

FESTO

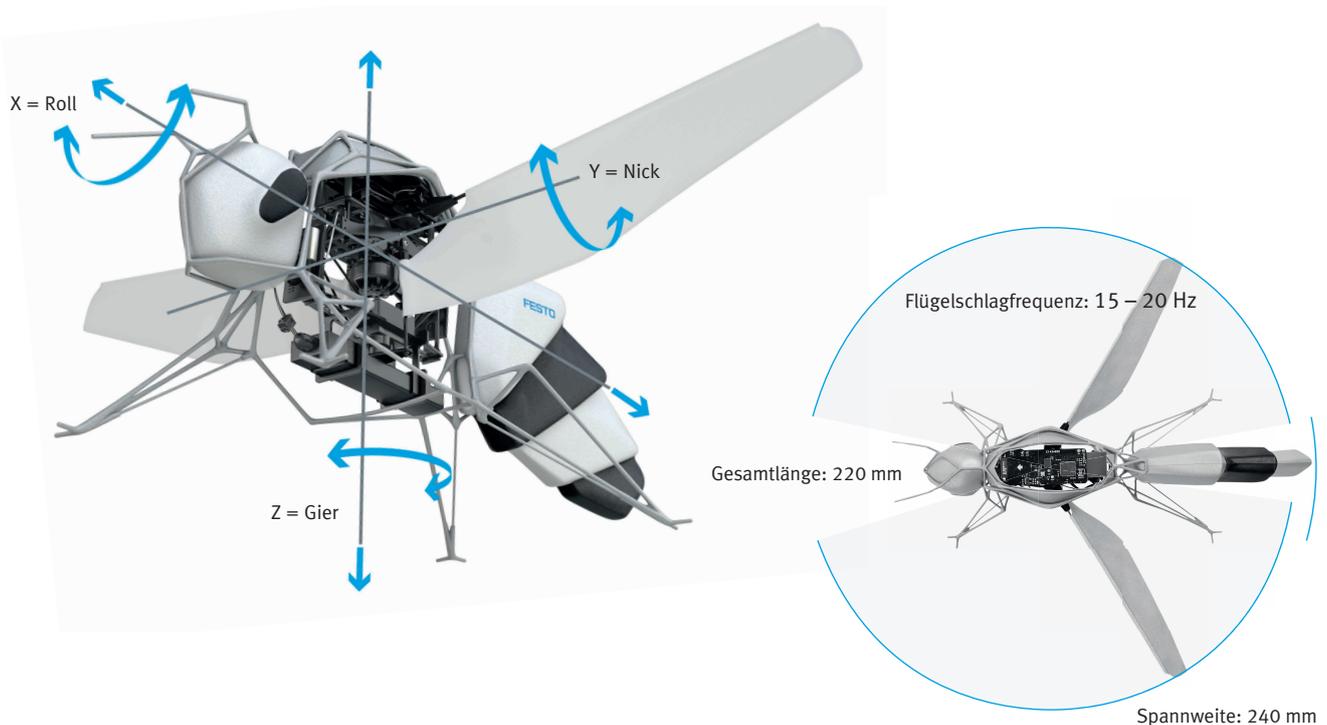


BionicBee

Autonomes Fliegen im Schwarm

Ultraleichte Flugobjekte mit präziser Steuerung

Seit mehr als 15 Jahren befasst sich unser Bionic Learning Network mit der Faszination Fliegen. Vor rund zehn Jahren haben wir in Zuge dessen den Vogelflug technisch entschlüsselt. Seitdem haben wir zahlreiche weitere Flugobjekte und ihre natürlichen Prinzipien erforscht und technologisch umgesetzt und dabei von den biologischen Vorbildern gelernt. Eine große Herausforderung dabei war das autonome Schwarmverhalten. Mit der BionicBee hat unser Team nun erstmals ein Flugobjekt entwickelt, das in großer Stückzahl und völlig autonom im Schwarm fliegen kann.



