

Das Bionic Learning Network von Festo

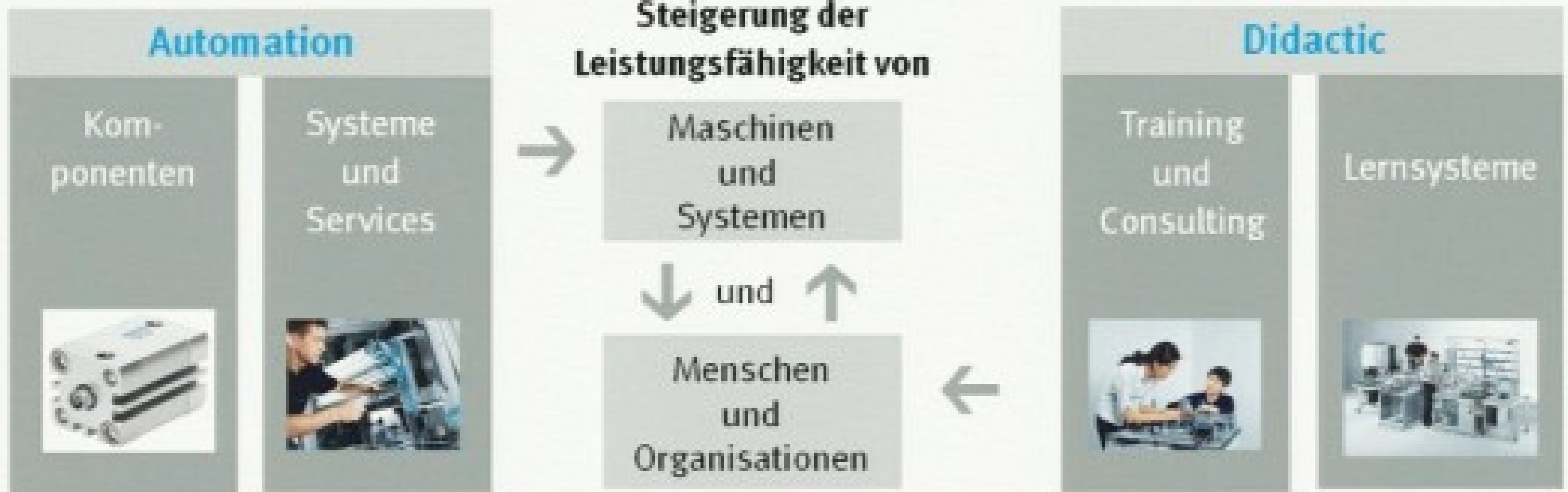
**Vortrag von Elias Knubben,
Leiter Corporate Bionic Projects,
Festo AG & Co. KG, Esslingen**

Festo – ein unabhängiges Familienunternehmen

- Automation und Didactic
- Fabrik- und Prozessautomatisierung
- Über 300.000 Kunden
- Rund 17.000 Mitarbeiter
- Nachhaltige Aus- und Weiterbildung
- International in 63 Ländern und 250 Standorten



Automatisierungs- und Qualifizierungslösungen



- **42.000 Fachkräfte** weltweit nehmen jährlich an Qualifizierungsmaßnahmen von Festo Didactic teil

- **36.000 techn. Schulen/ Universitäten** lehren mit Bildungsausstattungen von Festo Didactic

Festo – technologische Kompetenz für Fabrik- und Prozessautomation

Bewegen

Linear und rotativ bewegen, drehen,
wenden, greifen, klemmen

Steuern und Regeln

Position, Weg, Kraft, Druck

Prozesse

Mischen, dosieren, abfüllen, trennen

Diagnose

Messen, analysieren, visualisieren



Naturphänomene – Inspiration für Fabrik- und Prozessautomation

Bewegen

Linear und rotativ bewegen, drehen, wenden, greifen, klemmen

Steuern und Regeln

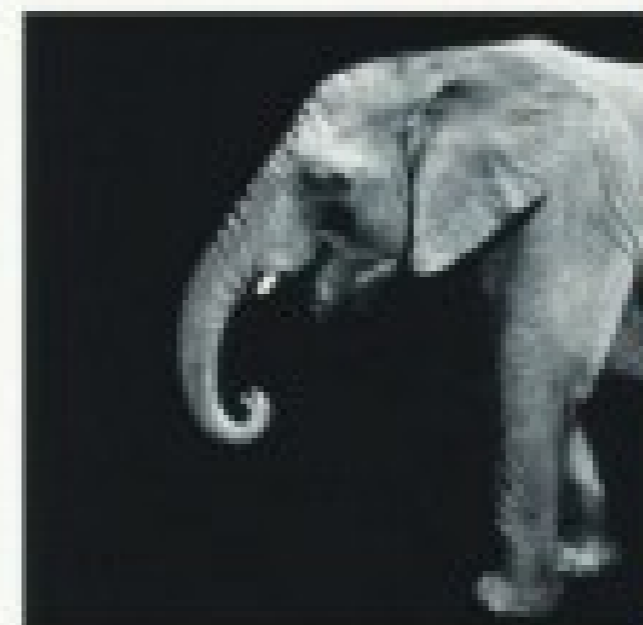
Position, Weg, Kraft, Druck

Prozesse

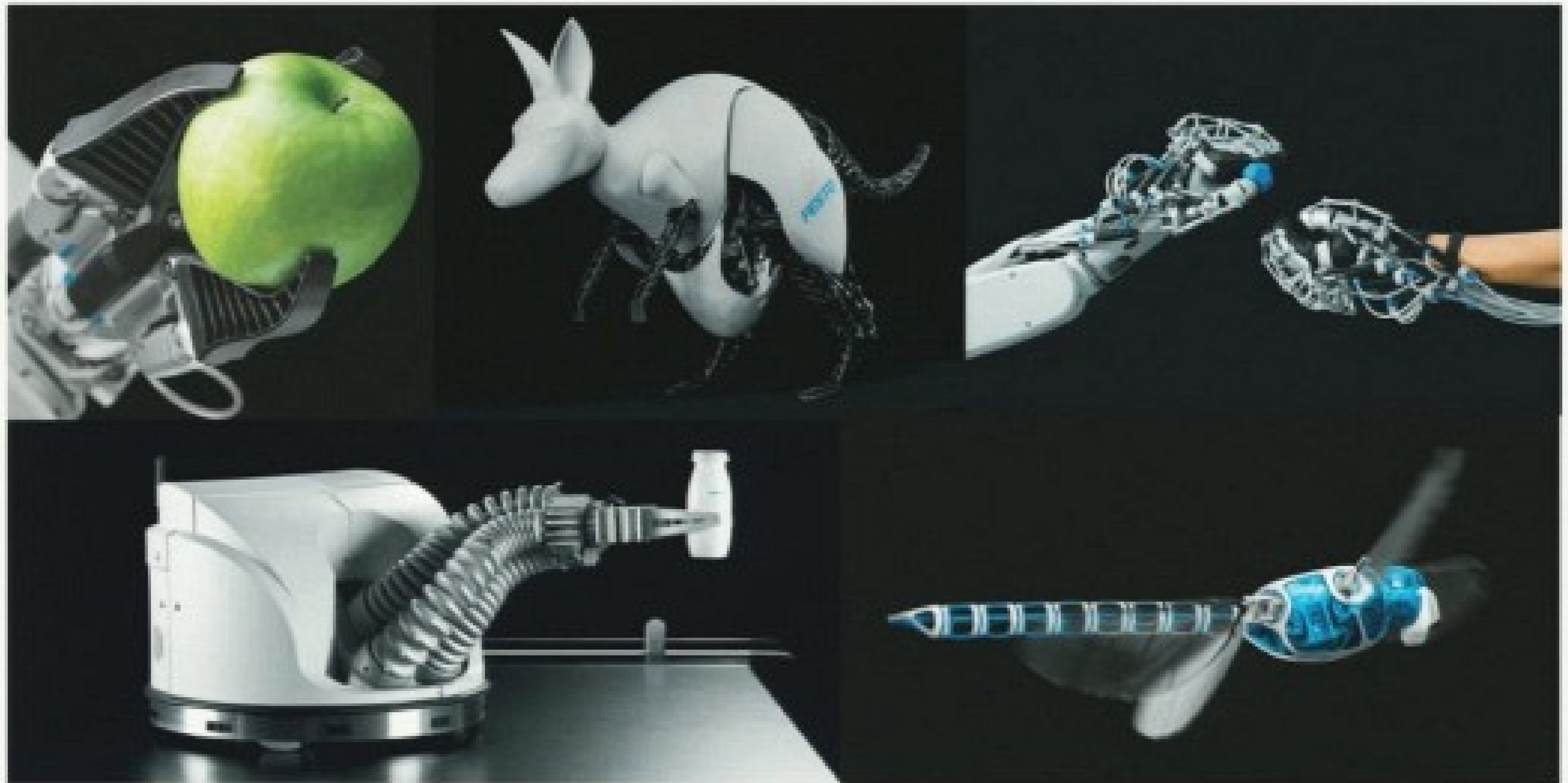
Mischen, dosieren, abfüllen, trennen

Diagnose

Messen, analysieren, visualisieren



Das Bionic Learning Network von Festo



Das Bionic Learning Network von Festo

- Interdisziplinäres Kernteam
- Spezialisten aus Fachabteilungen
- Externe Entwicklungspartner
- Universitäten und Institute
- Studenten und Praktikanten
- Private Erfinder



Themenstellungen des Bionic Learning Network

1. Energieeffizienz

- Leichtbau
- Strömungsoptimierung
- Energierückgewinnung

2. Funktionsintegration

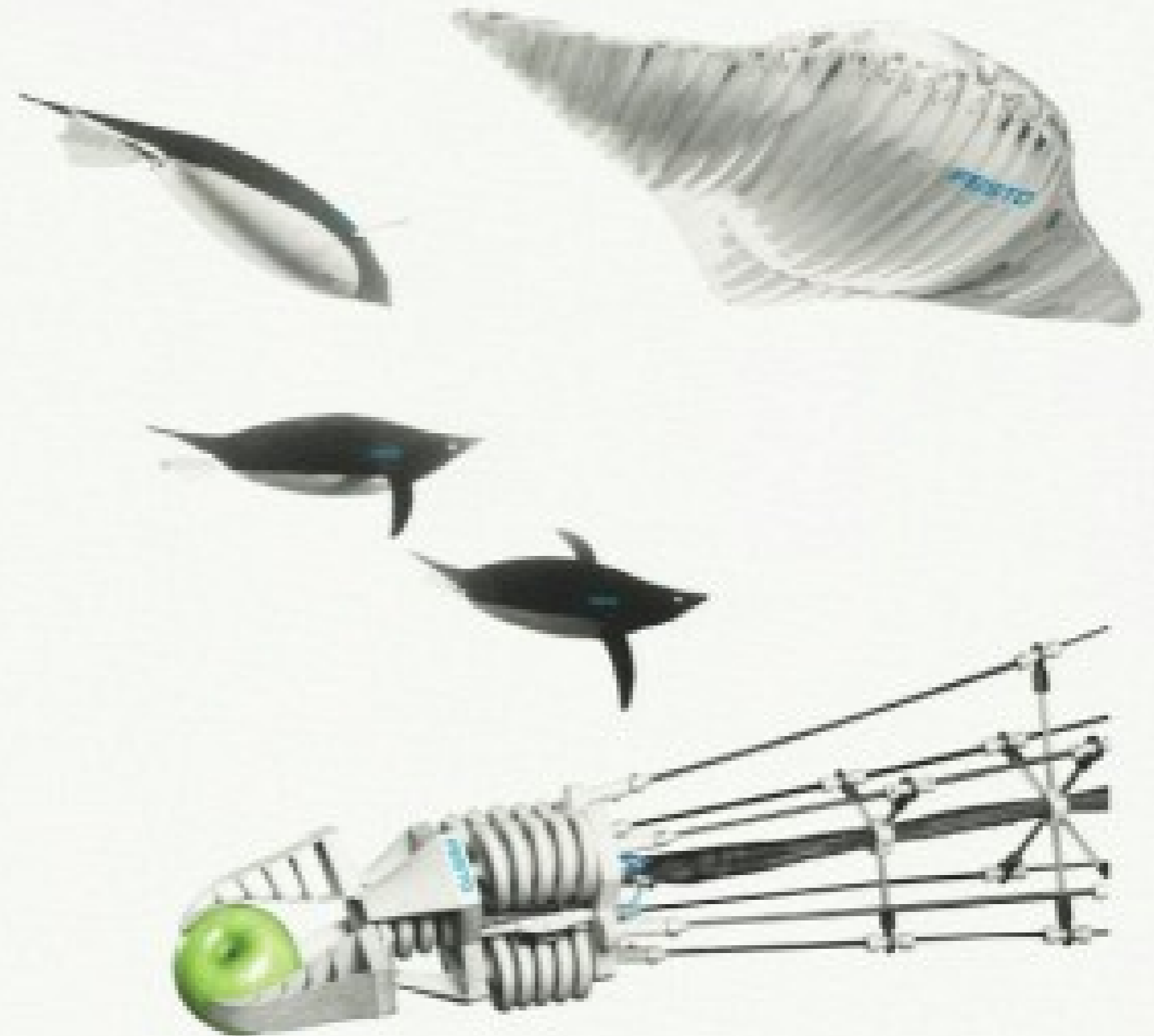
- Selektives Lasersintern / Balgaktor
- Kombination Sensorik – Aktorik

