

## BionicFlyingFox

Ultraleichtes Flugobjekt mit intelligenter Kinematik

**FESTO**



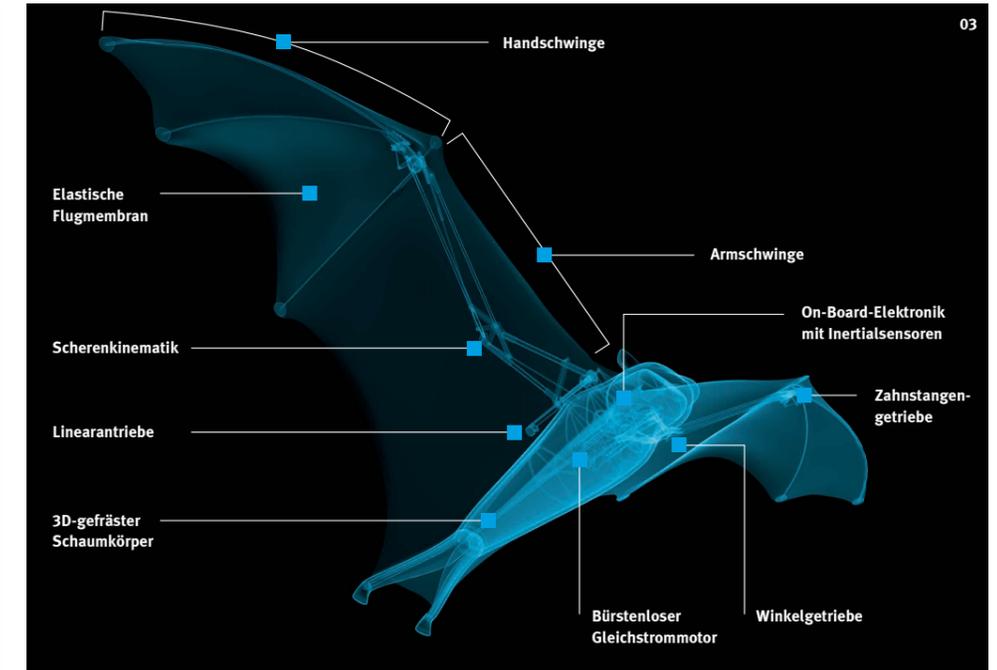
# BionicFlyingFox

## Teilautonome Flugmanöver nach natürlichem Vorbild

01: **Modernstes Motion-Tracking-System:** Die Kameras lassen sich schnell in Betrieb nehmen und können dem Flugobjekt dynamisch folgen.

02: **Einzigartiges Flugverhalten:** frei beweglich wie das natürliche Vorbild dank der elastischen Flughaut und einer intelligenten Kinematik.

03: **Raffinierte Konstruktion:** die im Rumpf verbaute On-Board-Elektronik im Zusammenspiel mit der Mechanik in den Flügeln.



Der Traum vom Fliegen ist einer der ältesten der Menschheit. Seit jeher schauen wir dabei mit Faszination auf die Tierwelt, die auf verschiedenste Art und Weise zeigt, wie es funktioniert. Auch im Bionic Learning Network ist das Fliegen ein immer wiederkehrendes Thema. Im Verbund mit Hochschulen, Instituten und Entwicklerfirmen entwirft Festo seit Jahren Forschungsträger, deren technische Grundprinzipien aus der Natur abgeleitet sind.

Für den BionicFlyingFox haben die Entwickler nun die speziellen Eigenschaften des Flughunds unter die Lupe genommen und sie mit einem ultraleichten Flugobjekt technisch umgesetzt. Bei einer Spannweite von 228 cm und einer Körperlänge von 87 cm wiegt der künstliche Flughund lediglich 580 Gramm.

### Das natürliche Vorbild: fliegen ohne Federn

Der Flughund zählt zur Ordnung der Fledertiere – die einzigen Säugtiere, die aktiv fliegen können. Ein besonderes Kennzeichen ist ihre feine und elastische Flughaut. Die Membran besteht aus Ober- und Lederhaut und erstreckt sich von den verlängerten Mittelhand- und Fingerknochen bis zu den Fußgelenken.

Beim Fliegen steuern die Tiere mit ihren Fingern gezielt die Wölbung der Flugmembran und können sich so aerodynamisch und wendig durch die Luft bewegen. Dadurch erzielen sie einen maximalen Auftrieb, auch bei langsamen Flugmanövern.