Effiziente Leichtbauweise und filigranes Design

Mit etwa 34 Gramm, einer Länge von 220 Millimetern und einer Flügelspannweite von 240 Millimetern ist die BionicBee das bisher kleinste Flugobjekt des Bionic Learning Networks. Erstmals bedienen sich die Entwickler der Methodik des generativen Designs: Nach Eingabe weniger Parameter findet eine Software auf Basis definierter Gestaltungsprinzipien die optimale Struktur, um so wenig Material wie nötig bei möglichst stabiler Konstruktion aufzuwenden. Dieser konsequente Leichtbau ist elementar für eine gute Manövrierfähigkeit und Flugdauer.

Funktionsintegration auf kleinem Bauraum

Im Bienenkörper befinden sich die kompakte Konstruktion für den Schlagflügelmechanismus, die Kommunikationstechnik sowie die Steuerungskomponenten für Flügelschlag und Adaption der Flügelgeometrie. Auf engstem Raum sind ein Brushless-Motor, drei

Servomotoren, der Akku, das Getriebe sowie verschiedene Platinen verbaut. Durch das intelligente Zusammenspiel von Motoren und Mechanik lässt sich zum Beispiel die Frequenz des Flügelschlags für die verschiedenen Manöver präzise einstellen.

Natürliche Flugmanöver mit vier Freiheitsgraden

Die künstliche Biene fliegt mit einer Schlagfrequenz von 15 bis 20 Hertz. Dabei schlagen die Flügel im 180-Grad-Winkel vor und zurück. Der Brushless-Motor treibt den Flügelschlag spielfrei über eine präzise geführte, ultraleichte Mechanik-Konstruktion an. Je höher die Drehzahl, desto höher die Schlagfrequenz und der Auftrieb. Die drei Servomotoren an der Flügelwurzel verändern die Geometrie des Flügels gezielt, erhöhen so in bestimmten Flügelstellungen die Effektivität und führen zu einer gezielten Variation des erzeugten Auftriebs.

Die Evolution des Fliegens

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. Seit über 15 Jahren entwerfen wir Forschungsträger, deren technische Grundprinzipien aus der Natur abgeleitet sind.



Air_ray (2007)

Der Air_ray ist das erste Flugobjekt von Festo mit Flügelschlag. Die aktive Torsion des Flügels ermöglicht eine effiziente und gut steuerbare Bewegung des mit Helium gefüllten schwebenden Objektes.

- Spannweite: 4200 mm
- Gewicht: 1600 g



AirPenguin (2009)

Dank seines neuen Flügelschlagprinzips mit verstellbarem Flügelholm kann der AirPenguin sowohl vorwärts als auch rückwärts fliegen und sich auf der Stelle drehen.

- Spannweite: 2480 mm
- Gewicht: 960 g



SmartBird (2011)

Beim SmartBird trifft die beim Air_ray erprobte aktive Torsion auf extremen Leichtbau. So gelingt es dem Flugobjekt erstmalig, dem Vogel ähnlich, nur mit Flügelschlag und ohne Unterstützung von Helium abzuheben.

- Spannweite: 2000 mm
- Gewicht: 450 g



BionicOpter (2013)

Der echten Libelle ähnlich kann der BionicOpter alle Flugmanöver umsetzen. Mit neun Freiheitsgraden lassen sich die Flügel dafür individuell bewegen.