3. Intelligente Steuerung / Regelung

- Schwarmverhalten
- Autonome Robotik
- Künstliche Intelligenz

4. Mensch- Technik- Kooperation

- Assistenzsystem
- Nachgiebige Strukturen
- Adaptive Mechaniken



Themenstellungen des Bionic Learning Network

1. Energieeffizienz

- Leichtbau
- Strömungsoptimierung
- Energierückgewinnung

2. Funktionsintegration

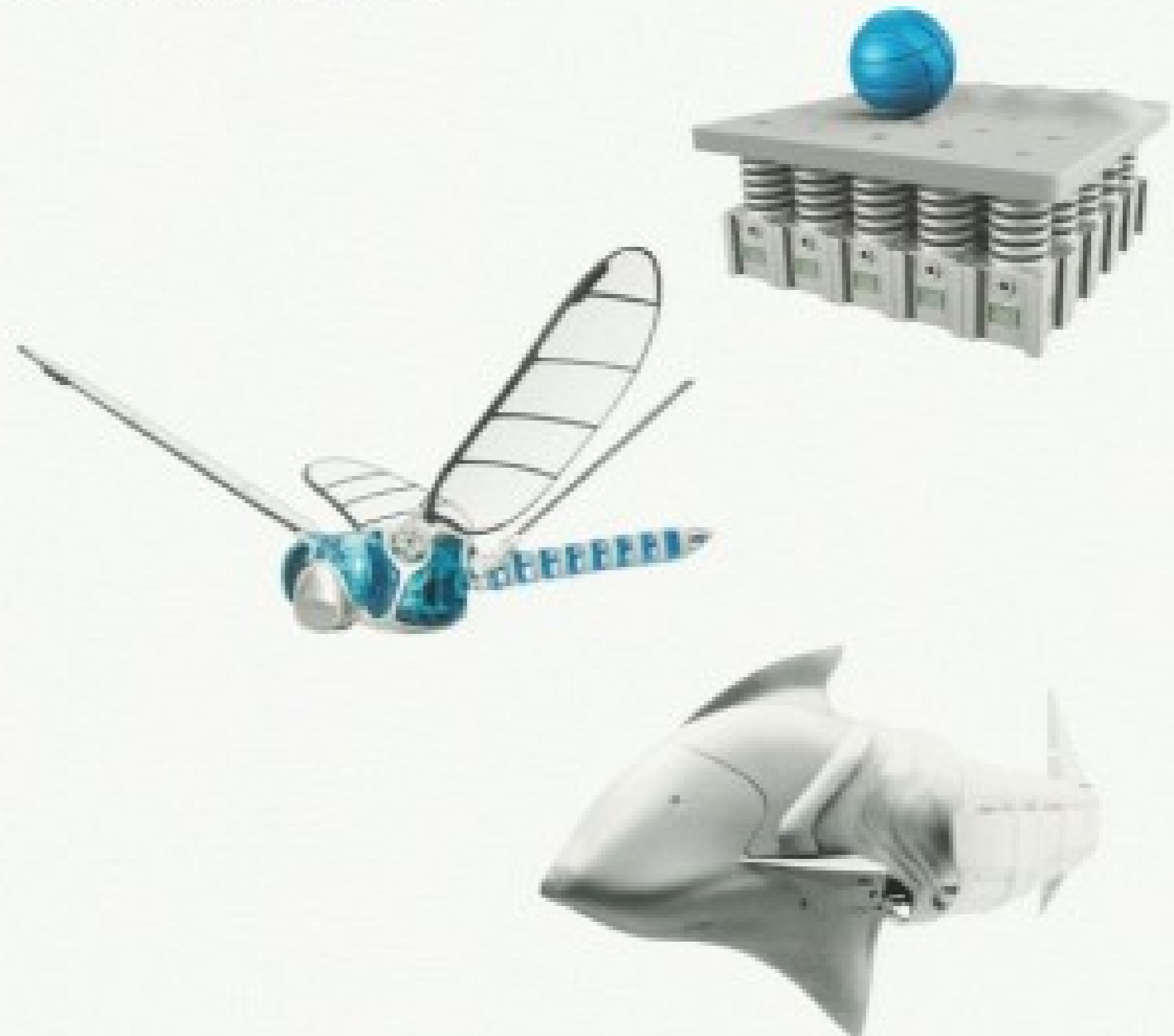
- Selektives Lasersintern / Balgaktor
- Kombination Sensorik – Aktorik

3. Intelligente Steuerung/Regelung

- Schwarmverhalten
- Autonome Robotik
- Künstliche Intelligenz

4. Mensch- Technik- Kooperation

- Assistenzsystem
- Nachgiebige Strukturen
- Adaptive Mechaniken



Themenstellungen des Bionic Learning Network

1. Energieeffizienz

- Leichtbau
- Strömungsoptimierung
- Energierückgewinnung

2. Funktionsintegration

- Selektives Lasersintern / Balgaktor
- Kombination Sensorik – Aktorik

3. Intelligente Steuerung/Regelung

- Schwarmverhalten
- Autonome Robotik
- Künstliche Intelligenz

4. Mensch- Technik- Kooperation

- Assistenzsystem
- Nachgiebige Strukturen
- Adaptive Mechaniken



Themenstellungen des Bionic Learning Network

1. Energieeffizienz

- Leichtbau
- Strömungsoptimierung
- Energierückgewinnung

2. Funktionsintegration

- Selektives Lasersintern / Balgaktor
- Kombination Sensorik – Aktorik

3. Intelligente Steuerung/Regelung

- Schwarmverhalten
- Autonome Robotik
- Künstliche Intelligenz

4. Mensch- Technik- Kooperation

- Assistenzsystem
- Nachgiebige Strukturen
- Adaptive Mechaniken



- Systeme für die Meerestiefe (Fische)
- Fluid-Modell (Muskel)
- Pneumatische beweglicher Muskel
- Energieeffizienz
- Leichtbau
- Autonome Navigation
- Kommunikation
- Prozessentechnik
- Steuerung und Regelungslogik
- Sensorik
- Sensorik
- Zeitnahe Lokalisierung
- Leichtbauverfahren
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Künstliche Intelligenz und autonome Systeme

Biomechatronic Footprint

Vom natürlichen Vorbild in die technische Welt von Festo

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Nase
Inspiration von: **Y790**

Flosse
Inspiration von: **Y790**

Muskel
Inspiration von: **Y790**

Das Ziel des Bionic Learning Network

- Lösungskompetenz zu visualisieren und die Marke zu stärken
- Netzwerke zu knüpfen und neueste Trends in Forschung und Entwicklung wahrzunehmen
- Jugend für Technik zu begeistern
- Festo als einem interessanten Arbeitgeber für talentierte Mitarbeiter aus vielen Bereiche bekannt zu machen



Das Ziel des Bionic Learning Network von Festo

- Menschen aus unterschiedlichen Bereichen zu inspirieren ihre Ideen mit Festo zu entwickeln
- Zukünftige Technologien effizient darzustellen und mit Festo zu verbinden
- Kundenresonanz zu innovativen Themen auf der Messe abzufragen
- Produktvorentwicklung zu betreiben und ein erster Marktzugang geschaffen



Das Bionic Learning Network auf der Hannover Messe

- Jedes Jahr neue Projekte auf der Hannover Messe
- International auf Messen, Kongressen und in Museen vertreten
- Große mediale Verbreitung in TV und Social Media



Das Bionic Learning Network auf der Hannover Messe

- Jedes Jahr neue Projekte auf der Hannover Messe
- International auf Messen, Kongressen und in Museen vertreten
- Große mediale Verbreitung in TV und Social Media



Das Bionic Learning Network auf der Hannover Messe



Bionik = Biologie + Technik – Interdisziplinäres Lernen von der Natur

Bionik als Methodik:

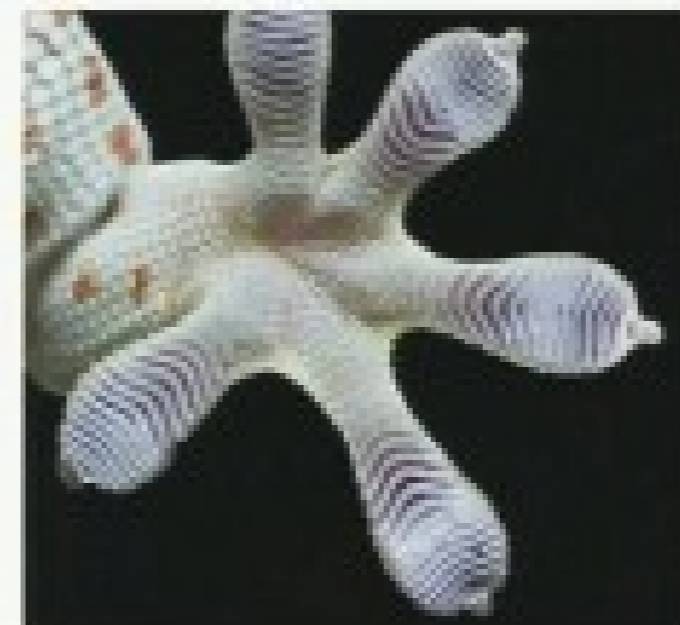
Top-Down Process

Ingenieure identifizieren ein technisches Problem. Zusammen mit Biologen wird gezielt nach Vorbildern in der Natur gesucht.
Bsp. NanoForceGripper



Bottom-Up Process

Ein Biologe entdeckt ein biologisches Phänomen. Zusammen mit Ingenieuren erfolgt die technische Umsetzung.
Bsp. Bionic Tripod mit adaptivem Greifer (DHDG)



Festo nutzt Bionik zur Steigerung der Kreativität in Lösungsfindungsprozessen.

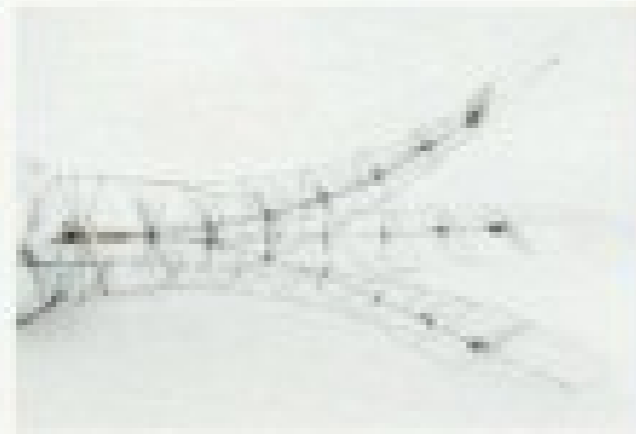
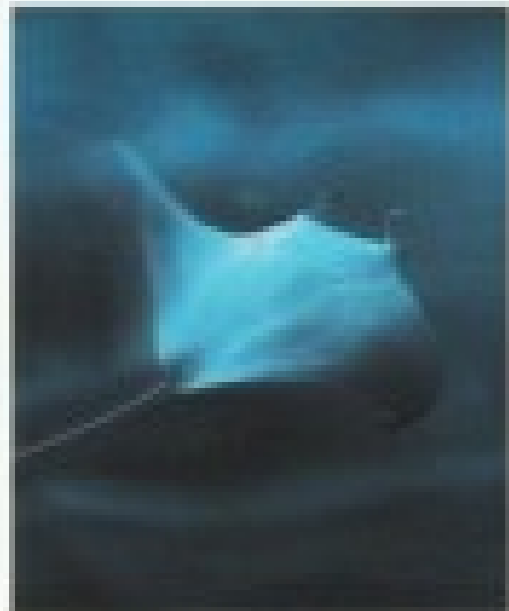
Effizienz durch Biomechatronic – Technische Evolution der „Flosse“

Natürliches Vorbild

Technisches Grundprinzip

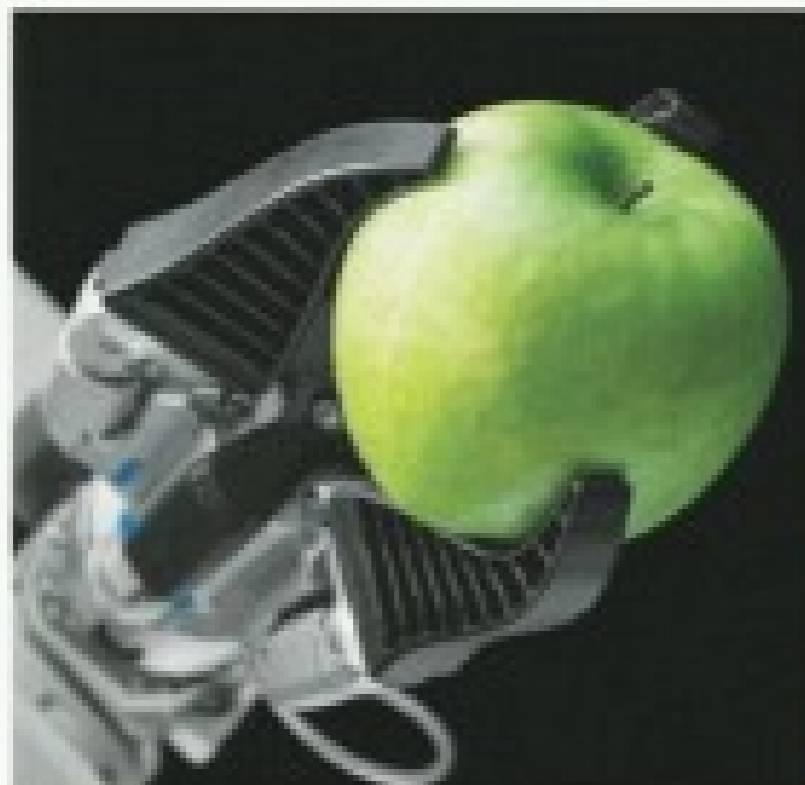
Bionische Adaption

Industrielle Adaption

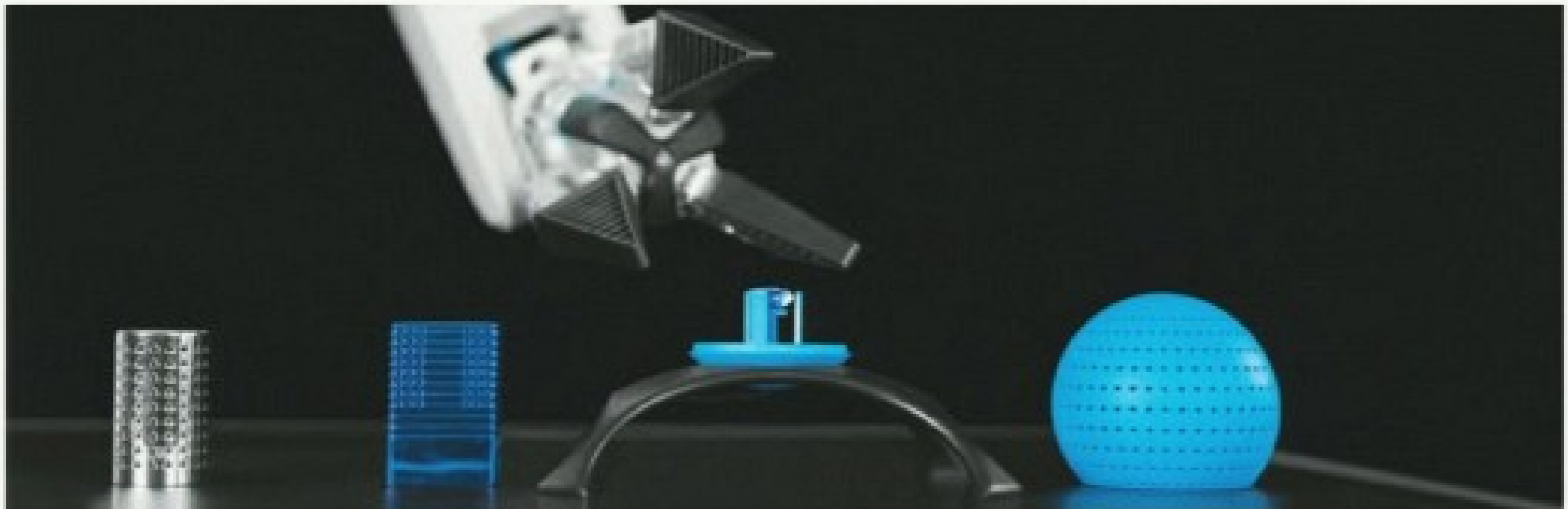


Adaptive Gripper mit Fin Ray Effect®

- Die adaptive Struktur passt sich an unterschiedliche Geometrien an
- Der Effect benötigt keinen zusätzlichen Regelungsaufwand
- Formschlüssiges und sanftes Greifen wird dadurch möglich



MultiChoiceGripper – adaptiver, flexibler Greifer für verschiedene Formen



MultiChoiceGripper – adaptiver, flexibler Greifer für verschiedene Formen

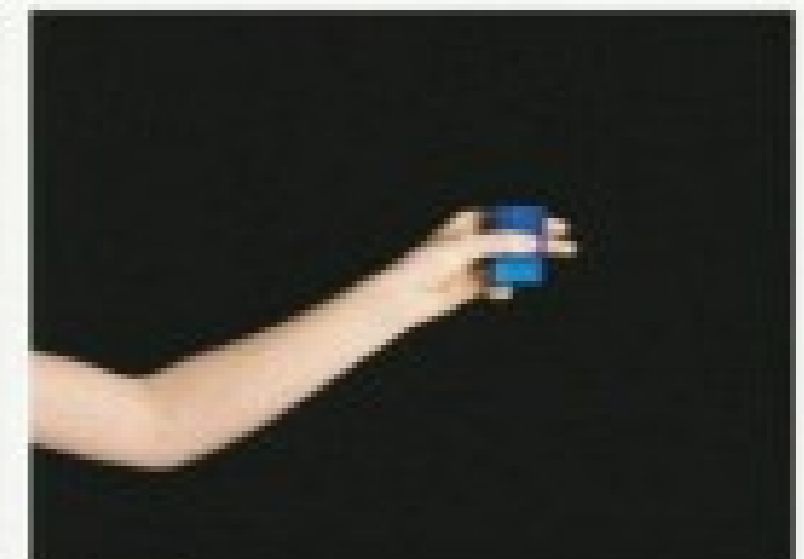
Greifer bietet einzigartige Kombination von **unterschiedlichen Greifarten**.

