

# ELEKTROSTATISCHER PLASMA-WELLANTRIEB FÜR BIONISCHE LUFTSCHIFFE

B. Göksel\*<sup>1</sup>, M. Fischer\*\*<sup>2</sup>, I. Rechenberg\*<sup>3</sup>, A. Thallemer\*\*\*<sup>4</sup>

\*Technische Universität Berlin, Institut für Verfahrenstechnik  
Fachgebiet Bionik, Ackerstr. 71-76, Sekr. ACK1, D-13355 Berlin

\*\*Abteilung Corporate Design/TC-D, FESTO AG & Co. KG  
Rechbergstrasse 3, D-73770 Denkendorf

\*\*\*Universität für künstlerische und industrielle Gestaltung,  
Hauptplatz 8, A-4020 Linz, Österreich

## 1. EINLEITUNG

Ionenstrahlantriebe wurden ursprünglich für Weltraumwendungen konzipiert und arbeiten mit hohen Gleichspannungsfeldern. Die erzielten Rückstoßkräfte sind im luftleeren Raum sehr klein im Millinewton Bereich. Dort reicht dies aber aus, um durch stetige Beschleunigung massereicher Ionen über lange interplanetare Flugstrecken hohe Geschwindigkeiten zu erreichen. In der Atmosphäre kann das gleiche Prinzip eingesetzt werden, um Luftionen zu beschleunigen und kleine Rückstoßkräfte für hochfliegende Flugkörper leichter als Luft zu erzielen. Im Rahmen des *b-IONIC Airfish* Projekts wurde dieses futuristische Antriebsprinzip in einer Weltpremiere an einem bionischen Luftschiff in Bodennähe demonstriert. Die bionische Geometrie des fliegenden Versuchsträgers wurde im Rahmen von Studien zur Strömungsmechanik von Pinguinen in den 90er Jahren am Institut für Bionik und Evolutionstechnik der TU Berlin entwickelt. Die ersten Flugtests erfolgten im September 2005 in der 137 m langen, 33 m breiten und 24 m hohen Peter-Behrens-Halle des Instituts für Bauingenieurwesen der TU Berlin, Bild 1.



BILD 1. Fliegender Versuchsträger *b-IONIC Airfish*.

## 2. IONENSTRAHL- UND PLASMAWELLANTRIEB

Beim *b-IONIC Airfish* werden zwei atmosphärische Ionenantriebssysteme eingesetzt: Im Heck kommt das klassische Prinzip des elektrostatischen Ionenstrahlantriebs zum Tragen, Bild 2.

Hohe Gleichspannungsfelder (20 - 30 kV) an dünnen Kupferdrähten entreißen umgebenden Luftmolekülen Elektronen. Die dadurch entstehenden positiven Luftionen werden dann mit hoher Geschwindigkeit (300-400 m/s) zu den negativ geladenen Gegenelektroden (ringförmige Aluminiumfolien) beschleunigt und reißen neutrale Luftmoleküle mit. Dies erzeugt einen effektiven Ionenwind mit einer Geschwindigkeit von bis zu 10 m/s.



BILD 2. Ionenstrahlantrieb mit zwei Kaskaden am Heck.

In den Stummelflügeln wird ein neuartiger, bionischer Plasmawellenantrieb eingesetzt, der ohne bewegte Teile vereinfacht mechanische Schlagflügelantriebe [1]-[4] von Vögeln, wie z. B. von Pinguinen, nachahmt, Bild 3.



BILD 3. Plasmawellenantrieb an den Stummelflügeln.

