

**BionicOpter**

**FESTO**



**Inspiration  
Libellenflug**

# Leichtbaukonstruktion mit intelligenter Kinematik



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.

## Fliegen wie das natürliche Vorbild

Mit dem BionicOpter hat Festo diese hochkomplexen Eigenschaften in einem ultraleichten Flugobjekt technisch umgesetzt. Erstmals beherrscht ein Modell mehr Flugzustände als Hubschrauber, Motor- und Segelflugzeuge zusammen.

Zusätzlich zur Steuerung der Schlagfrequenz und der Verdrehung der einzelnen Flügel kommt in jedem der vier Flügel eine Amplitudensteuerung zum Einsatz. In Kombination lassen sich so alle vier Flügel individuell in Schubrichtung und Schubstärke einstellen, sodass die ferngesteuerte Libelle nahezu jede Lageorientierung im Raum einnehmen kann. Mit ihrer intelligenten Kinematik gleicht sie Flugvibrationen aus und garantiert – indoor wie outdoor – einen stabilen Flug.

## Funktionsintegration auf engstem Raum

Ermöglicht wird das einmalige Flugverhalten durch den Leichtbau der künstlichen Libelle und ihre Funktionsintegration: Sowohl Bauteile wie Sensoren, Aktoren und Mechanik als auch Kommunikations-, Steuerungs- und Regelungstechnik sind auf engstem Raum verbaut und aufeinander abgestimmt.

## Hochkomplexes System einfach zu bedienen

Dennoch lässt sich das hochintegrierte System einfach und intuitiv per Smartphone bedienen. Software und Elektronik regeln die Flügelbewegung durch Schlagfrequenz, Amplitude und Schwenkwinkel – der Pilot muss nur die Libelle an sich lenken, nicht aber die komplexen Bewegungsabläufe koordinieren.

## Neue Impulse durch die Bionik

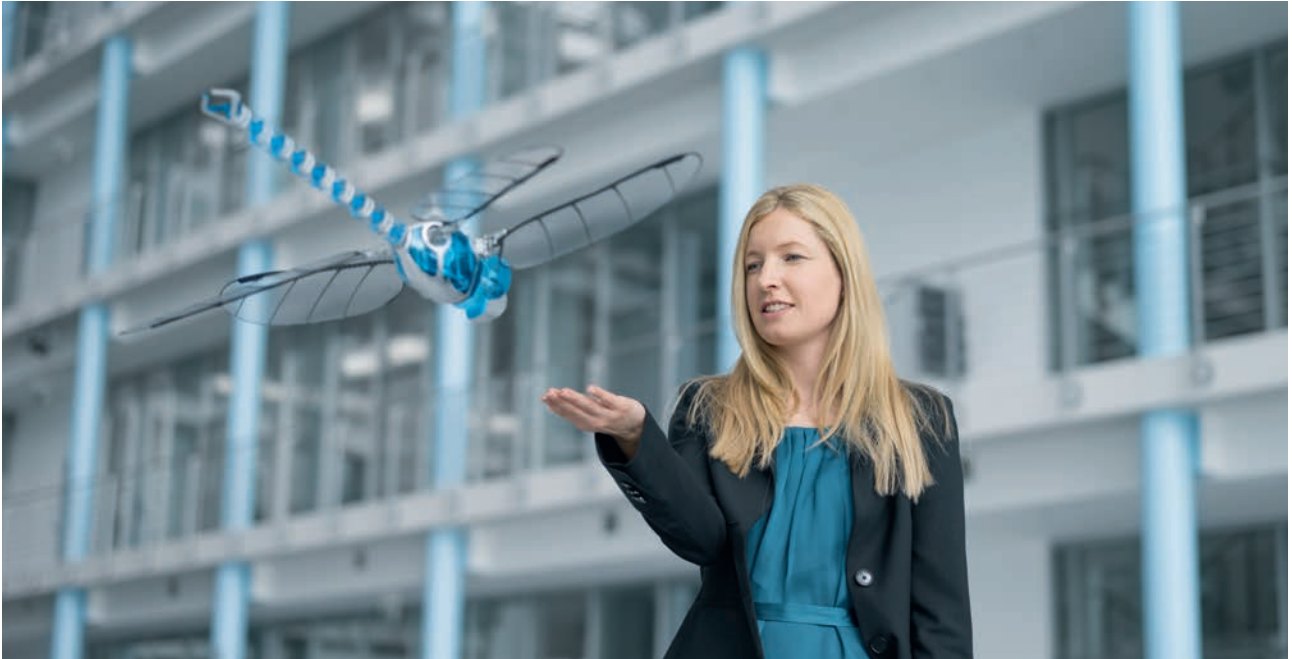
Entstanden ist der BionicOpter im Rahmen des Bionic Learning Network. Im Verbund mit Hochschulen, Instituten und Entwicklungsfirmen entwickelt und fördert Festo seit Jahren Projekte und Versuchsträger, deren technische Grundprinzipien aus der Natur abgeleitet sind.