Parallel und zentrisch

Greiffinger lassen sich **mechanisch umschalten**: zwei **drehbare Fingersteckplätze** stehen entweder **zentrisch** um einen Mittelpunkt oder dem dritten Finger **gegenüber**.

Bis zu sechs Greiffinger können angebracht werden.

Wirkprinzip ist der menschlichen Hand nachempfunden: Vorbild ist der opponierbare Daumen, der gegenüber den anderen Fingern um 130° gedreht ist.



MultiChoiceGripper – adaptiver, flexibler Greifer für verschiedene Formen



MultiChoiceGripper – adaptiver, flexibler Greifer für verschiedene Formen

Flexible, adaptive Greiffinger

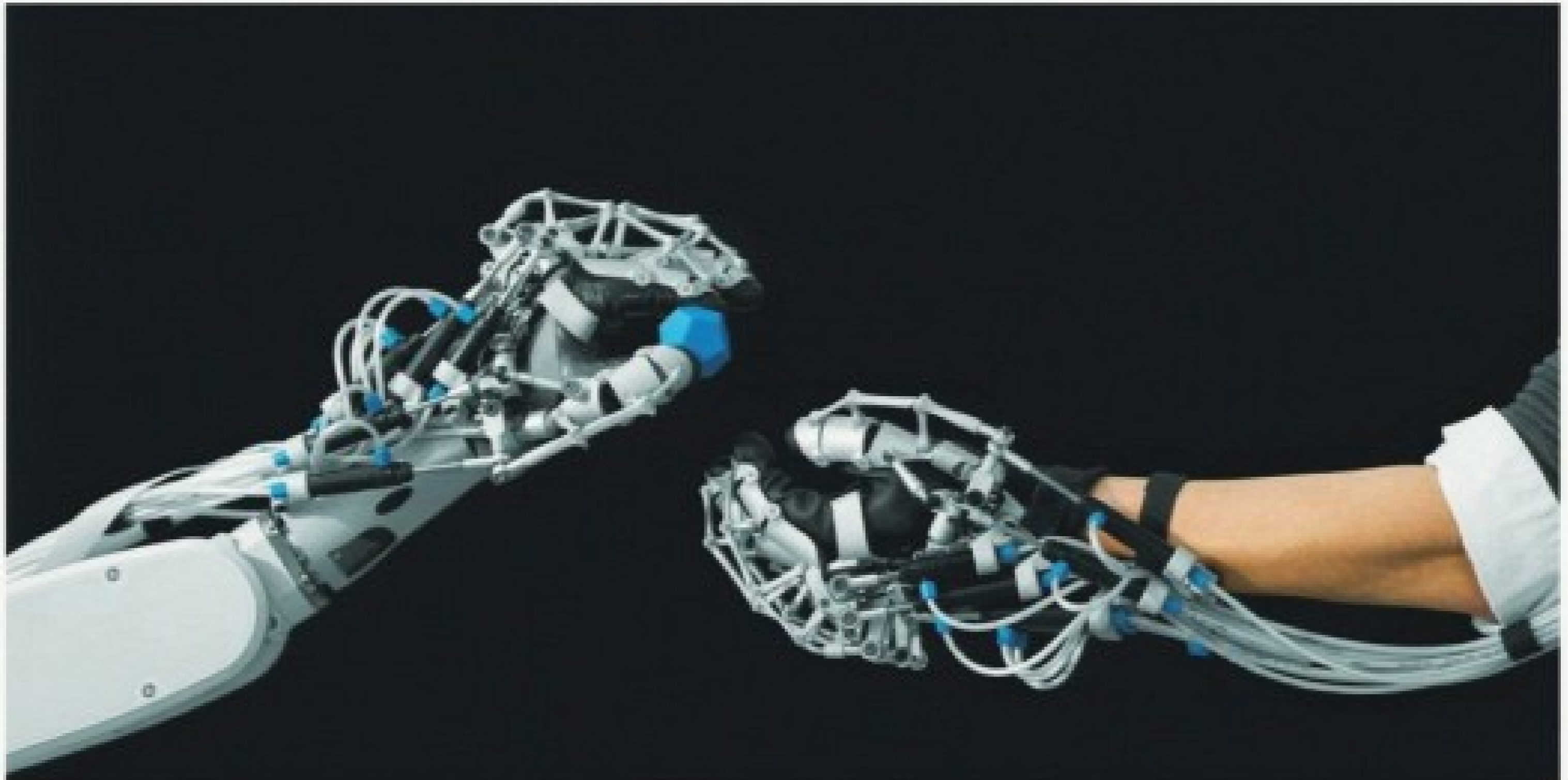
Greifen von **unterschiedlich** geformten und auch sehr **empfindlichen** Objekten ohne zusätzliche Sensorik oder Regelungstechnik.

Adaptive Greiffinger mit Fin Ray Effekt®

- Präsentation auf der Hannover Messe mit drei **adaptiven Greiffingern mit Fin Ray Effekt®**
- Sind aus **lebensmittelkonformem Polyurethan** gefertigt und damit in der Nahrungsmittelindustrie verwendbar
- Weiterführung des bionischen Fin Ray® Greifers (2009)
- Derzeit wird an der **Serienreife** des adaptiven Greiffinger mit Fin Ray Effect® gearbeitet



ExoHand – Mensch-Technik-Kooperation

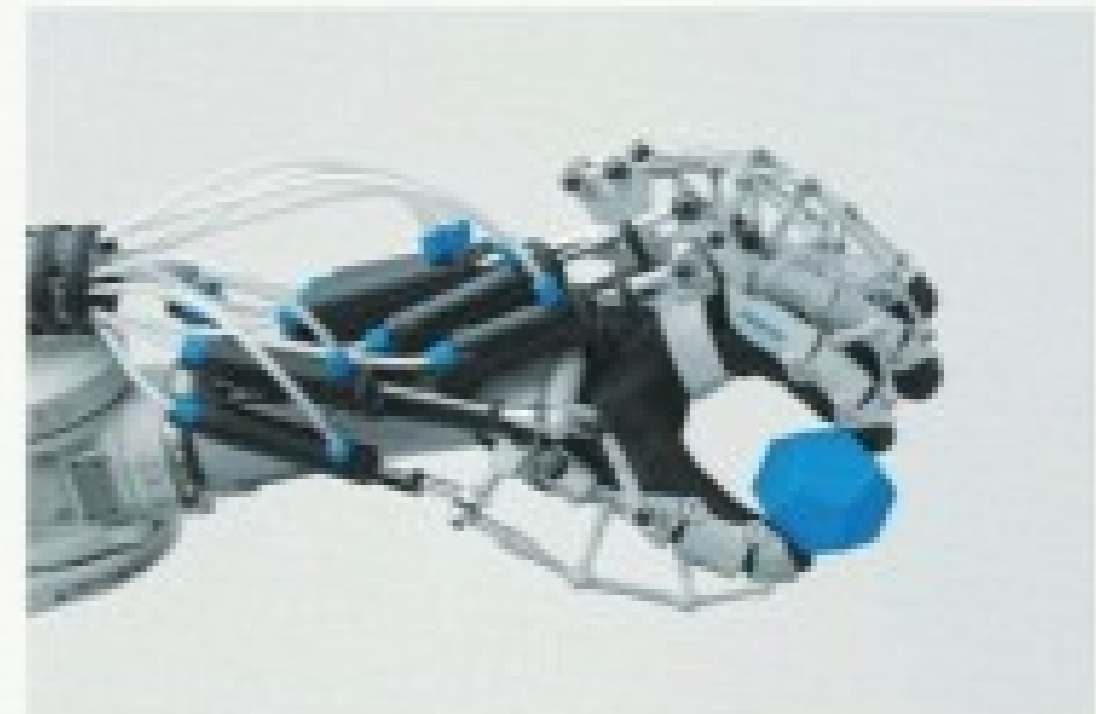


ExoHand – Mensch-Technik-Kooperation

Starke Hand – mit Fingerspitzengefühl

Die Exoskeletthand bildet alle wichtigen physiologischen Freiheitsgrade einer Hand ab.

- Individuelle Passform durch generative Fertigung
- Acht pneumatische, doppelt wirkende Aktoren: DFK-10 Zylinder von Festo
- Linear Potentiometer erfassen die Fingerstellung und mittels Drucksensorik kann auf die jeweils anliegende Kraft geschlossen werden
- Piezoproportionalventilen zur präzisen Druckregelung
- Positionsgenaue Steuerung mit CoDeSys

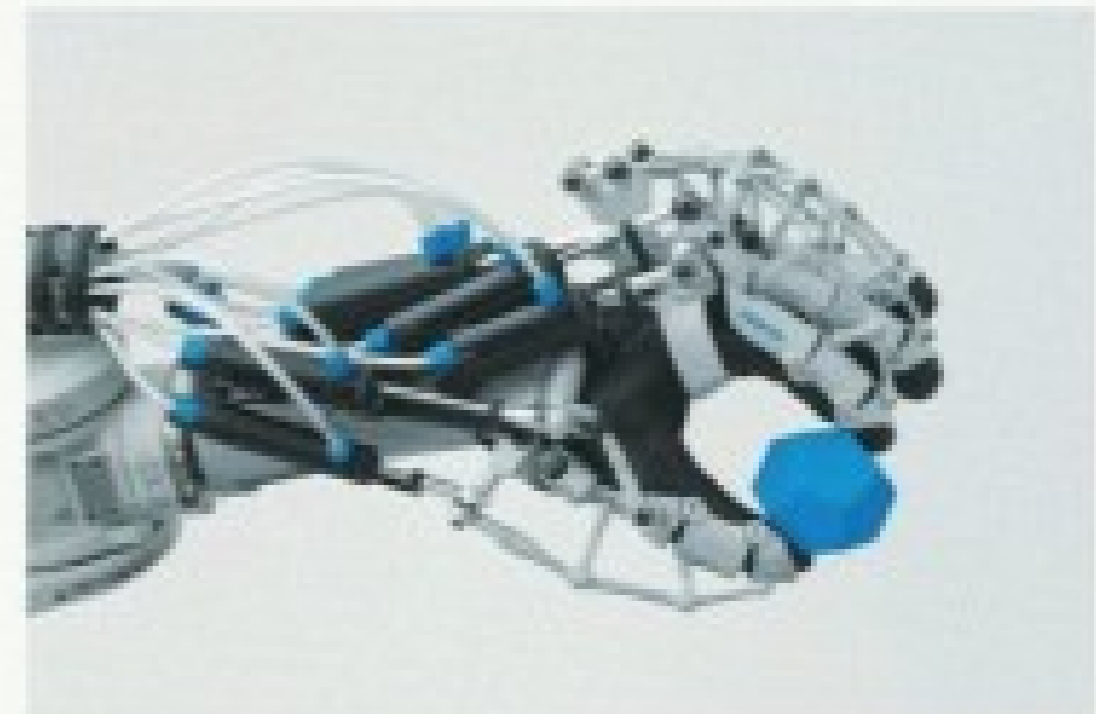


ExoHand – Mensch-Technik-Kooperation

Starke Hand – mit Fingerspitzengefühl

Die Exoskeletthand bildet alle wichtigen physiologischen Freiheitsgrade einer Hand ab.

- Individuelle Passform durch generative Fertigung
- Acht pneumatische, doppelt wirkende Aktoren: DFK-10 Zylinder von Festo
- Linear Potentiometer erfassen die Fingerstellung und mittels Drucksensorik kann auf die jeweils anliegende Kraft geschlossen werden
- Piezoproportionalventilen zur präzisen Druckregelung
- Positionsgenaue Steuerung mit CoDeSys



ExoHand – Mensch-Technik-Kooperation

Kraftverstärkung in der Montage

Wird die ExoHand wie ein Handschuh über die eigene Hand gezogen, so kann sie die Bewegungen der Hand wahrnehmen und pneumatisch verstärken.

- ältere Mitarbeiter werden entlastet
- sich wiederholende Tätigkeiten werden weniger anstrengend



Einsatz in der medizinischen Therapie

In Kombination mit einem Brain-Computer-Interface kann die ExoHand auch in der Rehabilitation von z. B. Schlaganfallpatienten eingesetzt werden.

Eine vereinfachte Version wird aktuell an der Universitätsklinik in Tübingen getestet.



ExoHand – Mensch-Technik-Kooperation

Force-Feedback zur gefahrlosen Fernmanipulation

Die ExoHand wird über die eigene Hand gezogen.
Zusätzlich wird eine zweite ExoHand über eine künstliche Hand gezogen.