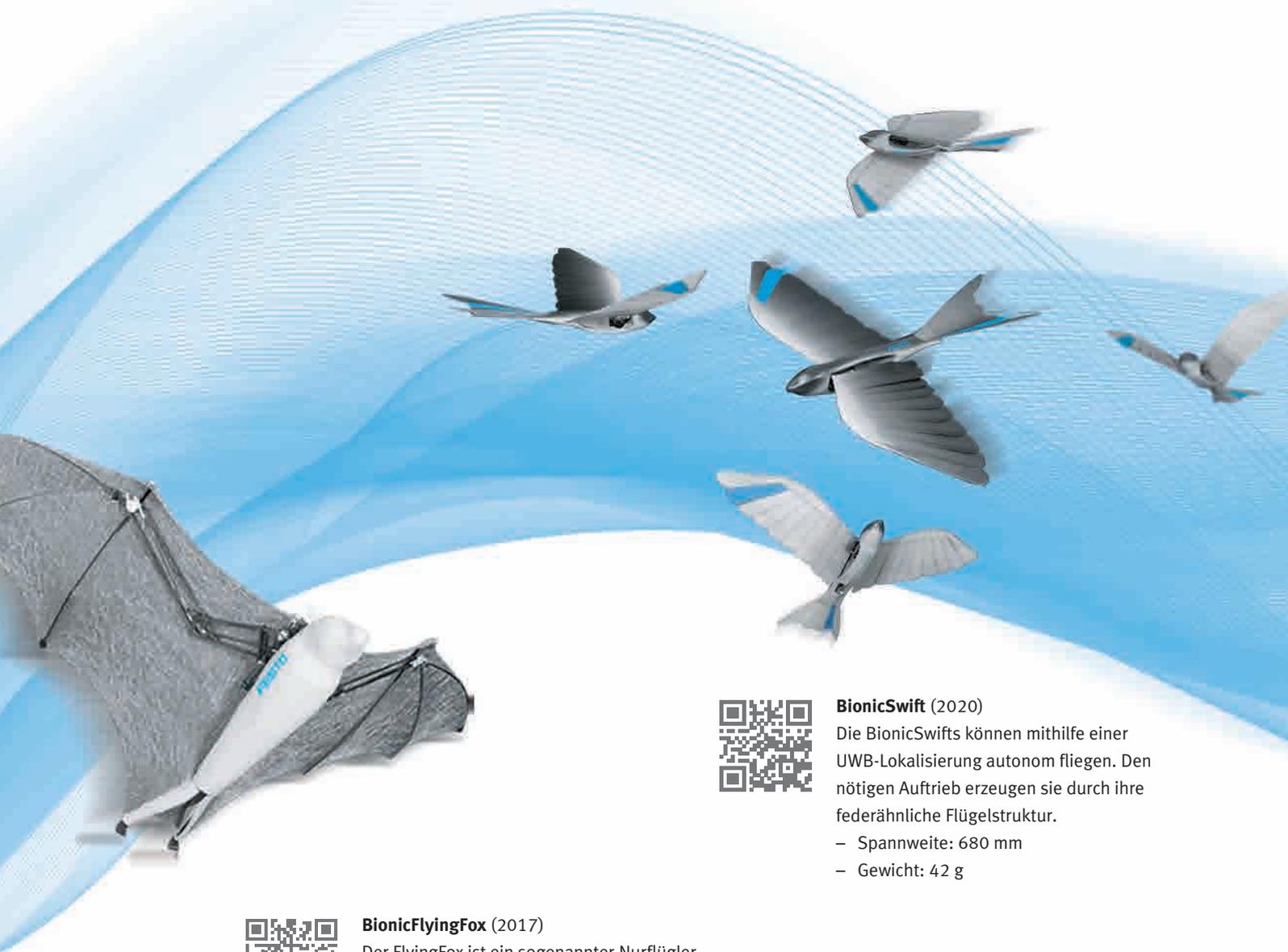
- Spannweite: 630 mm
- Gewicht: 175 g



eMotionButterflies (2015)

Die eMotionButterflies sind unsere leichtesten Flugobjekte mit einer sehr langsamen Schlagflügel-frequenz. Mehrere Objekte können mittels Lokalisierung per Infrarot-kamera autonom fliegen.

- Spannweite: 500 mm
- Gewicht: 32 g



BionicSwift (2020)

Die BionicSwifts können mithilfe einer UWB-Lokalisierung autonom fliegen. Den nötigen Auftrieb erzeugen sie durch ihre federähnliche Flügelstruktur.