### Agile Kinematik

Um dem natürlichen Flughund so nahe wie möglich zu kommen, ist die Flügelkinematik des BionicFlyingFox ebenfalls in Arm- und Handschwinge gegliedert und mit einer elastischen Haut bespannt, die sich von den Flügeln bis zu den Füßen fortsetzt. Wie beim biologischen Vorbild liegen alle Gelenkpunkte auf einer Ebene, sodass der künstliche Flughund seine Flügel einzeln ansteuern und zusammenfalten kann.

Damit sich der BionicFlyingFox in einem definierten Luftraum teilautonom bewegen kann, kommuniziert er mit einem so genannten Motion-Tracking-System. Die Installation erfasst permanent seine Position. Gleichzeitig plant das System die Flugbahnen und liefert die dazu nötigen Steuerbefehle. Start und Landung führt der Mensch aus. Im Flug übernimmt ein Autopilot.

### Bewegliches Kamerasystem für eine exakte Lokalisierung

Wichtiger Bestandteil des Motion-Tracking-Systems sind zwei Infrarotkameras, die auf einer Schwenk-Neige-Einheit (engl. pan-tilt unit) sitzen. Dadurch lassen sie sich so drehen und kippen, dass sie den gesamten Flug des BionicFlyingFox vom Boden aus verfolgen können. Die Kameras erkennen den Flughund dabei anhand von vier aktiven Infrarotmarkern, die an den Beinen und den Flügelspitzen angebracht sind.

### Maschinelles Erlernen der idealen Flugbahn

Die Bilder der Kameras gehen an einen zentralen Leitreechner. Er wertet die Daten aus und koordiniert den Flug wie ein Fluglotse von außen. Dazu liegen auf dem Rechner vorprogrammierte Pfade, die dem BionicFlyingFox bei seinen Manövern die Flugbahn vorgeben. Die nötigen Flügelbewegungen, um die Sollbahnen optimal umzusetzen, berechnet der künstliche Flughund mithilfe seiner On-Board-Elektronik und komplexer Verhaltensmuster selbst. Die dafür notwendigen Regelalgorithmen erhält der Flughund vom Leitreechner, wo sie maschinell erlernt und permanent verbessert werden.

Dadurch kann der BionicFlyingFox sein Verhalten während der Flüge optimieren und so die vorgegebenen Bahnen von Runde zu Runde präziser nachfliegen.

Die Steuerung erfolgt dabei über die Bewegung der Beine und der damit veränderbaren Flügelgröße. Die elastische Flughaut zieht sich über die komplette Rückseite des bionischen Modells – von den Fingerspitzen bis zu den Füßen. Dadurch ist die Flügelgröße vergleichsweise groß und erlaubt eine geringe Flächenbelastung.

### Antrieb mit ausgeklügelter Hebelmechanik

Die Arm- und Handschwinge lassen sich in jedem Zustand so ansteuern, dass sich die Flügel harmonisch und nahezu rüttelfrei bewegen. Dafür ist die Handschwinge an die Armschwinge gekoppelt und folgt dieser aufgrund einer Zwangskinematik, wodurch Totpunkte in der Bewegung vermieden werden. Ein neun Gramm leichter, bürstenloser Gleichstrommotor im Rumpf des Flughunds treibt diese Flügelkinematik mittels Getriebeübersetzung an. Der Faltsmechanismus der Flügel lässt sich individuell über zwei kleine Linearantriebe stufenlos einstellen.

## BionicFlyingFox

Agile Flugmanöver nach natürlichem Vorbild



### Besonderheiten von Flughunden

Flughunde (englisch: flying foxes) sind eng mit Fledermäusen verwandt, gemeinsam bilden sie die Ordnung der Fledertiere. Im Gegensatz zu ihren Artverwandten orientieren sie sich jedoch nicht per Ultraschall, sondern mithilfe ihrer großen Augen. Ihren Namen verdanken die Tiere ihrer Kopfform, die im Aussehen der eines Hundes bzw. eines Fuchses ähnelt. Ein weiteres Kennzeichen ist ihre feine und elastische Flugmembran, die sich von den verlängerten Mittelhand- und Fingerknochen bis zu den Fußgelenken erstreckt. In Schlaf- oder Ruhezeiten legen die Tiere ihre Flügel an und hängen kopfüber an den hinteren Zehen – eine optimale Fluchtposition, um bei drohender Gefahr schnell und wendig davonfliegen zu können.