- Die Bewegungen der echten Hand werden über Sensoren in der ExoHand registriert, auf die zweite ExoHand übertragen und von dieser ausgeführt
- Sobald die zweite Hand etwas greift, registriert sie einen Widerstand und transferiert diese Daten zurück auf die erste ExoHand
- So spürt der Träger einen Gegenstand sobald etwas gegriffen wurde
- Das haptische Feedback ist so präzise, dass unterschiedliche Objekte intuitiv erkannt werden können



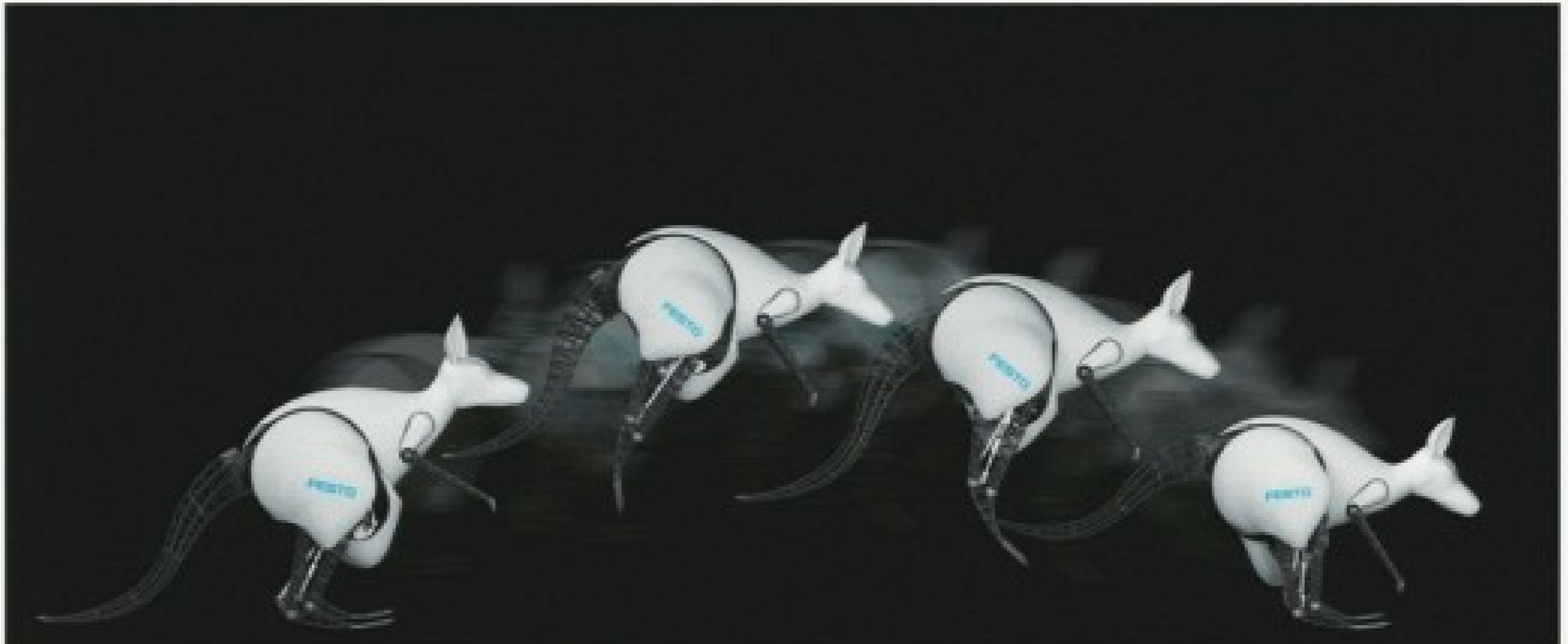
ExoHand



ExoHand



BionicKangaroo – energieeffiziente Sprungkinematik



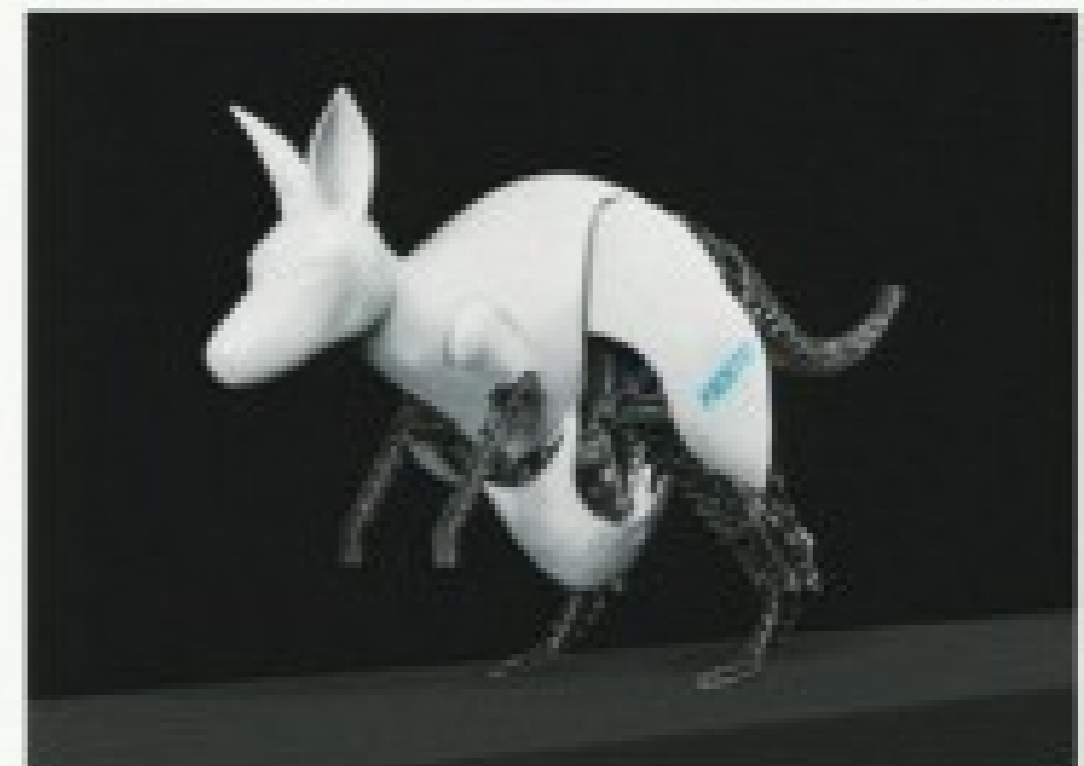
BionickKangaroo – energieeffiziente Sprungkinematik

Vorbild war das **Känguru**:

Festo ist es gelungen die **spezielle Bewegungsart** des Sympathieträgers und Wappentiers Australiens **technisch umzusetzen**.

Einzigartige Fortbewegungsart:

Sein Hüpfmechanismus ermöglicht es dem Känguru, seine Geschwindigkeit zu erhöhen, ohne dabei seinen Energieverbrauch zu steigern. Bei jedem Sprung kann es **Energie** aus der Landephase **zwischenspeichern** und für den nächsten Sprung **wieder nutzen**. Eine wichtige Funktion übernimmt dabei die **Achillessehne**.

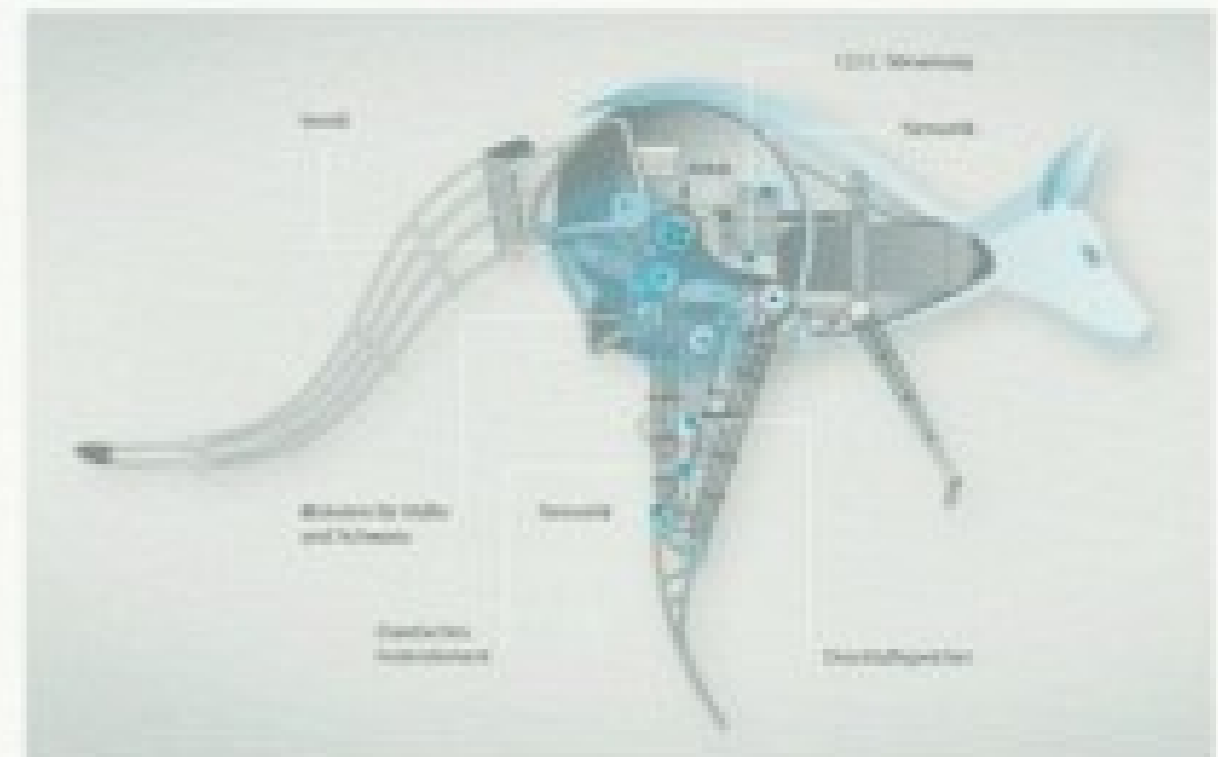
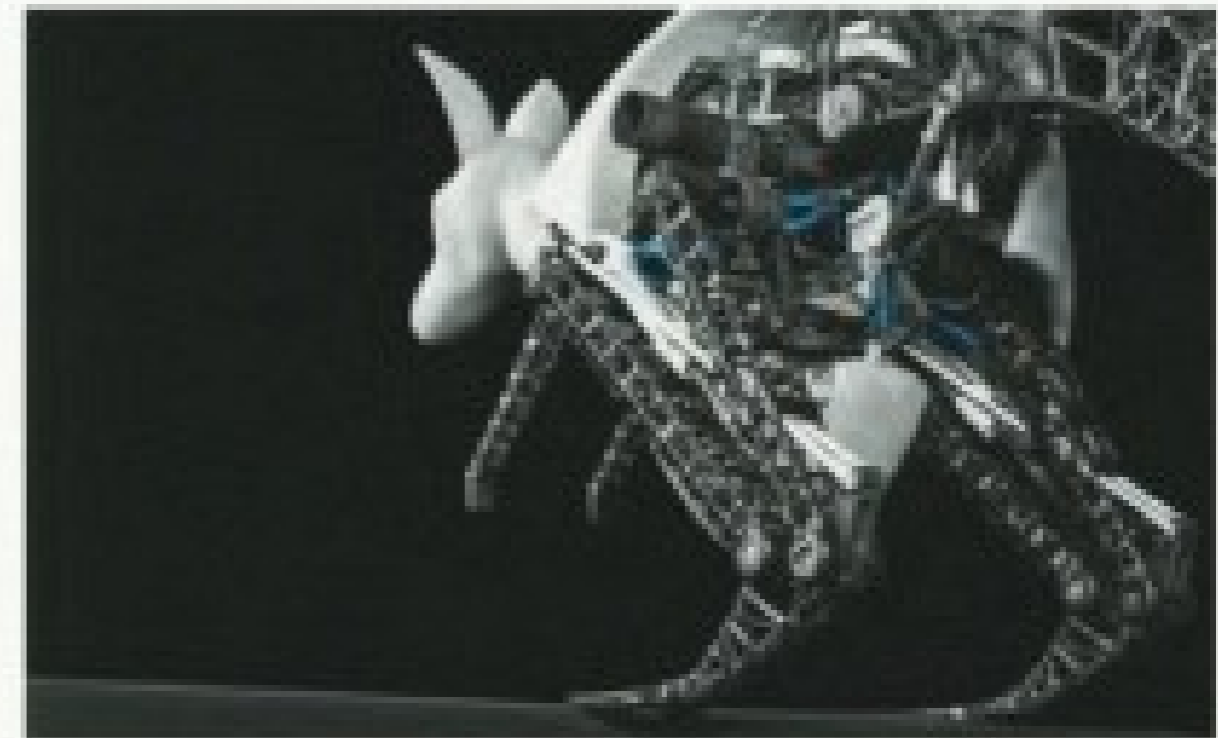


BionickKangaroo – energieeffiziente Sprungkinematik

System ist hochdynamisch und energieeffizient durch intelligente Kombination pneumatischer und elektrischer Antriebstechnik

- Achillessehne besteht aus einem elastischen Federelement aus Gummi
- Elektrische Antriebe für präzise Bewegungen
- Pneumatische Aktoren für dynamisches Sprungverhalten
- Mobile Energieversorgung an Bord
- Kleiner Kompressor oder ein Hochdruckspeicher
- Lithium-Polymer-Akkus als elektrischer Energiespeicher