Von der Natur inspiriert: Das komplexe Flügelschlagprinzip der Libelle ...



... erstmals technisch realisiert im BionicOpter von Festo



**Faszinierend:** Wie ihr natürliches Vorbild kann die künstliche Libelle in alle Raumrichtungen fliegen

Ob Energieeffizienz oder Leichtbau, Funktionsintegration oder die Fähigkeit zu lernen und zu kommunizieren – im Laufe der Evolution hat die Natur unterschiedlichste Optimierungsstrategien zur Anpassung an ihre Umwelt entwickelt, die sich auf die Technik übertragen lassen.

Nach der Entschlüsselung des Vogelflugs mit dem SmartBird stellen sich die Entwickler der nächstgrößeren Herausforderung: der technischen Umsetzung der Libelle – mit noch mehr Funktionen bei noch weniger Gewicht.

#### **Konsequenter Leichtbau in allen Teilen**

Bei einer Spannweite von 63 cm und einer Körperlänge von 44 cm wiegt die künstliche Libelle lediglich 175 Gramm. Die Flügelkonstruktion besteht aus einem Kohlefaserrahmen und einer dünnen Folienbespannung. Die Struktur ist aus elastischem Polyamid und Terpolymer. Sie macht das Gesamtsystem flexibel, ultraleicht und dennoch robust. Im kleinen Brustkorb sind die Batterie, neun Servomotoren und ein leistungsstarker ARM-Mikrocontroller ebenso auf engstem Raum verbaut wie die Sensoren und Funkmodule.

#### **Dynamisches Flugverhalten in alle Raumrichtungen**

Auf und ab, vorwärts, rückwärts und zur Seite: Mit seiner Schlagflügelkonstruktion kann der BionicOpter in alle Raumrichtungen fliegen und wie ein Hubschrauber auf der Stelle schweben. Im Gegensatz zu einem Helikopter muss die eigenstartfähige Libelle jedoch nicht nach vorne kippen, um gleichzeitig Vorwärtsschub zu erzeugen. Dadurch kann sie auch horizontal fliegen und wie ein Segelflugzeug gleiten.

#### **Steuerung und Regelung an Bord**

All diese Manöver lassen sich einfach per Smartphone ausführen. Die Fernsteuerung überträgt dabei lediglich die Signale, in welche Richtung sich das Objekt mit welcher Geschwindigkeit bewegen soll. Alle Parameter, die in der Mechanik einstellbar sind, berechnet der Mikrocontroller aufgrund der erfassten Flugdaten und der Vorgaben des Piloten.