### Technischer Nutzen für Festo

Auch der BionicFlyingFox beherrscht trotz seiner großen Spannweite enge Flugradien. Möglich macht das seine ausgetüftelte Kinematik. Sie funktioniert nach dem Scherenprinzip. Die Handschwinge klappt sich beim Aufschwung ein und breitet sich zum kraftvollen Abschwung wieder aus. Dieser Effekt wird durch einen ausgeklügelten Mechanismus erzielt: Die Winkel- und Zahnstangengetriebe setzen die Flügelbewegung mithilfe einer Zwangskinetik synchron um. Anhand der Inertialsensoren auf der On-Board-Elektronik können die Flugmanöver überwacht und gegebenenfalls mit entsprechenden Steuersignalen korrigiert werden.

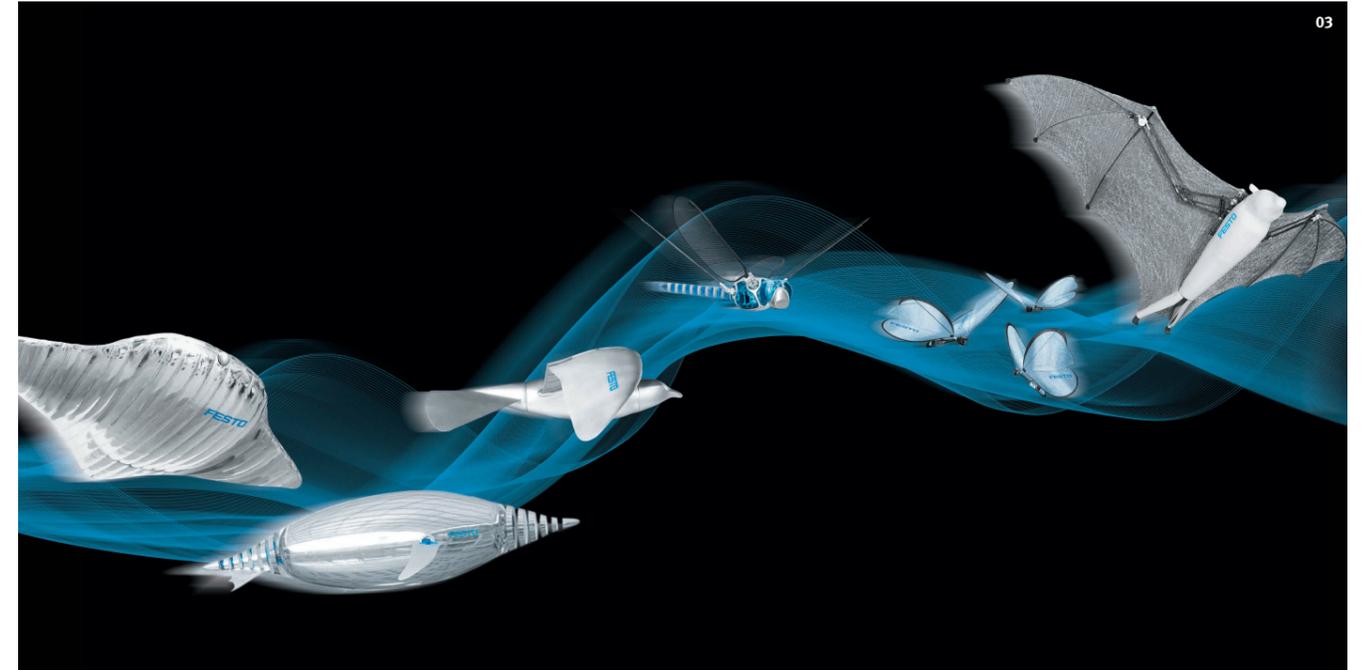
# BionicFlyingFox

## Der Natur auf die Flügel geschaut

01: **Robuste Flughaut:** Die Wabenstruktur des Gestricks verleiht der ultraleichten Membran die nötige Stabilität.

02: **Permanente Kommunikation:** der BionicFlyingFox im ständigen Austausch mit dem Motion-Tracking-System.

03: **Bionische Flugobjekte:** von Air\_ray und AirPenguin über SmartBird, Bionic-Opter und eMotionButterflies zum Bionic-FlyingFox.



Seine Agilität verdankt der künstliche Flughund neben der ausgefüllten Kinematik auch seiner Leichtbauweise und dem cleveren Materialeinsatz: Sein Körper ist aus Schaumstoff; das Skelett besteht aus gefrästen Carbonstäben und 3D-gedruckten Teilen.