Leichtbau als Voraussetzung für das einzigartige Sprungverhalten



BionickKangaroo – Energieeffiziente Sprungkinematik

Absprungphase



1 Vorspannen des elastischen Federelements



2 Verlagerung des Schwerpunkts nach vorne



3 Schalten der Ventile zum Absprung

Flugphase



4 Auswertung der Sensorwerte durch Steuerung



5 Vorziehen der Beine und Anheben des Schwanzes

Landephase



6 Landen und Einfedern für den nächsten Sprung

BionickKangaroo – Energieeffiziente Sprungkinematik

Absprungphase



1 Vorspannen des elastischen Federelements



2 Verlagerung des Schwerpunkts nach vorne



3 Schalten der Ventile zum Absprung

Flugphase



4 Auswertung der Sensorwerte durch Steuerung



5 Vorziehen der Beine und Anheben des Schwanzes

Landephase

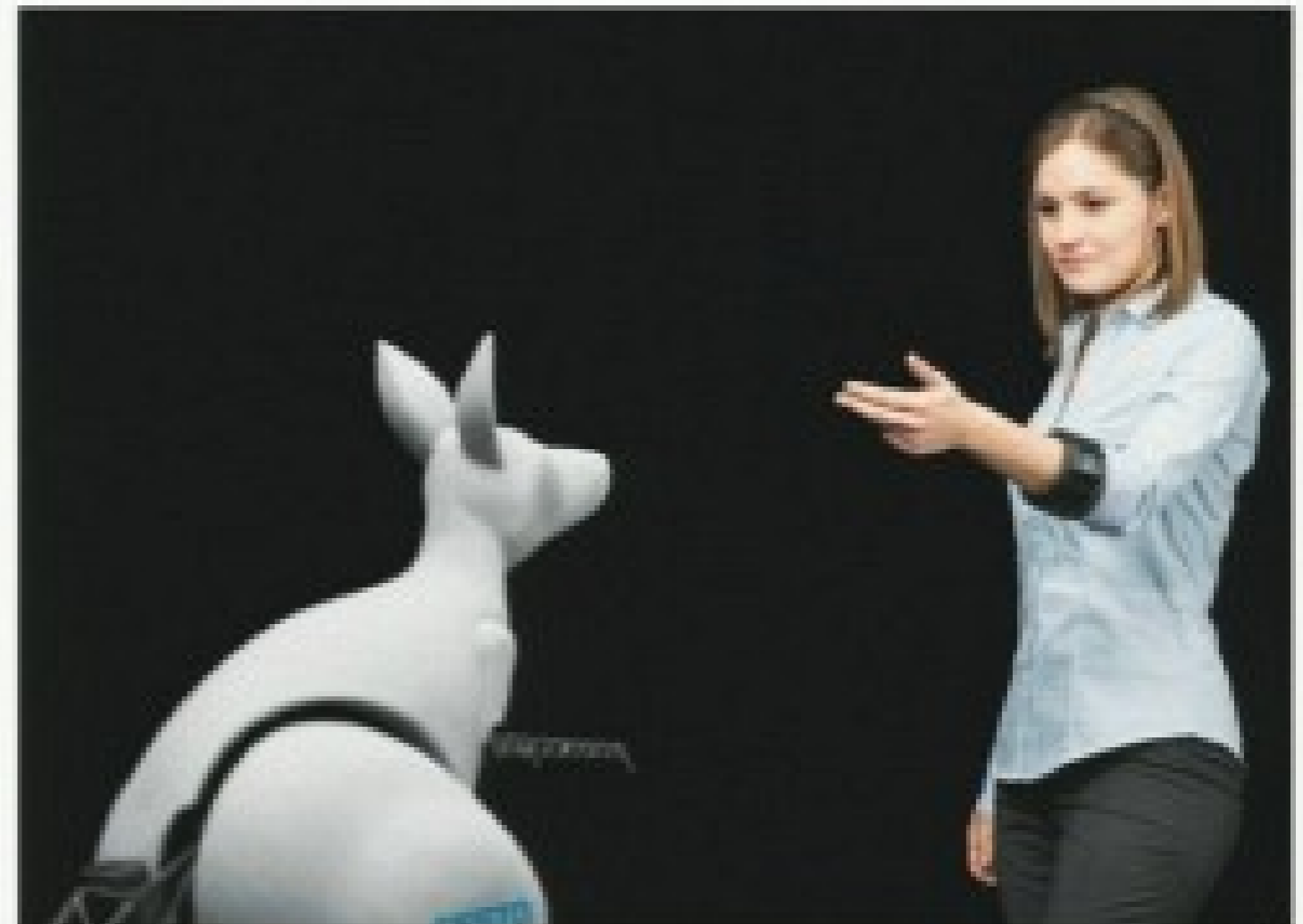


6 Landen und Einfedern für den nächsten Sprung

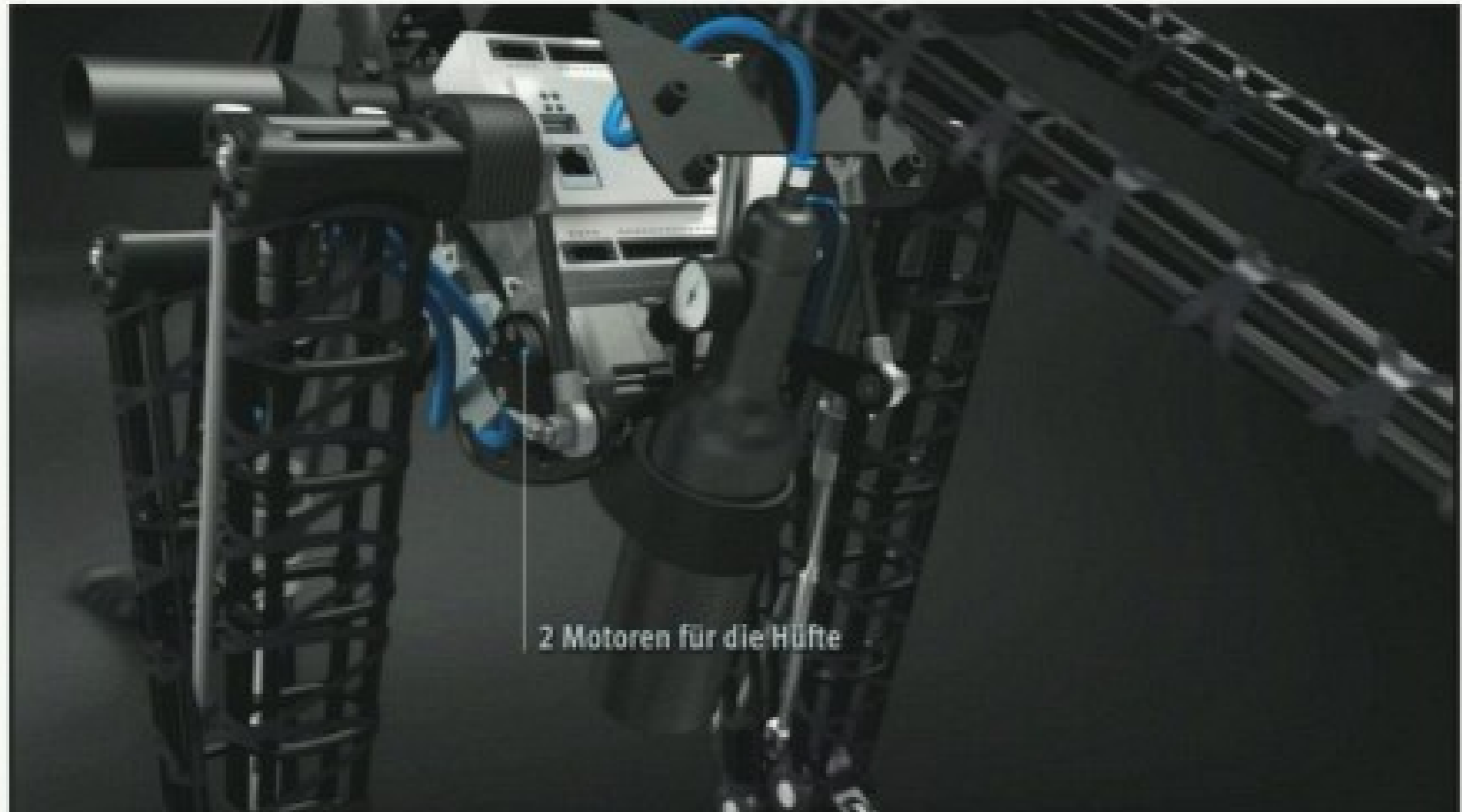
BionickKangaroo – energieeffiziente Sprungkinematik

Hochkomplexes Gesamtsystem:

- Robuste und leichte Sprungkinematik
- Stabilisierung mit anspruchsvoller Steuerungs- und Regelungstechnik
- Condition Monitoring gewährleistet Prozesssicherheit
- Intuitives Bedienkonzept mittels Gestensteuerung