<sup>1</sup> Projekt Manager Elektrofluidsysteme, Abteilung Corporate Design TC/D, FESTO AG & Co. KG  
Rechbergstrasse 3, D-73770 Denkendorf, Email: berkant.goeksel@elektrofluidsysteme.de

Dabei wird, wie beim natürlichen Vorbild, die Luft flächig in Wellenbewegungen über dem Tragflügel beschleunigt. Das Wirkprinzip wird in Bild 4 und 5 verdeutlicht [4]. Bild 4 zeigt die Wirbelstraße eines schlagenden Flügels bei Schubzeugung. Die nach innen drehenden Wirbel pumpen die Luft über die Oberfläche und schwimmen ab. In Bild 5 bremsen auswärtsdrehende Wirbel die Strömung ab. Dies ist ein Kennzeichen für Widerstand in der Wirbelstraße. Der Plasmawellenantrieb erzeugt durch phasenversetzte Ansteuerung der Aktuatoren auf der Ober- und Unterseite im Schubfall denselben Nachlauf wie ein vereinfachter mechanischer Schlagflügel (vgl. Bild 3) [8].

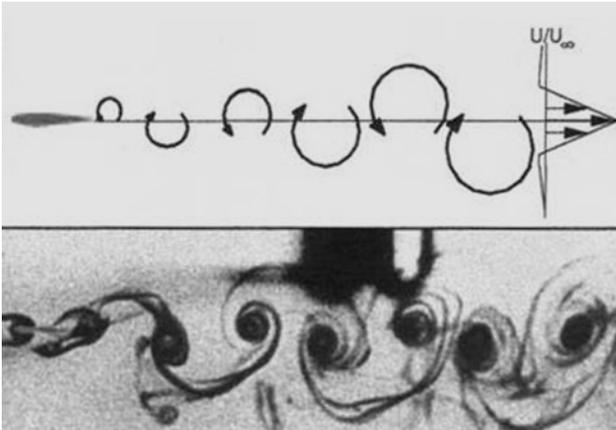


BILD 4. Wirbelstraße im Nachlauf bei Schub [4].

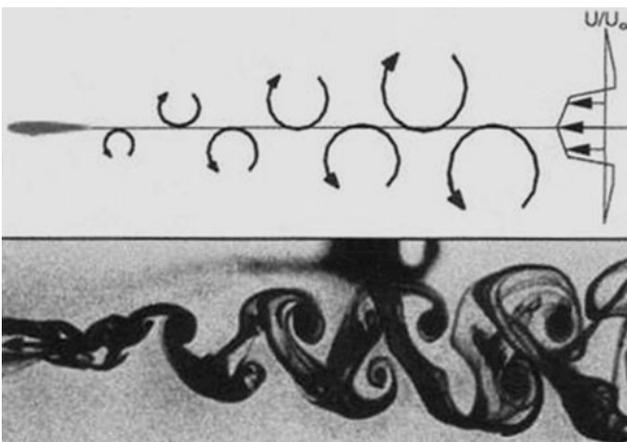


BILD 5. Wirbelstraße im Nachlauf bei Widerstand [4].

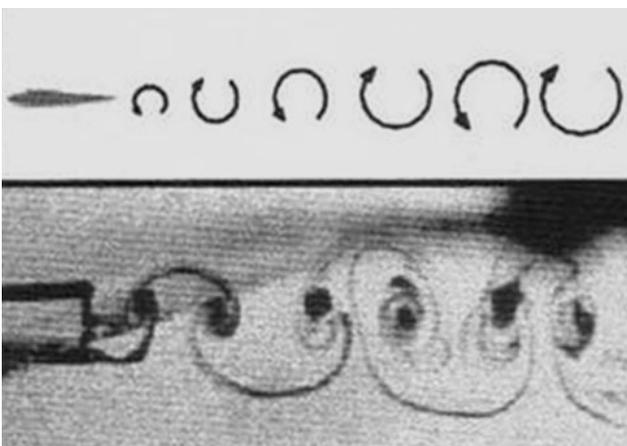


BILD 6. Wirbelstraße bei Widerstandsaufhebung [4].

Die Ionisation erfolgt hier nach dem so genannten Prinzip der dielektrischen Barriereentladung. Zwischen Elektrodenstreifen ober- und unterhalb einer 0,2 - 0,4 mm dünnen, nicht leitenden Barriere aus Kapton oder Teflon wird ein hochfrequentes Wechselfeld (10 kV, 11 kHz) angelegt, Bild 7.