### Speziell entwickelte Flugmembran

Die Flughaut des Modells ist hauchdünn, ultraleicht und gleichzeitig robust. Sie besteht aus zwei luftdichten Folien und einem Elastan-Gestrück, die an circa 45.000 Punkten miteinander verschweißt sind. Aufgrund ihrer Elastizität bleibt sie auch beim Einziehen der Schwingen nahezu faltenfrei. Die Wabenstruktur des Gestricks verhindert, dass kleine Risse in der Flughaut sich weiter vergrößern. Damit kann der BionicFlyingFox selbst bei leichten Beschädigungen des Gewebes weiterfliegen.

Der Fokus liegt beim künstlichen Flughund wie bei seinem biologischen Vorbild auf Leichtbaustrukturen. Denn in der Technik wie in der Natur gilt: Je weniger Gewicht zu bewegen ist, desto geringer ist der Energieverbrauch. Zudem spart Leichtbau im Aufbau Ressourcen.

### Impulse für die Produktion der Zukunft

Auch für die industrielle Automatisierung liefert der künstliche Flughund wichtige Erkenntnisse. In der Produktion der Zukunft verteilt sich die Intelligenz von der zentralen Steuerung in die Subsysteme und Komponenten. Sogar einzelne Werkstücke werden intelligent und wissen, welches Produkt aus ihnen entstehen soll. Dementsprechend können sie mit den Maschinen kommunizieren und ihnen mitteilen, wie sie bearbeitet werden müssen.

### Dezentrale Intelligenz und Machine Learning

Beim BionicFlyingFox ist die Intelligenz ebenfalls dezentral verteilt: Der Leitcomputer gibt die Flugbahnen und die Steuerbefehle vor. Während des Flugs vergleicht er die von ihm berechneten Sollbahnen mit den tatsächlichen und passt diese durch Machine Learning immer besser an. Daher genügt es, der Steuerungselektronik zu Beginn ein rudimentäres Wissen einzuprogrammieren. Aus den Berechnungen leitet sich der künstliche Flughund selbst die entsprechenden Idealeinstellungen seiner Kinematik ab: Er erkennt, wie er die Flügel und Beine steuern muss, um die Befehle des Leitrechners optimal umzusetzen.

### Fliegen im Bionic Learning Network

Der BionicFlyingFox fügt sich in eine Reihe von Flugobjekten ein, die bereits aus dem Bionic Learning Network hervorgegangen sind. Zu Beginn tauchten die Entwickler unter Wasser ab und untersuchten verschiedene biologische Vorbilder, die zwar nicht fliegen können, sich aber dennoch per Flügelschlag fortbewegen.

Dank seiner Leichtbauweise, dem Auftrieb durch Helium und dem Schlagflügelantrieb bewegt sich der Air\_ray von 2007 durch die Luft wie der echte Mantarochen durchs Wasser. Die AirPenguins von 2009 können im Kollektiv fliegen und erkunden autonom einen definierten Luftraum. Dabei kommen ihre Flugbewegungen der Schwimmtechnik ihrer natürlichen Vorbilder sehr nahe.