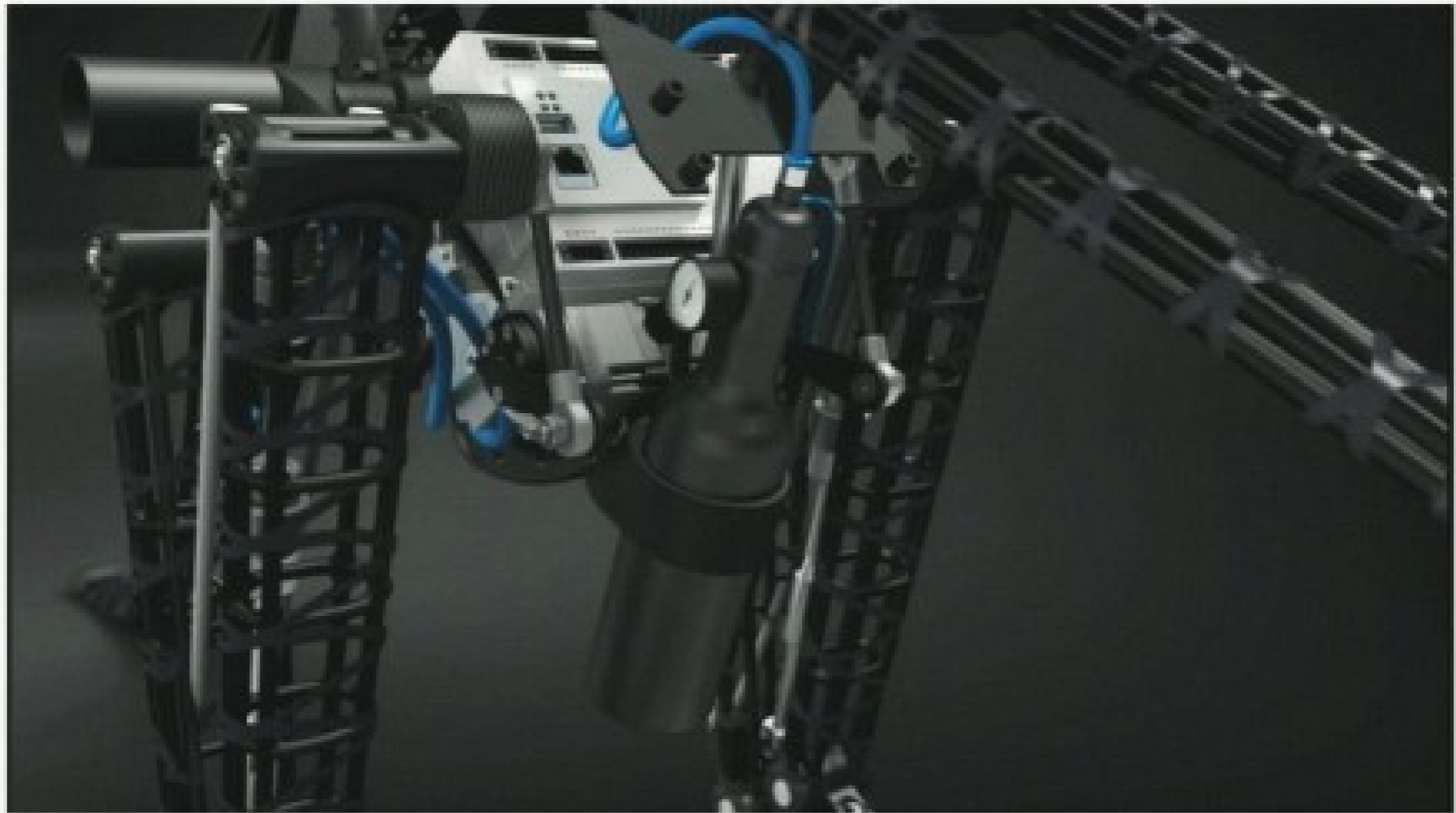


BionicKangaroo



2 Motoren für die Hüfte

BionicKangaroo



BionicKangaroo

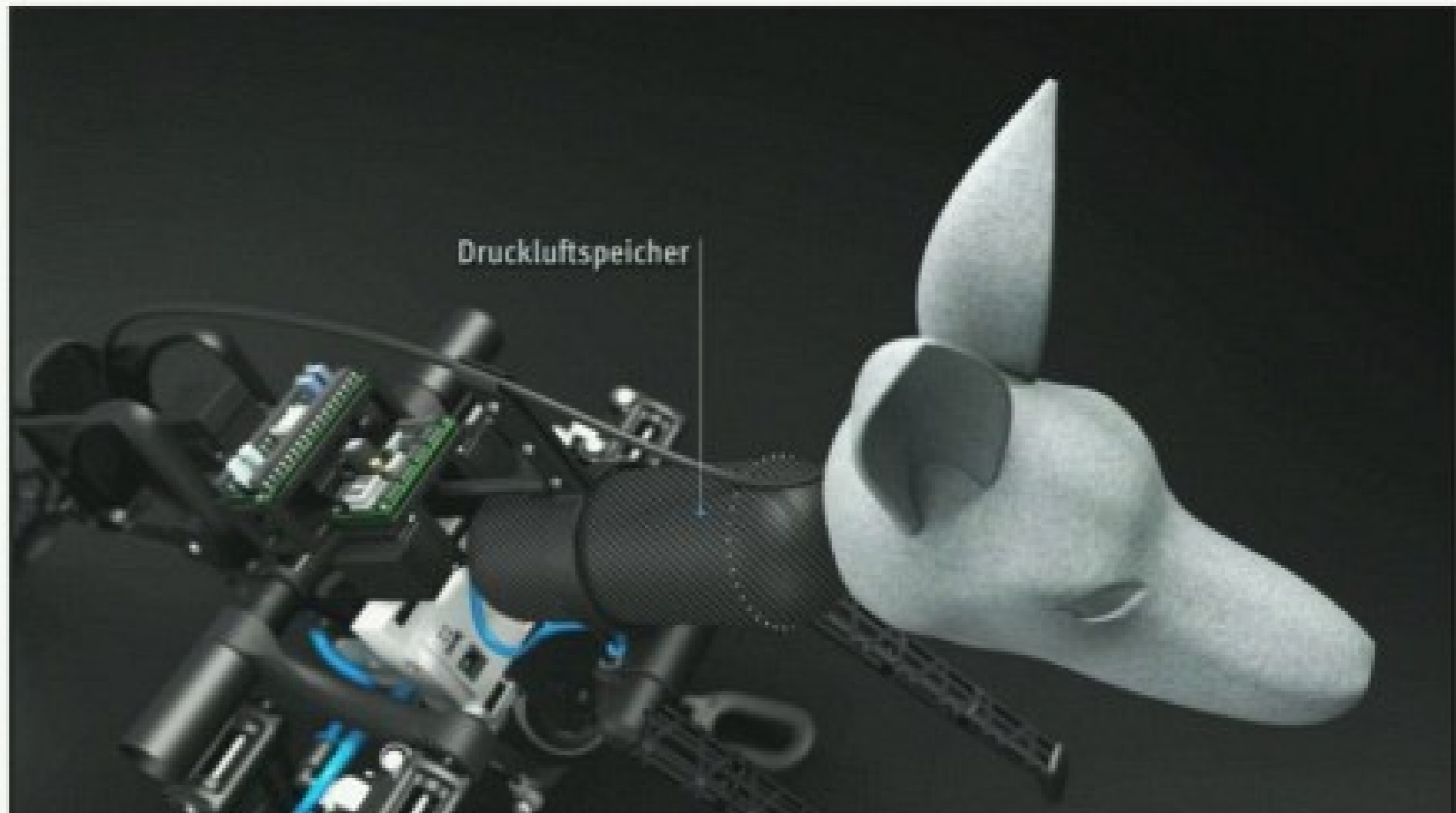


1 Motor für den Schwanz

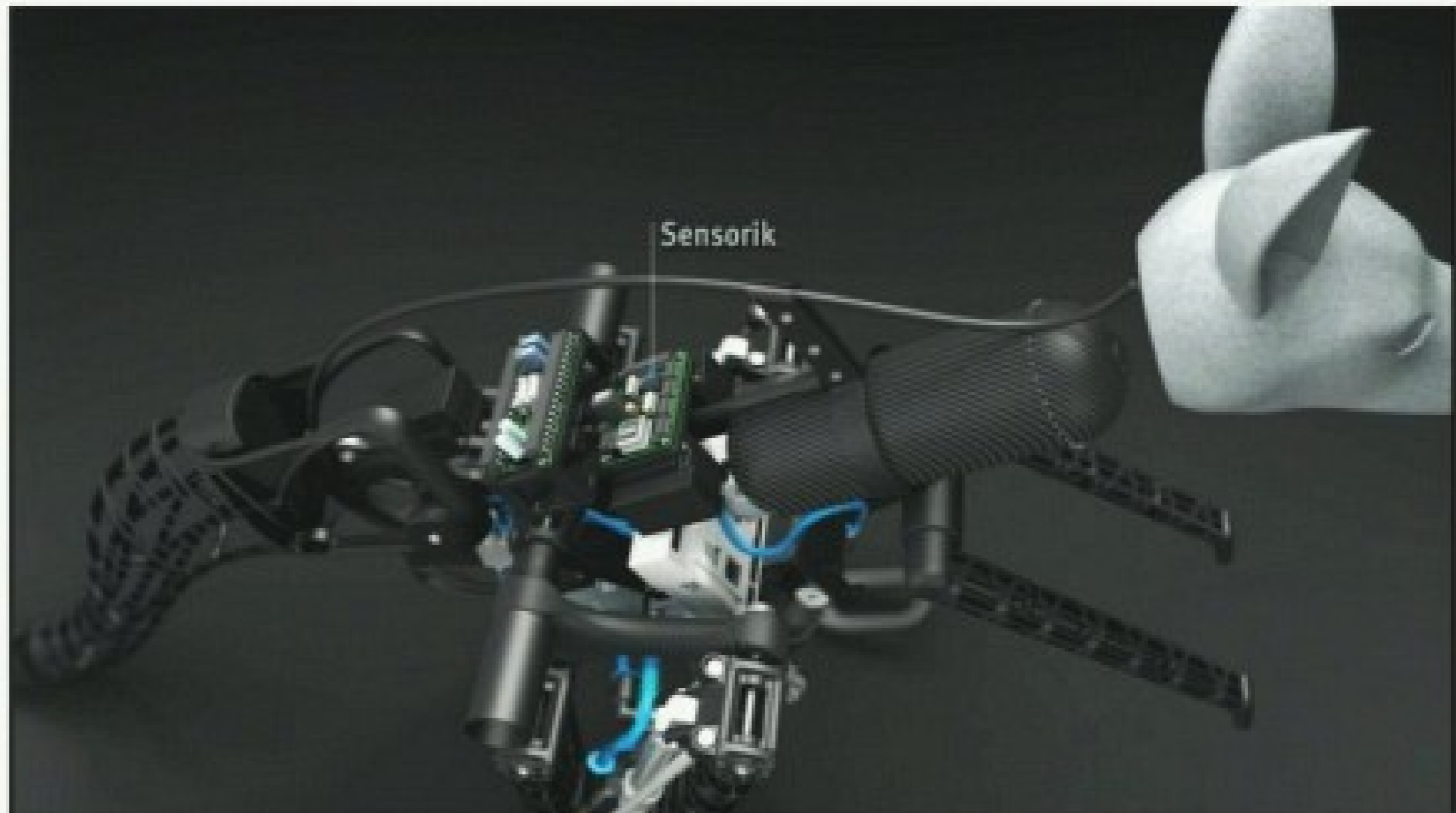
BionicKangaroo



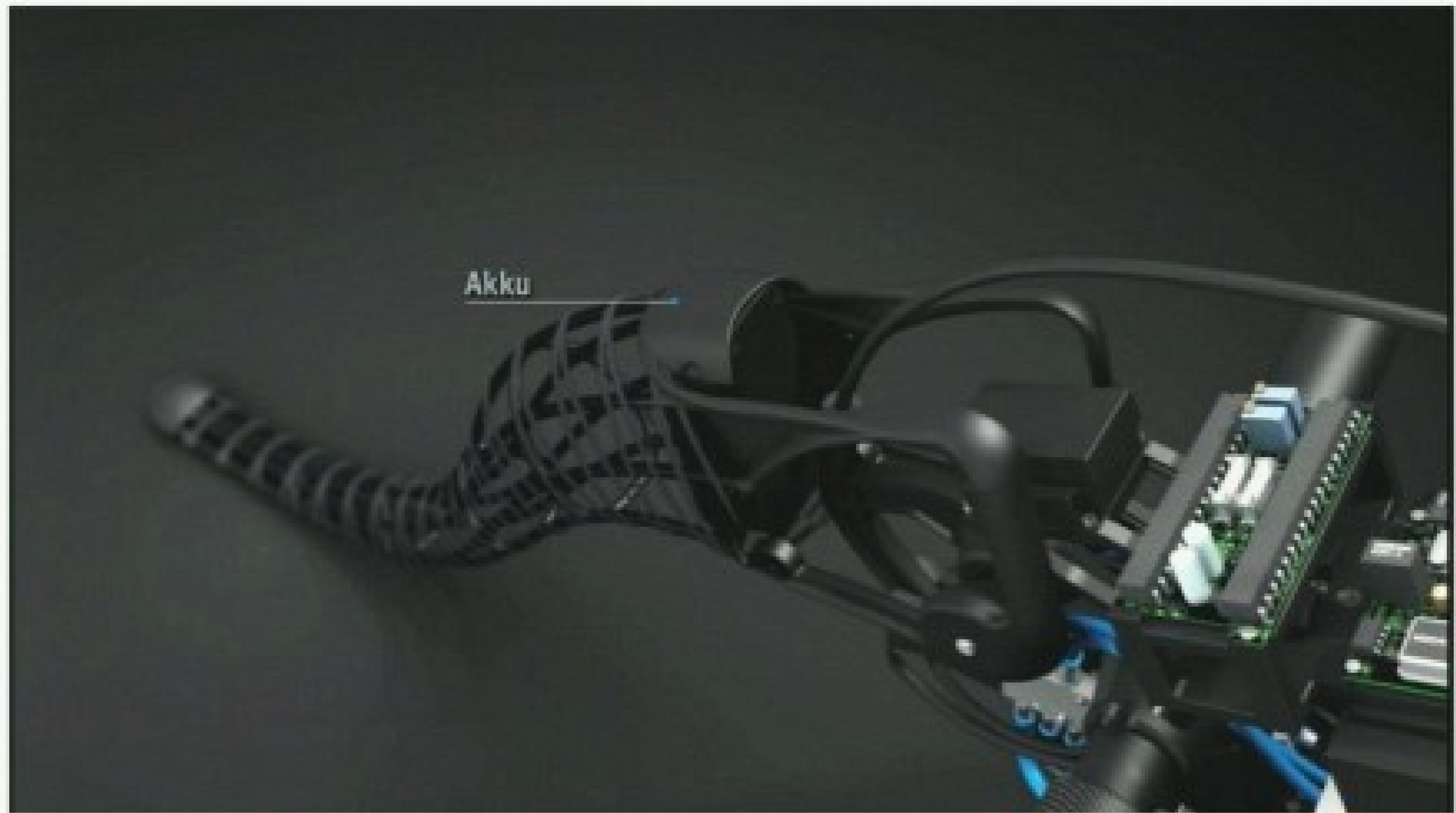
BionicKangaroo



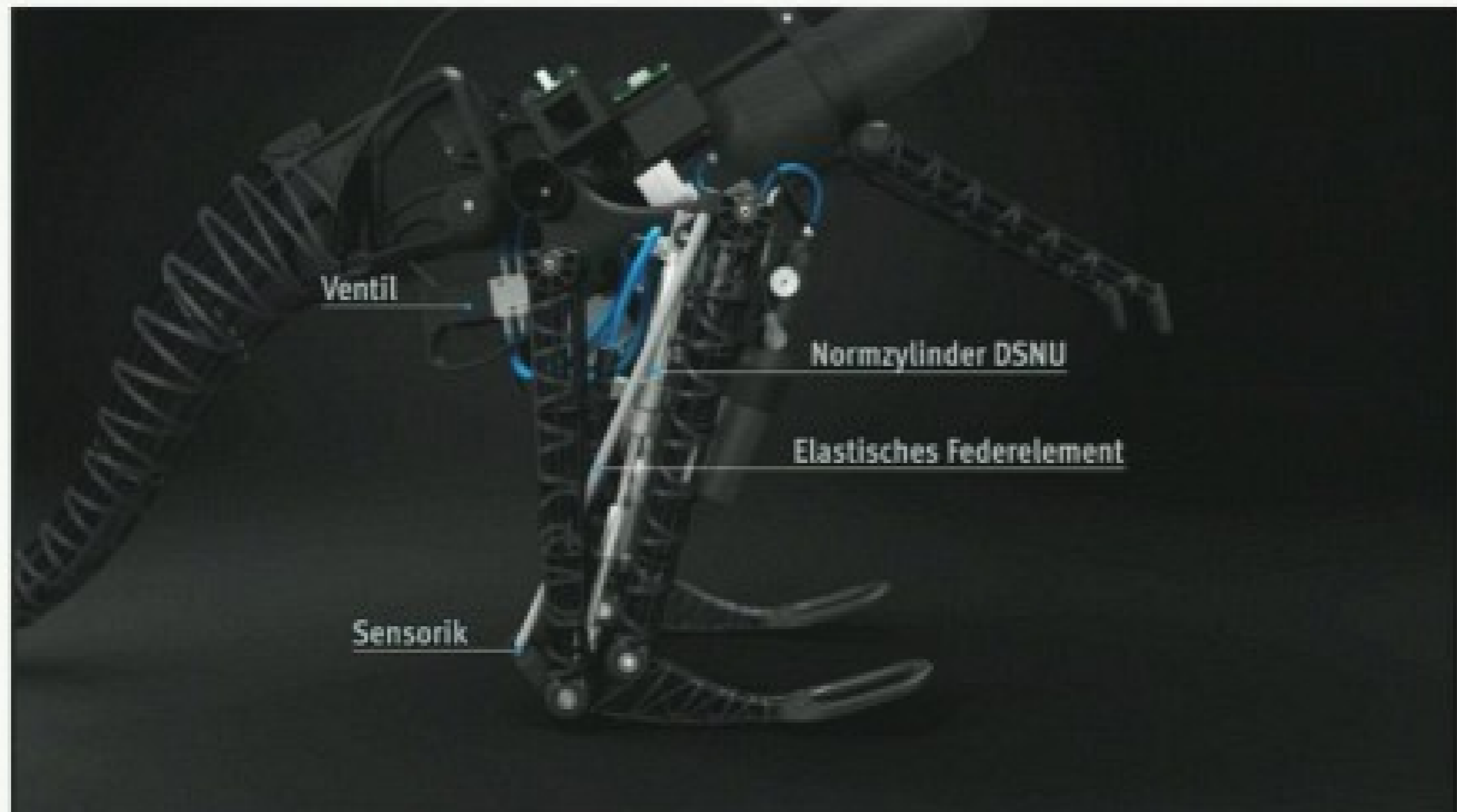
BionicKangaroo



BionicKangaroo



BionickKangaroo



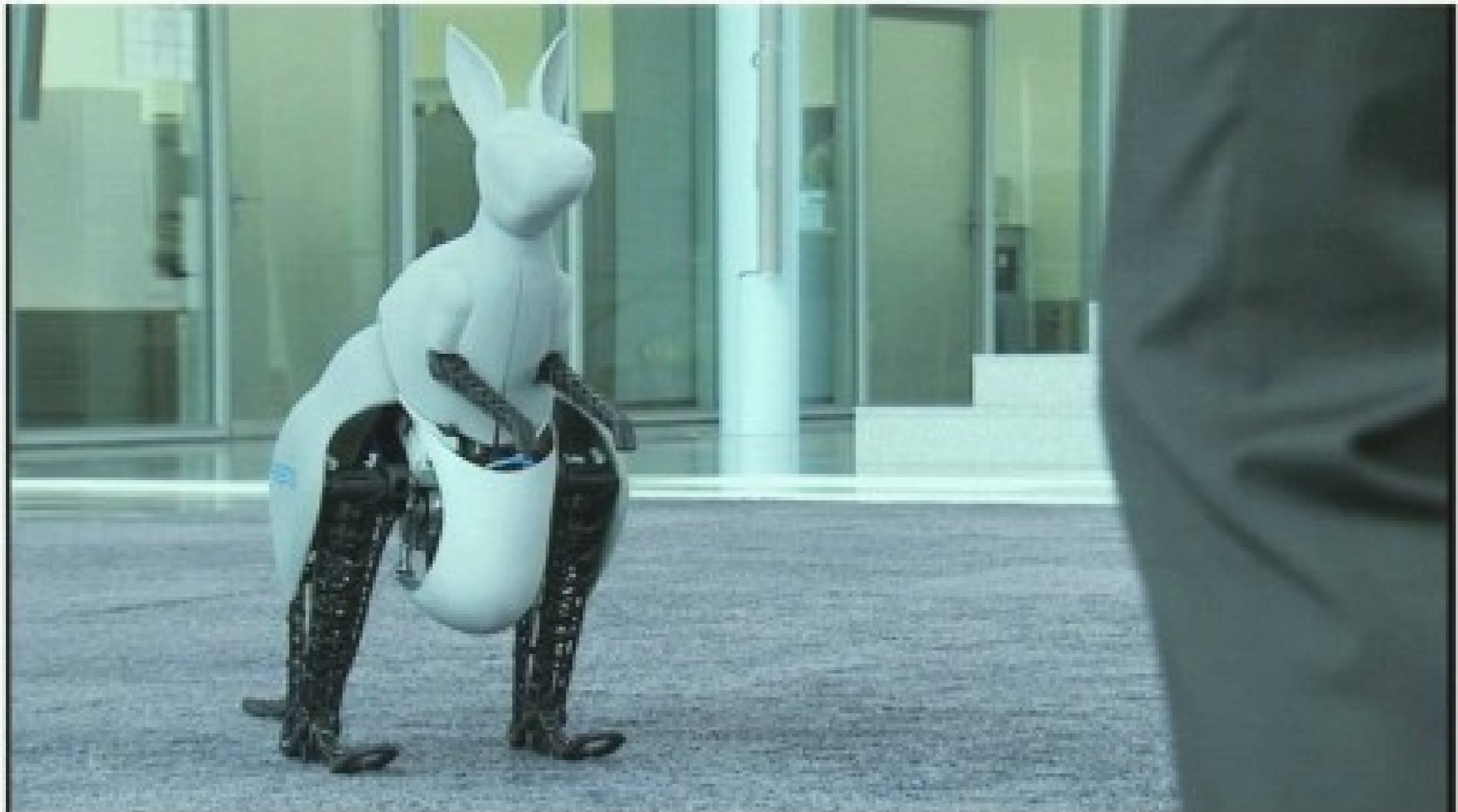
BionicKangaroo



BionicKangaroo



BionicKangaroo



eMotionSpheres – Kollisionsfreies Bewegen autonomer Systeme im Raum



eMotionSpheres – Kollisionsfreies Bewegen autonomer Systeme im Raum

Flugobjekte mit bionischem Antrieb

– individuell und im Kollektiv

- Infrarotkameras erfassen Kugeln über deren aktive Marker und leiten Positionsdaten an Zentralrechner weiter
- Vorprogrammierte Pfade: geben den Kugeln beim Formationsflug ihre Bahnen vor → Choreographie
- Hinterlegte Verhaltensmuster: ermöglichen autonomes, kollisionsfreies Bewegen durch den Raum
- Individuelle Steuerung: Menschen können die Kugeln einzeln steuern