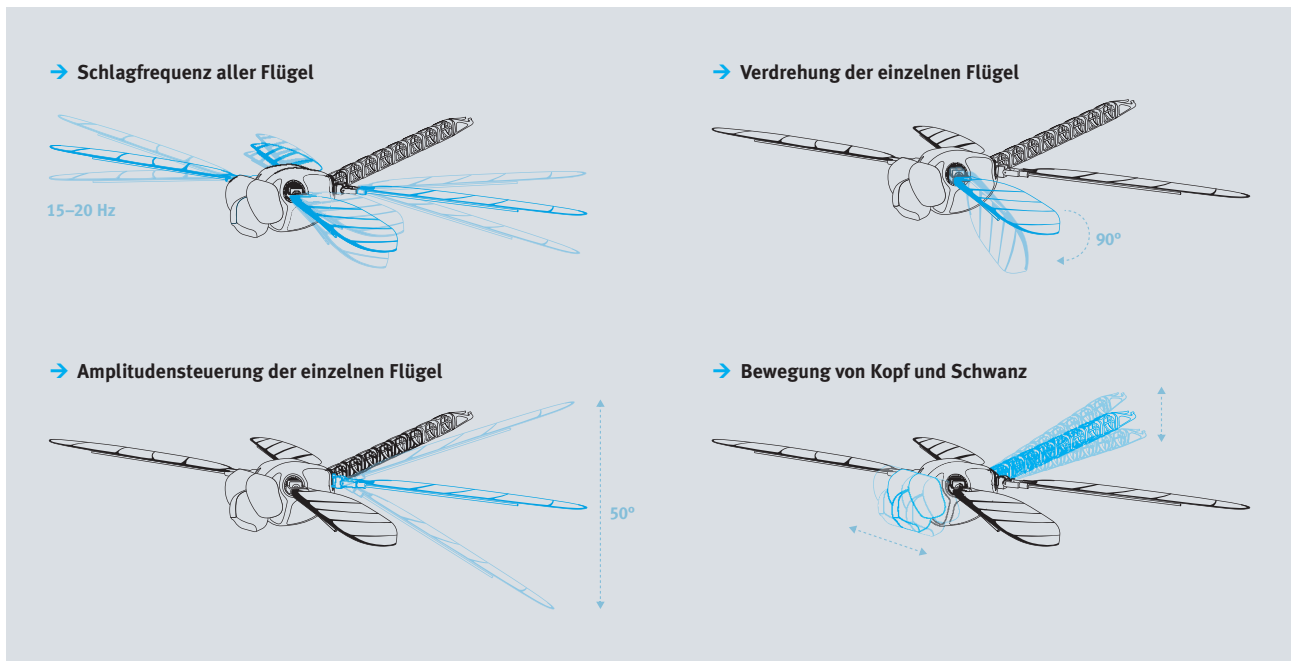
Mit diesen Parametern steuert der Prozessor die neun Servomotoren an, um die Bewegung mittels Schlagfrequenz, Schwenkeinrichtung und Amplitudensteuerung umzusetzen.



**Frei beweglich:** Auch die aufwendigsten Flugmanöver ...



... lassen sich einfach und intuitiv bedienen



**Individuell angesteuert:** Mit den neun Freiheitsgraden der Flügel lässt sich jeder von ihnen gezielt einstellen und bewegen

### Dreizehn Freiheitsgrade für einmalige Flugmanöver

Ein Motor im unteren Teil des Gehäuses übernimmt dabei den Antrieb für die gemeinsame Schlagfrequenz der vier Flügel, die zwischen 15 und 20 Hz regelbar ist (1. Freiheitsgrad).

Wie bei der echten Libelle lassen sich die Flügel des BionicOpter von horizontal auf vertikal schwenken. Dabei wird jeder der vier Flügel von einem Servomotor individuell angesteuert und bis zu 90 Grad verdreht (2., 3., 4., 5. Freiheitsgrad).

Vier Motoren an den Flügelgelenken steuern die Amplituden. Durch eine Linearverschiebung in der Flügelwurzel wird die integrierte Kurbelmechanik stufenlos so eingestellt, dass der Ausschlag zwischen ca. 80 und 130 Grad variiert (6., 7., 8., 9. Freiheitsgrad).

Das Schwenken der Flügel bestimmt die Schubrichtung. Mit der Amplitudensteuerung lässt sich die Stärke des Schubs regulieren. Durch die Kombination von beidem kann die Libelle auf der Stelle fliegen, rückwärts manövrieren und vom Schwebeflug stufenlos in den Vorwärtsflug übergehen.