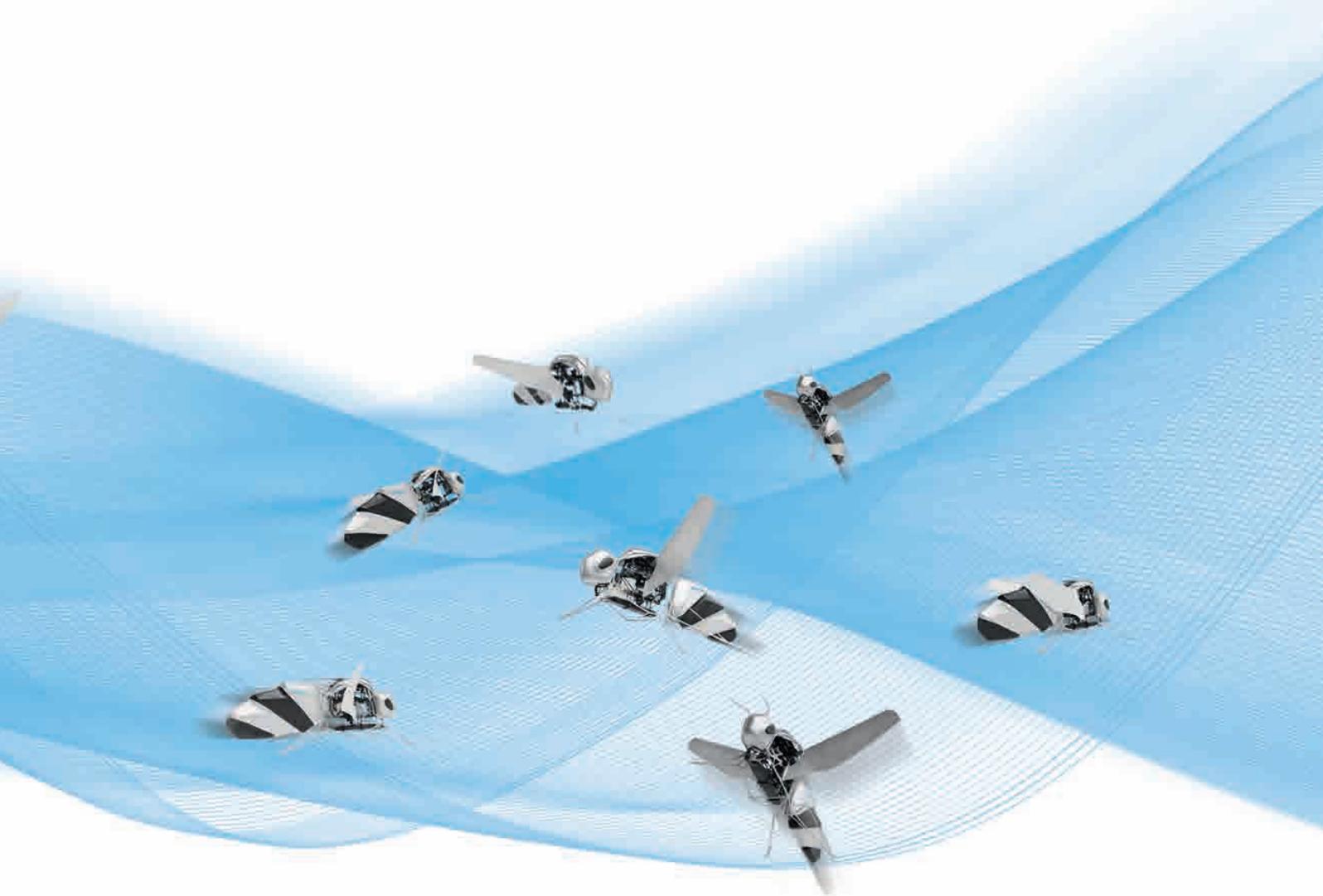
- Spannweite: 680 mm
- Gewicht: 42 g



BionicFlyingFox (2017)

Der FlyingFox ist ein sogenannter Nurflügler. Seine Flügelhaut besteht aus einer elastischen Membran, die über die faltbare Flügelkinematik gespannt ist. Die Flugmanöver werden über die Verformung der Haut eingeleitet.

- Spannweite: 2280 mm
- Gewicht: 580 g



BionicBee (2024)

Bei der BionicBee kommen nun alle gewonnenen Erkenntnisse der letzten Projekte zum Tragen. Die künstliche Biene ist unser kleinstes Flugobjekt, das zudem in größerer Stückzahl im Schwarm fliegen kann.