eMotionSpheres – Kollisionsfreies Bewegen autonomer Systeme im Raum

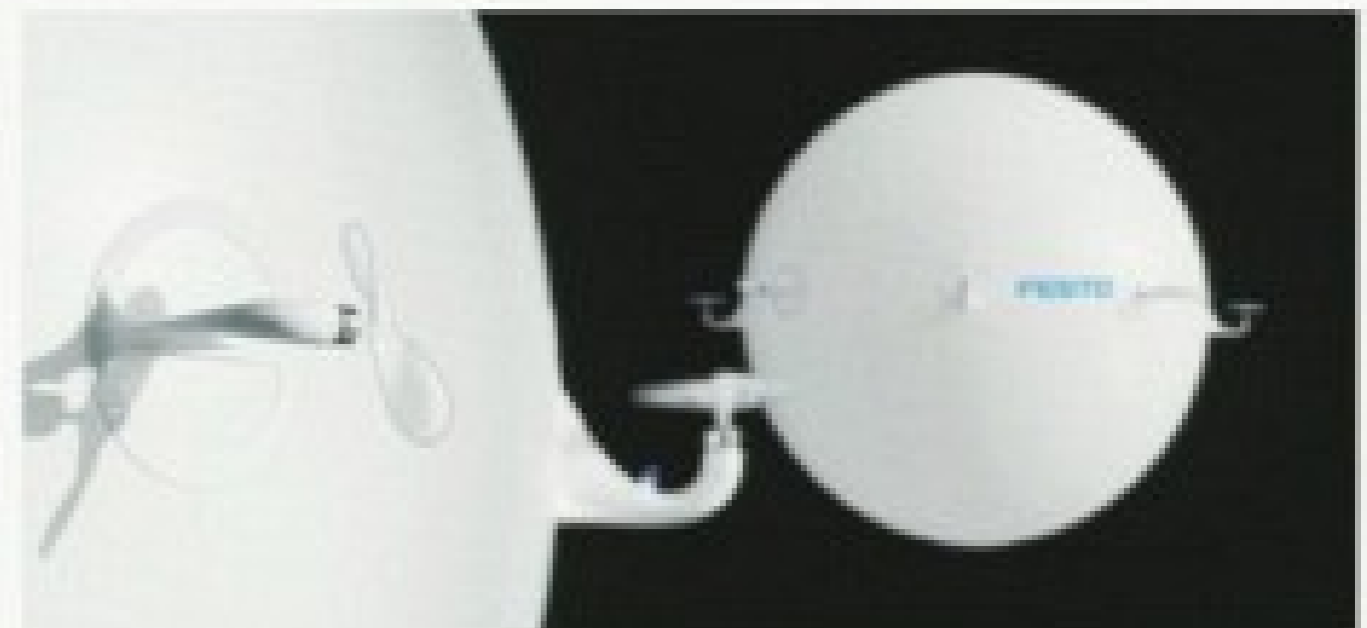
Flugobjekte mit bionischem Antrieb

Einzigartiges und effizientes Antriebssystem

Jede Kugel wird von 8 adaptiven Propellern angetrieben

Adaptive Propeller mit Profilveränderung

- Stabiler Rahmen, bespannt mit flexibler Membran
- Inspiriert vom Libellenflügel
- Weiterentwicklung vom BionicOpter
- Gleich effiziente Schubleistung in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung
- Umkehr der Schubrichtung nahezu ohne Verzögerung durch extremen Leichtbau



eMotionSpheres – Kollisionsfreies Bewegen autonomer Systeme im Raum

Indoor-GPS zur exakten Lokalisierung

- **Infrarottechnik:** Vier Infrarotmarker je Kugel dienen zur Kommunikation mit den Infrarotkameras
→ präzise Positionsbestimmung
- **Aktive Marker:** Große Raumabdeckung bei niedrigem Stromverbrauch
- **Energieeffizient:** Marker leuchten nicht permanent, sondern blitzen nur für eine Millisekunde
- **Lange Flugzeiten durch autonomes Aufladen**
- **Präzise Steuerung und Regelung**
Die Kugeln lassen sich bis auf einen Zentimeter genau in jede Raumrichtung steuern



eMotionSpheres – Kollisionsfreies Bewegen autonomer Systeme im Raum

Aspekte der **Fabrik der Zukunft**:

Autonomes und anpassungsfähiges Verhalten:

Es werden verstärkt intelligente und flexible Komponenten zum Einsatz kommen.

→ **Sichere Mensch-Maschine-Interaktion**

Durch ihre Prozesssicherheit, den konsequenten Leichtbau und die nachgiebigen Propeller sind die Flugobjekte ungefährlich.

Erkenntnisse für die Automatisierungstechnik

Indoor-GPS (Global Positioning System)

- Intelligente Logistik: Positionierungs- und Monitoringsystem von Produkten innerhalb der Fabrik
- Leitsystem von Mitarbeitern in Produktionshallen oder für Besucher auf Messen, in Museen oder bei großen Indoor-Veranstaltungen



eMotionSpheres – Kollisionsfreies Bewegen autonomer Systeme im Raum



eMotionSpheres – Kollisionsfreies Bewegen autonomer Systeme im Raum



eMotionSpheres – Kollisionsfreies Bewegen autonomer Systeme im Raum



BionicOpter – Inspiration Libellenflug



BionicOpter – Inspiration Libellenflug

Der Flug der Libelle ist einzigartig: Sie kann in alle Raumrichtungen manövrieren, in der Luft stehen bleiben und ganz ohne Flügelschlag segeln. Durch die Fähigkeit, ihre beiden Flügelpaare unabhängig voneinander zu bewegen, kann sie abrupt abbremsen und wenden, rasant beschleunigen und sogar rückwärts fliegen.

Körperlänge: 18 mm – 190 mm

Körpergewicht: 0.2 g

Gewicht eines Flügels: 2 mg

Minimale Flügeldicke: 3 μm

Höchstgeschwindigkeit: 54 km/h

Weitester Flug: 1000 km



BionicOpter – Inspiration Libellenflug

Libellenflug technisch umgesetzt

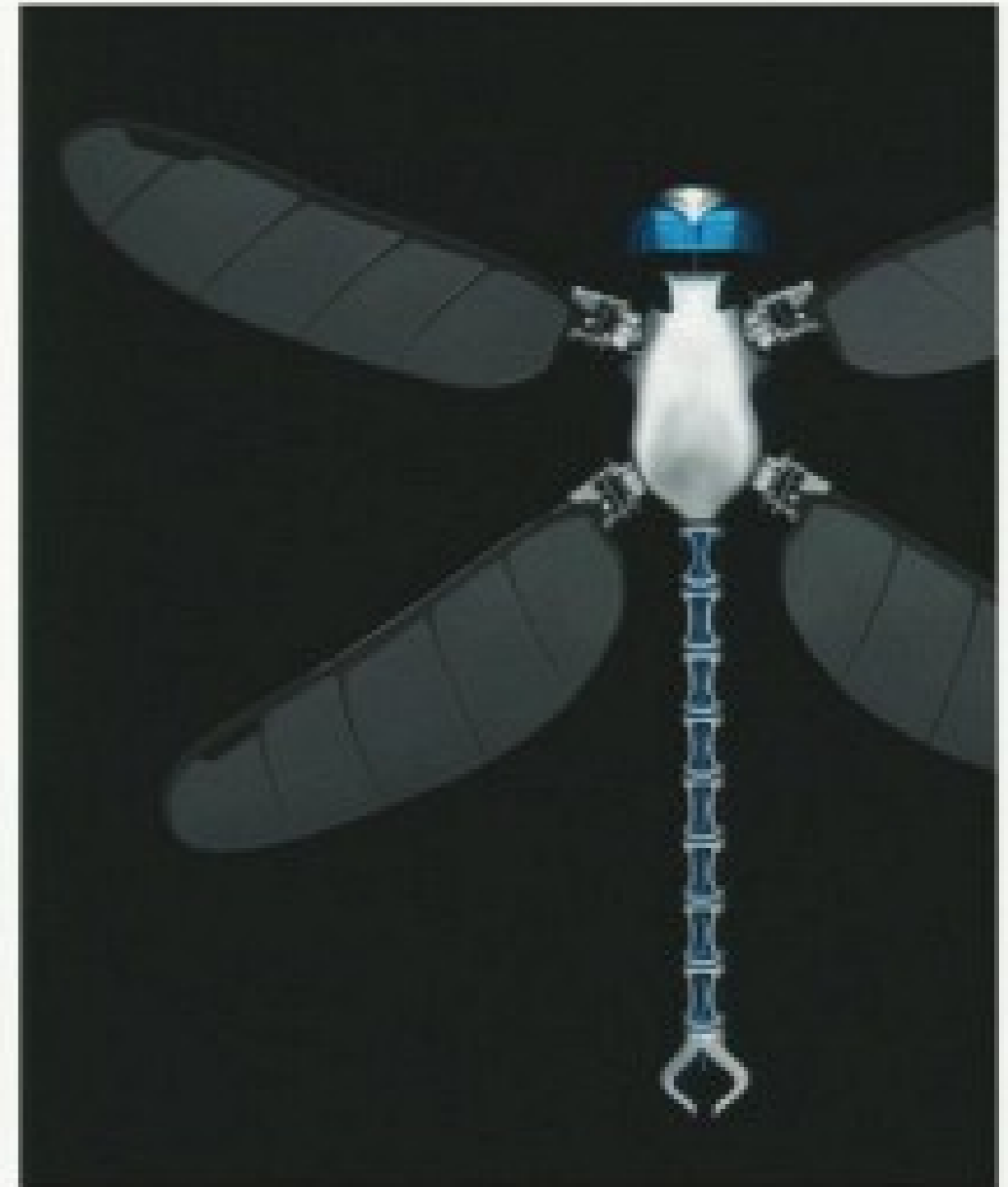
- BionicOpter kann, wie das natürliche Vorbild, in alle Raumrichtungen manövrieren, in der Luft stehen bleiben und wechselt mühelos von einem Flugzustand in den nächsten.
- BionicOpter kann abrupt abbremsen und wenden, rasant beschleunigen und sogar rückwärts fliegen.
- Alle Flügel können unabhängig voneinander bewegt werden.

Der BionicOpter ist ein „komplexes“, ultraleichtes, hochintegriertes Flugobjekt.



BionicOpter – Leichtbau und Funktionsintegration

- Flügelspannweite 63 cm
- Körperlänge 44 cm
- Gesamtgewicht 175 g
- Lasergesintertes Polyamid
- Aluminium
- Tiefgezogenes ABS Terpolymer