Hinzu kommen vier weitere Freiheitsgrade in Kopf und Schwanz. Hierfür sind im Körper der Libelle vier elektrische Muskeln aus Nitinol verbaut. Die so genannten Shape-Memory-Alloys (SMAs) ziehen sich bei Wärme zusammen und dehnen sich beim Abkühlen wieder aus. Durch Stromzufuhr erhält man so eine ultraleichte Aktorik, die den Kopf horizontal und den Schwanz vertikal bewegt (10., 11., 12., 13. Freiheitsgrad).

### Prozesssicherheit durch Condition Monitoring

Um das Flugobjekt zu stabilisieren, werden während des Flugs permanent die Daten von Flügelposition und Flügeldrehung in Echtzeit erfasst und ausgewertet. Mithilfe der Inertialsensorik lassen sich die Beschleunigung und der Neigungswinkel des BionicOpter im Raum messen. Die integrierten Lage- und Beschleunigungssensoren erkennen Geschwindigkeit und Raumrichtung des Libellenflugs.

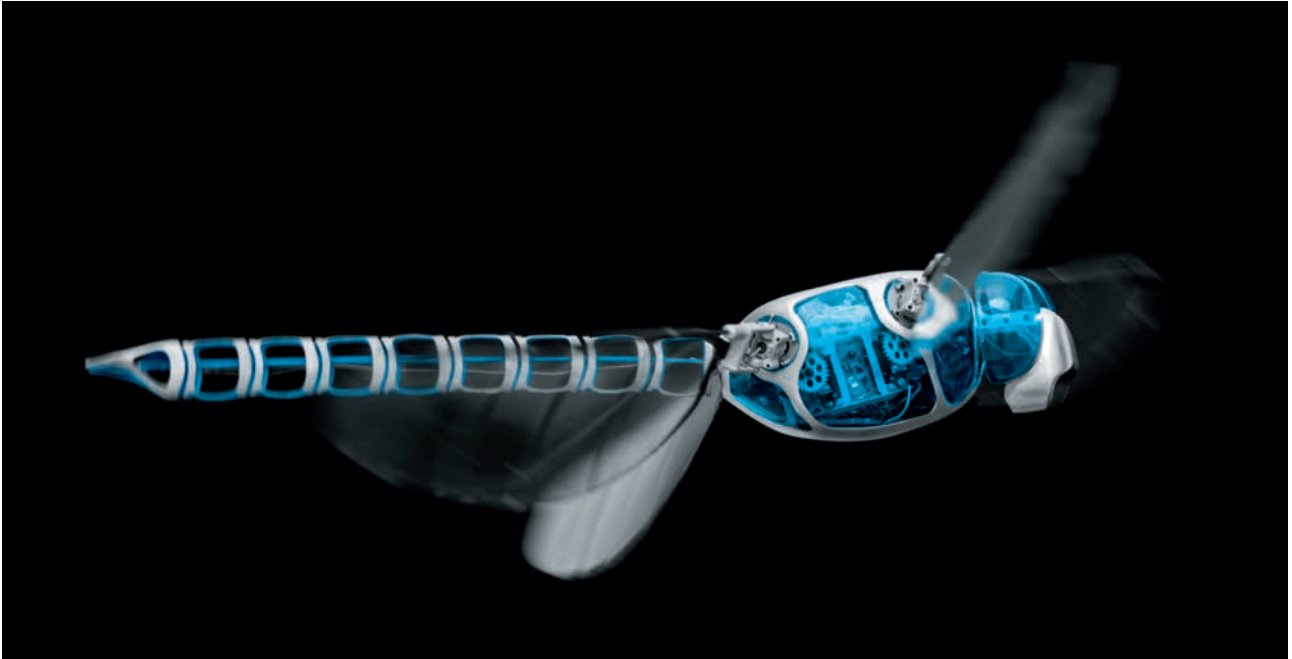
Ob bei bionischen Flugobjekten oder im industriellen Alltag: Das Prinzip der permanenten Diagnose ist für Festo ein Garant für Betriebssicherheit und Prozessstabilität.