### Vogelflug entschlüsselt: Auftrieb ohne Helium

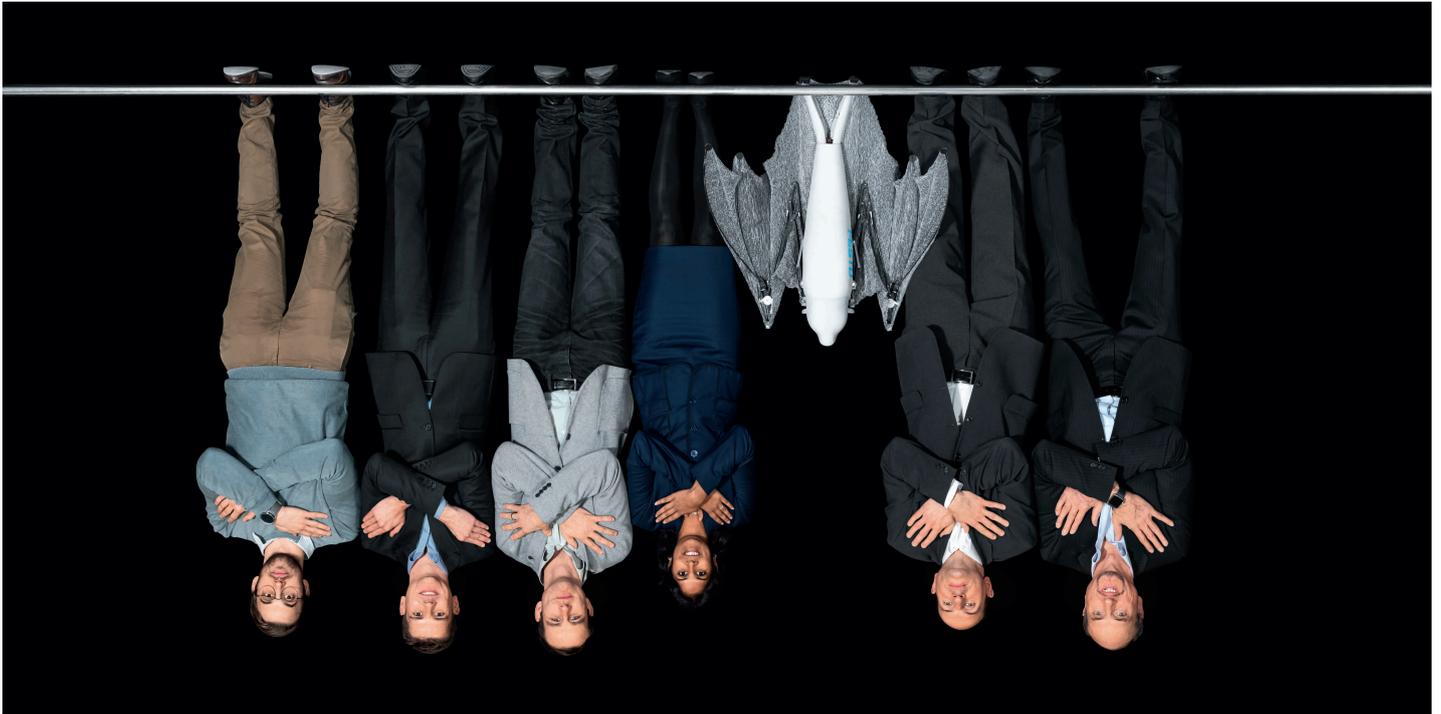
Der SmartBird von 2011 ist von der Silbermöwe inspiriert. Waren die ersten bionischen Flugobjekte noch mit Helium gefüllt, konnte der SmartBird mit seinem Schlagflügel gleichzeitig für Vortrieb und den nötigen Auftrieb sorgen. Mit dieser Funktionsintegration war der Vogelflug technisch entschlüsselt.

### Fliegen wie Libelle und Schmetterling

2013 hat Festo mit dem BionicOpter das hochkomplexe Flugverhalten der Libelle umgesetzt. Dank der verbauten Steuerungselektronik kann das ultraleichte Flugobjekt wie sein biologisches Vorbild in alle Richtungen manövrieren, auf der Stelle fliegen und ganz ohne Flügelschlag segeln. Dabei kann die Libelle nahezu jede Lageorientierung im Raum einnehmen.

Auch die eMotionButterflies von 2015 beherrschen die schnellen Bewegungen ihres natürlichen Vorbilds mit Hilfe ihrer intelligenten On-Board-Elektronik. Damit sich die künstlichen Schmetterlinge dabei aufeinander abgestimmt im Kollektiv bewegen, werden sie – wie der BionicFlyingFox nun auch – anhand ihrer Infrarotmarker erfasst und von einem externen Motion-Tracking-System koordiniert.

Mit dem künstlichen Flughund hat Festo nun die einzigartige Kinematik von Fledertieren technisch umgesetzt und damit im Rahmen des Bionic Learning Network auch das letzte Flugverhalten aus der Tierwelt entschlüsselt.



#### Technische Daten

- Spannweite: ..... 228 cm
- Körperlänge: ..... 87 cm
- Gewicht: ..... 580 g

#### Verwendete Materialien:

- Flügelstruktur: ..... Carbonfaser
- Flügelfläche: ..... Elastan-Gestrick mit punktuell verschweißter  
..... PE-Folie, circa 45.000 Schweißpunkte
- Körpergehäuse: ..... Schaumstoff, gefräst

#### Integrierte Komponenten:

- Motor: ..... Brushless-Motor, 40 Watt
- Aktive Marker: ..... 4 Infrarot-LEDs

#### Motion-Tracking-System:

- 2× Infrarotkamera
- Framerate: ..... 160 Bilder pro Sekunde
- 1× zentraler Leitrechner
- 1× Schwenk-Neige-Einheit (pan-tilt unit)

#### Projektbeteiligte

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

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

Konzeption und Fertigung:  
Rainer Mugrauer, Günter Mugrauer,  
Airstage by Effekt-Technik GmbH, Schlaitdorf

Elektronik and Integration:  
Kristof Jebens,  
JNTec GbR, Stuttgart

Motion-Tracking-System:  
Agalya Jebens,  
SkySpirit GmbH, Stuttgart

#### 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)