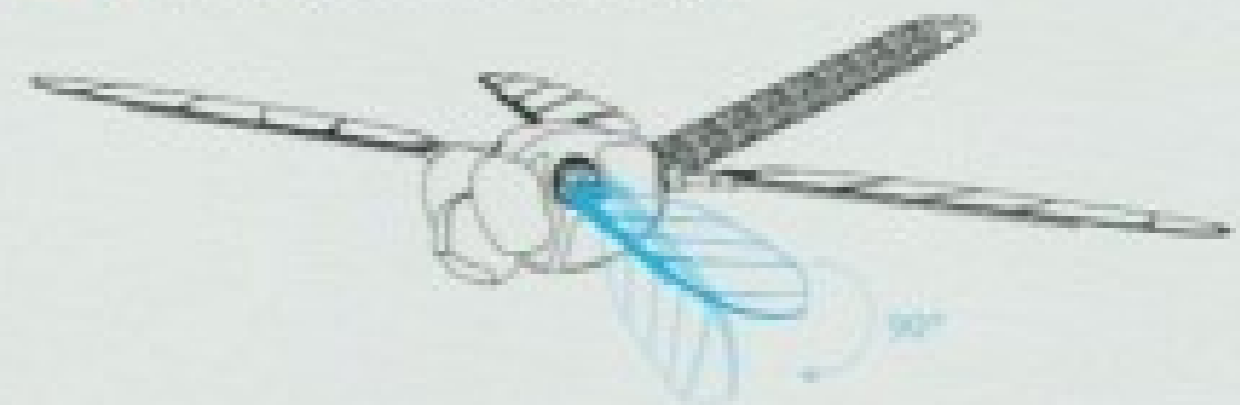


BionicOpter – Inspiration Libellenflug

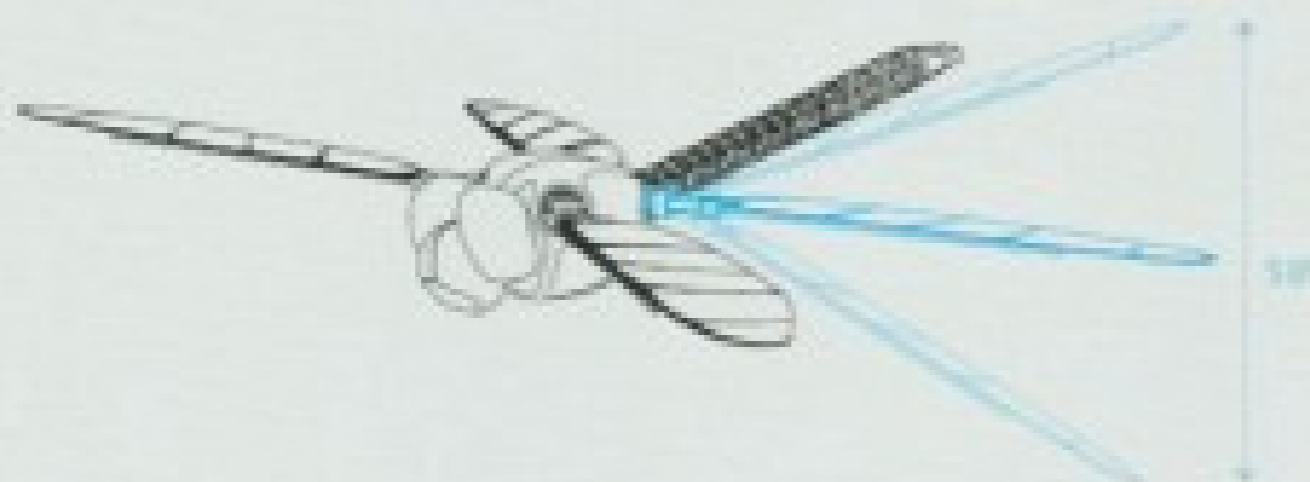
→ Schlagfrequenz aller Flügel



→ Verdrehung der einzelnen Flügel



→ Amplitudensteuerung der einzelnen Flügel



→ Bewegung von Kopf und Schwanz



BionicOpter – Intelligente Kinematik – Aktuierung der Flügel

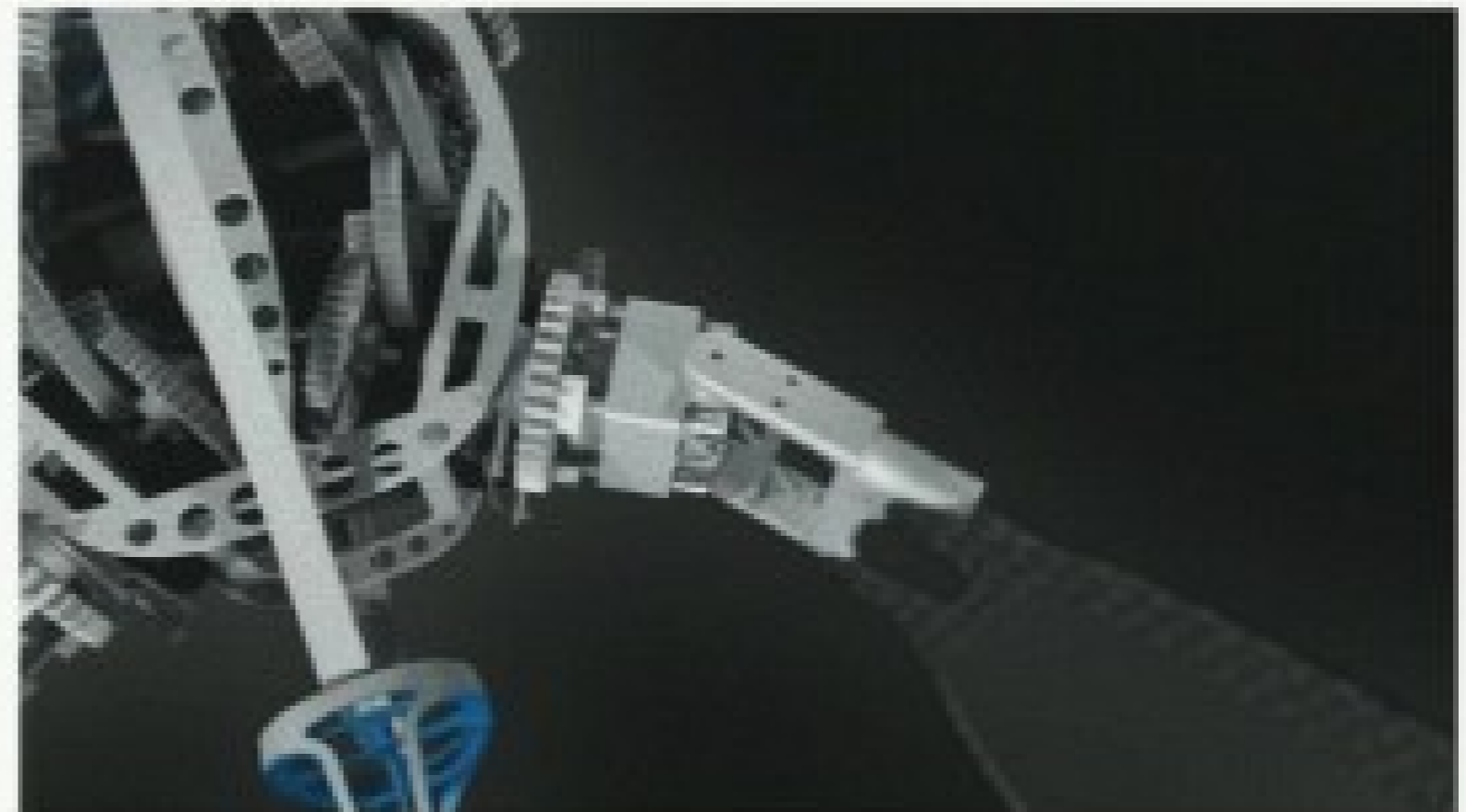
Die rotierende Bewegung des Motors muss in eine oszillierende Bewegung der Flügel übersetzt werden. Dazu wurde eine gekrümmte Kurbelwelle entwickelt.



Durch die Krümmung der Kurbelwelle kann die Amplitude des Flügelschlages verändert werden, indem der Druckpunkt der Kraftübertragung weiter nach innen oder außen verlagert wird.

Ein Servomotor verschiebt den Druckpunkt der Kraftübertragung aktiv.

Dadurch kann die Amplitude des Flügelschlages für jeden Flügel einzeln zwischen 80° und 130° verändert werden.



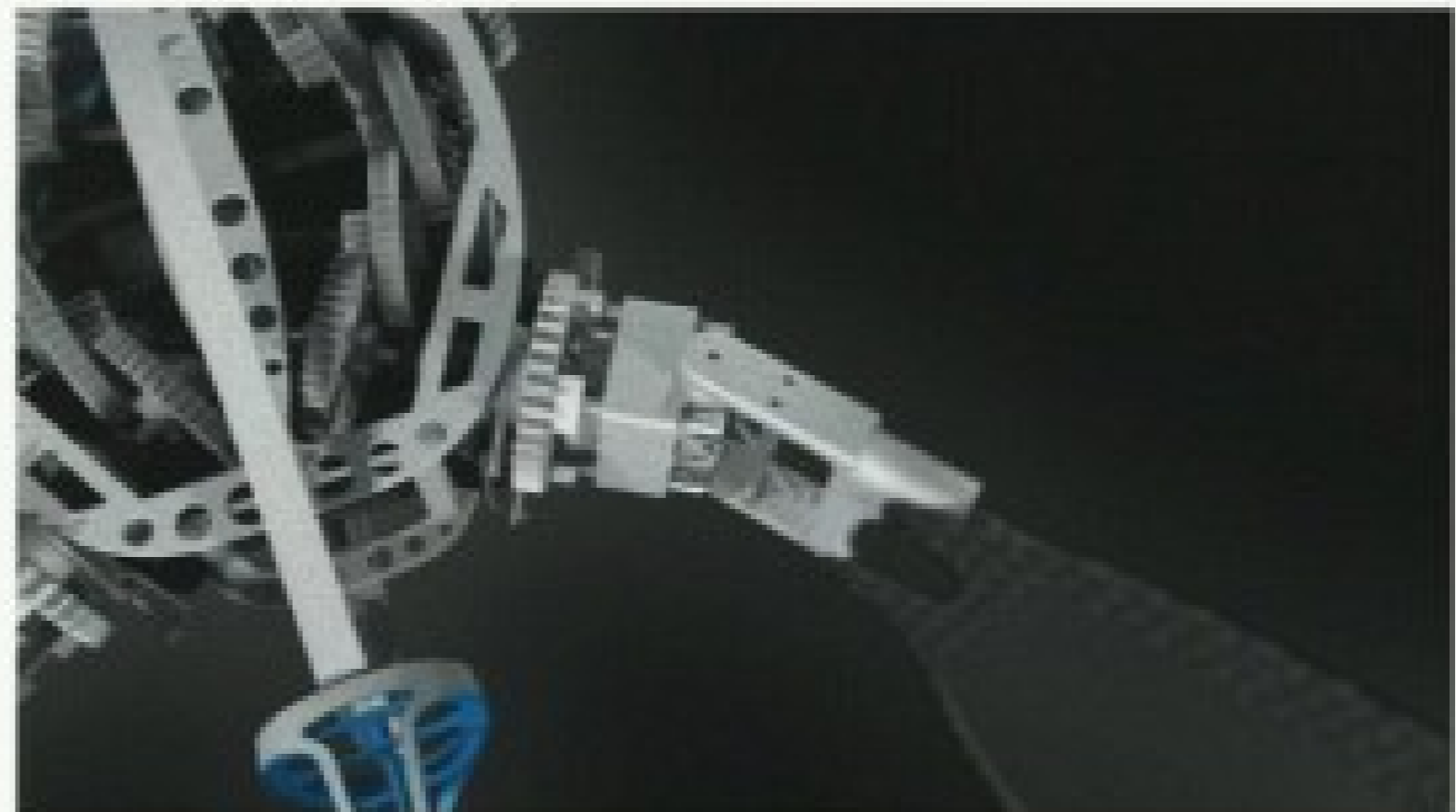
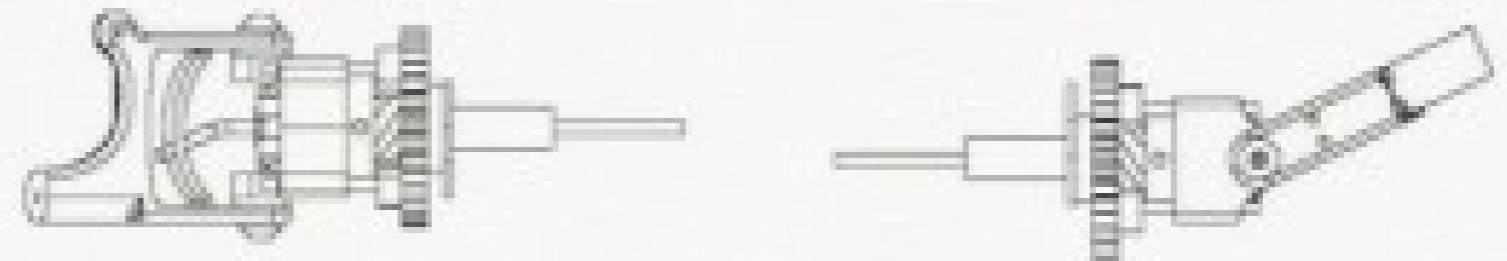
BionicOpter – Intelligente Kinematik – Aktuierung der Flügel

Die rotierende Bewegung des Motors muss in eine oszillierende Bewegung der Flügel übersetzt werden. Dazu wurde eine gekrümmte Kurbelwelle entwickelt.

Durch die Krümmung der Kurbelwelle kann die Amplitude des Flügelschlages verändert werden, indem der Druckpunkt der Kraftübertragung weiter nach innen oder außen verlagert wird.

Ein Servomotor verschiebt den Druckpunkt der Kraftübertragung aktiv.

Dadurch kann die Amplitude des Flügelschlages für jeden Flügel einzeln zwischen 80° und 130° verändert werden.

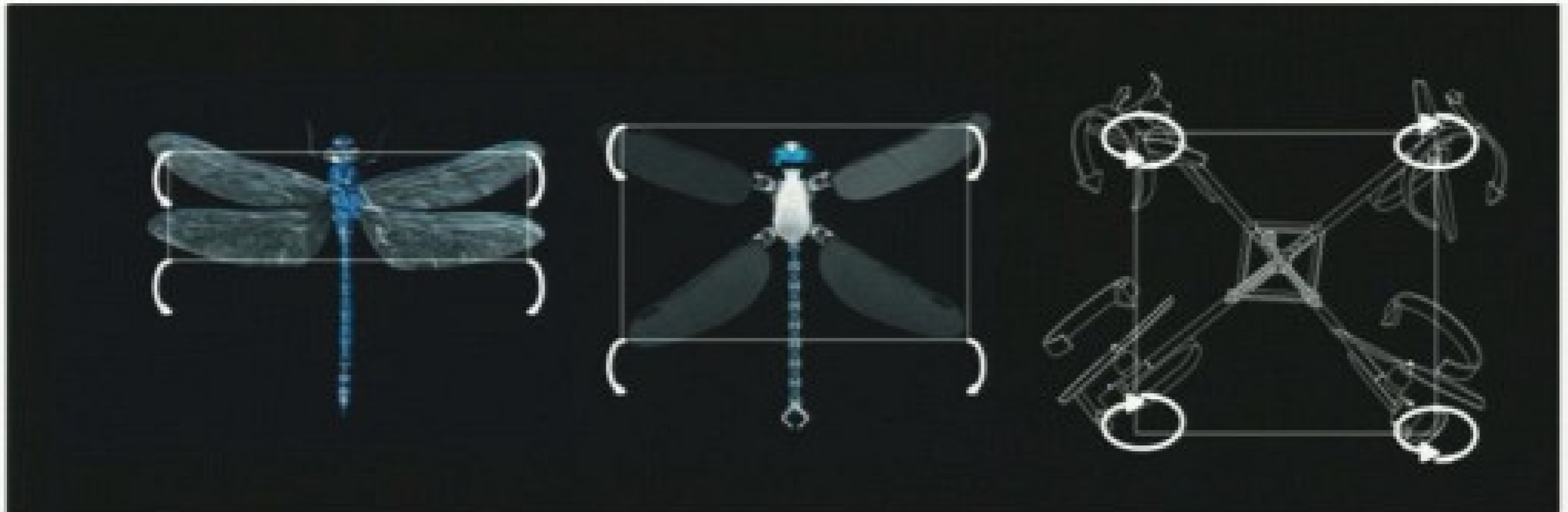


BionicOpter – Flügelstellung

Inspiziert vom Quadrocopter wurden die Flügel nicht parallel, sondern um 30° versetzt, montiert.

Bessere Kraftverteilung während des Vorwärtsfluges

- Flügel berühren sich fast vor dem Kopf beim Schweben
- MAV lässt sich leichter steuern



Danksagung

Projektinitiator:

Dr. Wilfried Stoll, geschäftsführender Gesellschafter, Festo Holding GmbH

Projekt Team Festo AG & Co. KG:

Elias Knubben, Dr. Heinrich Frontzek, Dr. Nina Gaissert, Johannes Stoll, Mart Moerdijk, Nadine Kärcher, Ruwen Kaminski, Dr. Rüdiger Neumann, Markus Fischer, Florian Mangold, Martin Timmer, Simon Nikolai Fröhlich, Felix Müller-Graf, Daniel Bauer, Daniel Strohhäcker, Xander Germann, Merlin Morlock, Teresa Martin

Dr. Alexander Hildebrandt, Andreas Gause, Valentin Falkenhahn, Uwe Neuhoff, Christian Mangler, Mattias Gehring, Roland Grau, Gerhard Bettinger, Reinhard Pittschellis, Dr. Dirk Pensky, Gebhard Munz, Andreas Risle, Klaus Müller-Lohmeier, Helmut Müller, Mattias-Manuel Speckle, Achim Mebert, Frank Braundgardt, Steffen Hülsmann, Martin Thomas Ehrle, Dr. Arne Rost, Marius Müller, Jan Averdung

Projektpartner:

Fa. JNTec, Fa. Aniprop, Fa. Effekt-Technik, Fa. RTLeaders, Fa. REC; Fa. Binder, Fa. EvoLogics, Dr. Werner Fischer

Fraunhofer IPA, CIN Tübingen, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; Paul Schatz Stiftung, Universität für künstlerische und industrielle Gestaltung Linz, Friedrich-Schiller-Universität Jena, TU Ilmenau, Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart, TU Berlin, Kunsthochschule Berlin-Weißensee, Technische Universität Hamburg-Harburg, Universität Stuttgart, TU Delft, University of Applied Sciences, Ravensburg-Weingarten, Universität Ulm



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Mehr Bionik finden Sie hier:

- www.festo.com/bionik
- Festo@Social Media

