadurch können Schwingungsneigungen bei dynamischen Bewegungen vermieden werden.
3. Der Druckregler sorgt für stabile Druckverhältnisse in den pneumatischen Muskeln. Dazu vergleicht er jeweils den am Ventilausgang gemessenen Ist-Druck mit dem berechneten Soll-Druck und steuert die Ventile geeignet an.

Die gesamte Steuerung wird modellbasiert entworfen. Es entsteht zuerst das mathematische Modell des AirArms im Rechner, an dem die Steuerung entworfen und optimiert werden kann. Die gesamte Steuerung wird dann mittels automatischer Code-Erzeugung in ein Programm umgewandelt und auf einen Industrie-PC übertragen, der den AirArm in Echtzeit steuert (siehe Bild).



Technische Angaben

Oberes Segment (Oberarm):

Segmentlänge	389 mm
Durchmesser	123 mm
Strukturgewicht	1.022 g

Unteres Segment (Unterarm):

Segmentlänge	311 mm
Durchmesser	104 mm
Strukturgewicht	763 g

Arbeitsraum:

halbkugelförmiger Arbeitsraum mit Radius	750 mm
---	--------

Komponenten von Festo:

Fluidic Muscle	DMSP 10
Fluidic Muscle	DMSP 20
Fluidic Muscle	DMSP 40

Proportional-Wegeventil	MPYE-5-1/8LF-10-B
Proportional-Wegeventil	MPYE-5-1/8HF-10-B
Präzisions-Druckregelventile	MS6-LRPB

Drucksensor	SDET-22T-D10-G14-U-M12
Drucksensor	SDET-22T-D16-G14-U-M12
Drucksensor	SDE1 mit Anzeige

Druckbooster	DPA-100-16
Druckluftspeicher	VZS-20-B
Druckluftspeicher	0,4l CRVZS-0.4

Filterregelventil	MS6-LFR
-------------------	---------

24 V DC 5 A Netzteil	SVG-1/230VAC-24VDC-5A
24 V DC 10 A Netzteil	SVG-1/230VAC-24VDC-10A

Projektbeteiligte

Projektinitiator:

Dr. Wilfried Stoll, Aufsichtsratsvorsitzender der Festo AG

Universität für industrielle und künstlerische Gestaltung Linz

Studienrichtung Industrial Design/scionic®

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Axel Thallemer, Leiter Industrial Design

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Martin Danzer, Leiter CAID

Sebastian Bauschke

Christoph Brandner

Dominik Diensthuber

Martin Frittajon

Michael Holzer

Michael Kogelnik

Dieter Lang

Michael Paar

Bernhard Rogler

Mathias Roher

Marinus Schmid

Andreas Schnegg

Peter Zehetbauer

Emanuel Zeindlinger

Technische Universität Ilmenau

Institut für Mikrosystemtechnik, Mechatronik und Mechanik der

Fakultät für Maschinenbau und

Fakultätsübergreifendes Institut für Mikro- und Nanotechnologien

Fachgebiet Biomechatronik

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. habil. Hartmut Witte,

Facharzt für Anatomie, Fachgebietsleiter

Dipl.-Ing. Tobias Schmidt

Dipl.-Ing. Lars Lehmann

Technische Universität Ilmenau

Fakultät für Informatik und Automatisierung

Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik

Fachgebiet Systemanalyse

Univ.Prof. Dr.-Ing. habil. Christoph Ament, Fachgebietsleiter

Dr. Mike Eichhorn

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Institut für Spezielle Zoologie und Evolutionsbiologie

mit Phyletischem Museum

Univ.Prof. Dr. rer.nat. habil. Martin S. Fischer, Direktor

Jonas Lauströer

Fotos: Walter Fogel, Angelbachtal

Festo AG & Co. KG

Corporate Design

Rechbergstraße 3

73770 Denkendorf

Germany

www.festo.com/de/bionic

Telefon 07 11/347-38 80

Telefax 07 11/347-38 99

fish@de.festo.com