**Betriebssicher:** Flugstabilität durch permanente Datenerfassung ...



... und Diagnose in Echtzeit



**Intelligent kombiniert:** Das Zusammenspiel von Steuerungs- und Regelungstechnik ermöglicht dem Flugobjekt nahezu jede Lage im Raum

Als weltweiter Anbieter von pneumatischer und elektrischer Automatisierungstechnik ist es die Kernkompetenz von Festo, die Produktions- und Arbeitswelten der Zukunft mitzugestalten und seinen Kunden innovative Lösungen für Produktionssysteme von morgen und übermorgen anzubieten.

#### **Intelligente Produkte durch digitale Veredelung**

In der Vision von der Produktion der Zukunft ist Vernetzung allgegenwärtig. Die zentrale Fabriksteuerung wird sich evolutionär weiterentwickeln und zugleich werden die Möglichkeiten der dezentralen Selbstorganisation zunehmend eingesetzt.

Aufgaben, die heute noch der zentrale Leitrechner innehat, werden in Zukunft von Komponenten übernommen. Das einzelne Werkstück bestimmt dann selbst, welche Leistungen es von der Fabrikanlage abrufen wird. Durch diese digitale Veredelung werden zunehmend intelligente Produkte entstehen, die den Produktionsprozess dank erhöhter Funktionalität auf kleinstem Bauraum – von der autarken Energieversorgung bis hin zu Condition Monitoring – aktiv unterstützen können.

#### **Hochintegriertes bionisches Modell**

Mit dem Bioniopter veranschaulicht Festo diese Aspekte der Funktionsintegration und Miniaturisierung. Darüber hinaus demonstriert die ferngesteuerte Libelle die kabellose Echtzeitkommunikation, den permanenten Austausch von Informationen, das Zusammenführen verschiedener Sensorauswertungen sowie das Erkennen komplexer Ereignisse und kritischer Zustände. Ansätze dazu bietet zum Beispiel derzeit bereits das Konzept der Integrated Automation von Festo auf Basis der Automatisierungsplattform CPX.

Das elektrische Terminal CPX für Ventilinseln bietet heute schon mehr als nur den Anschluss der Feld- an die Leitebene. Es ist diagnosefähig und kann Aufgaben des Condition Monitoring übernehmen. Es verknüpft mit seinen einzelnen Modulen die Ansteuerung pneumatischer Zylinder über die modularen Ventilinseln MPA und VTSA mit den Motion-Controllern für elektrische Antriebe. Ebenfalls integriert es Safety-Funktionen. Damit kann man auf Diagnosewerte zugreifen, Fehler schnell lokalisieren und betroffene Module austauschen.



**Ultraleicht gebaut:** minimales Eigengewicht ...



... trotz einer Vielzahl an Bauteilen und Funktionen



#### Technische Daten

- Schlagfrequenz: zwischen 15 und 20 Hz
- Flügelspannweite: 63 cm
- Korpuslänge: 44 cm
- Gewicht: 175 g
- Freiheitsgrade: 13
  
- Prozessor: ARM-Mikrocontroller
- Motor: 1 bürstenloser VS-Außenläufer
- Ansteuerung Flügel: 8 Servostellmotoren
- Aktorik Kopf und Schwanz: 4 Shape-Memory-Alloys (SMAs)
- Sensorik: Inertial-, Beschleunigungs- und Lagesensoren
  
- Batterie: 2 Zellen Li.Po 7,6 Volt
- Funkmodule: Spektrum 2,4 GHz
- Funkfernsteuerung: Smartphone oder Digitale Spektrum Sendeanlage
  
- Verwendete Materialien:
- Flügelstruktur: Kohlefaserstab
- Flügelfläche: Polyester Membrane
- Gehäuse und Mechanik: Aluminium, Polyamid (gesintert) und Terpolymer (tiefgezogenes ABS)

#### Projektbeteiligte

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

#### Projektteam

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

Wissenschaftliche Betreuung: Dr. rer. nat. Nina Gaißert, Festo AG & Co. KG

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

Elektronik und Integration: Dipl.-Ing. Agalya Jebens, Dipl.-Inf. Kristof Jebens, JNTec GbR, Gärtringen

#### Nachweise:

Präparierte Libelle, S. 2, unten links:  
Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart  
Bildnachweis S. 2, oben: Ingo Radziwill

#### Festo AG & Co. KG

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



→ Film