- Spannweite: 240 mm
- Gewicht: 34 g





Soll die Biene vorwärts fliegen, wird die Geometrie so eingestellt, dass der Auftrieb in der hinteren Position der Flügelstellung größer ist als in der vorderen Position. Dadurch neigt sich der Körper nach vorne (Nick) und die Biene geht in den Vorwärtsflug. Ist die Geometrie so eingestellt, dass der rechte Flügel mehr Auftrieb erzeugt als der linke Flügel, rollt (Roll) die Biene um die Längsachse nach links und fliegt seitlich weg. Eine weitere Möglichkeit ist die Verstellung in der Art, dass ein Flügel vorne mehr Auftrieb erzeugt und der zweite Flügel hinten mehr Auftrieb erzeugt. Dadurch dreht (Gier) die Biene sich um die Hochachse.

Autonomes Fliegen im Schwarm

Das autonome Verhalten des Bienenschwarms gelingt mithilfe eines Indoor-Lokalisierungssystems mit Ultra-Breitband-Technologie (UWB). Hierzu sind acht UWB-Anker auf zwei Ebenen im Raum installiert. Dadurch ist eine präzise Laufzeitmessung möglich und die Bienen können sich im Raum lokalisieren. Die UWB-Anker senden Signale an die einzelnen Bienen, die eigenständig die

Abstände zu den jeweiligen Sendeelementen messen und anhand der Zeitstempel ihre eigene Position im Raum berechnen können.

Um im Schwarm zu fliegen, folgen die Bienen den von einem zentralen Rechner vorgegebenen Pfaden. Für den sicheren und kollisionsfreien Flug in enger Formation ist dabei eine hohe räumliche und zeitliche Genauigkeit notwendig. Bei der Bahnplanung muss auch die mögliche gegenseitige Interaktion durch Luftverwirbelungen („down-wash“) berücksichtigt werden.

Da jede Biene in Handarbeit gebaut wird und schon kleinste Fertigungsunterschiede das Flugverhalten beeinflussen können, verfügen die Bienen darüber hinaus über eine automatische Kalibrierfunktion: Nach einem kurzen Testflug bestimmt jede Biene ihre individuell optimierten Reglerparameter. Die intelligente Algorithmik kann auf diesem Wege die Hardwareunterschiede zwischen den einzelnen Bienen herausrechnen und so lässt sich der gesamte Schwarm von außen steuern, als wären alle Bienen identisch.



Projektbeteiligte

- Projektinitiator:** Dr. Wilfried Stoll, Geschäftsführender Gesellschafter, Festo Holding GmbH
Projektteam: Sebastian Schrof, Xiaojia Yao, Karoline von Häfen, Philipp Eberl, Max Kimpel, Dr. Elias Knubben, Dr. Michael Sinsbeck, Festo SE & Co. KG
Kooperationspartner: Airstage by Effekt-Technik GmbH, Riederich
Forschungspartner: Prof. Dr. Markus Ryll, Autonomous Aerial Systems, TU München

Technische Daten

Flugobjekte

Spannweite:	240 mm
Gesamtlänge:	220 mm
Gewicht:	34 g
Antriebe:	1 Brushless-Motor, 10.000 Umdrehungen/V 1 Servomotor mit einer Stellkraft von 100 g, 2 g Gewicht 2 Servomotoren mit einer Stellkraft von 60 g, 0,7 g Gewicht
Batterie:	Akku mit 300 mAh und 4,3 V
Flugdauer:	ca. 4 min
Flügelschlagfrequenz:	15 – 20 Hz
Funk-Platinen:	2,4 GHz

Material Flugobjekte

Rahmenstruktur:	per generativem Design im 3D-Druck
Trägerelemente im Innenteil:	aus Kohlefaser gefräst
Korpus (Kopf und Schwanz):	Vector Boards
Flügel:	Vector Boards

Lokalisierung und Schwarmflug

8 Anker mit UWB-Technologie	
Updaterate Anker:	15 Hz
Frequenzband:	3,5 – 6,5 GHz
Bahnplanung:	1 zentraler Leitrechner Schwarm-Algorithmus
Software zur Positionserfassung:	TDoA-Kalman Filter
Lageerkennung:	6-DoF Sensor Fusion
Fluglageregler:	basierend auf Geometrischer Regelungstheorie
Schwarmtrajektorien:	Trajektorien minimalen Rucks

Festo SE & Co. KG

Rüter Straße 82
 73734 Esslingen
 Deutschland
 Telefon 0711 347-0
 cc@festo.com

→ www.festo.com/bionik