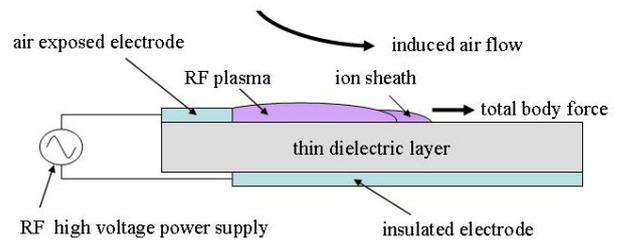


BILD 7. Schemaskizze eines Plasma-Aktuators [9].

Dieses verursacht je nach Polarität Elektronenemissionen bzw. Elektronenabsaugung an den Kanten der oberen Elektroden und durch Stoßionisation die Bildung eines selbst bei Tageslicht violett leuchtenden, kalten Plasmas.

Die Luftionen aus den nach außen neutralen Plasmazonen werden in einem niederfrequent pulsierenden Wanderfeld (10 – 100 Hz) wie auf einem mechanischen Laufband beschleunigt und ziehen durch Impulsübertragung neutrale Luftmoleküle mit sich. Im hochfrequenten Dauerbetrieb ist ein leiser Ton zu hören. Im pulsmodulierten Betrieb erzeugt der Plasmawellenantrieb schlagende Töne wie ein Schlagflügel. Mit dieser neuen Technik in der Aerodynamik können in der Erdoberfläche nahen Atmosphäre prinzipiell Ionenwindgeschwindigkeiten von 5 – 50 m/s und mehr erreicht werden. Dies ermöglicht einen elektroaerodynamischen Transport ohne bewegte Teile.

Zukünftige Einsatzmöglichkeiten für atmosphärische Ionenantriebe liegen aber nicht schwerpunktmäßig auf dem Erzielen einer Vortriebskraft, sondern vielmehr in den Gebieten der Widerstandsreduktion und Widerstandsaufhebung, Bild 6, [5]-[7], [9].

Pinguine bestechen nicht nur durch eine ästhetisch schöne und widerstandsarme „Stromlinienform“, sondern nutzen das aus ihrem Vogeldasein geerbte Federkleid auch als Luftspeicher. Bei Höchstgeschwindigkeit wird Luft aus der filzigen Körperoberfläche gesogen, wodurch der Pinguin kurzzeitig in einem stark widerstandsvermindernden Luftschleier schwimmt, Bild 8.

In Analogie hierzu könnte ein Flugkörper in Luft bei hohen Geschwindigkeiten durch einen Plasmaschleier, eine Einhüllende im 4. Aggregatzustand aus vielen Mikroplasmaentladungen, umschlossen werden. Ein solcher Flugkörper würde in Luft schwimmen wie ein Pinguin im Wasser [8].



BILD 8. Pinguin im Luftschleier (Foto: Rechenberg).

### 3. TECHNISCHE DATEN DES B-IONIC AIRFISH

Länge:	7,50 m
Spannweite:	3,00 m
Hüllendurchmesser:	1,83 m
Hüllenoberfläche:	26,8 qm
Gesamtgewicht Airfish:	9,04 kg
Leergewicht Airfish:	2,71 kg
Gesamt Schub ca.:	8 - 10 g
Heliumvolumen:	9,00 cbm
Minimaler Auftrieb:	9,0 kg
Maximaler Auftrieb:	9,3 kg
Gewicht Generatoren in Flügel/Heck:	4,25 kg
Gewicht LiPo-Akkus in Flügel/Heck:	2,08 kg
Maximales Reservegewicht:	0,37 kg
Maximale Fluggeschwindigkeit:	0,7 m/s
Maximale Flugdauer mit Heckantrieb:	60 min.
Maximale Flugdauer mit Flügelantrieb:	30 min.
LiPo-Akkus im Heck:	12 x 1500 mAH, max. 8 A
LiPo-Akkus je Flügel:	9 x 3200 mAH, max. 60 A
Leistung f. Ionenstrahlantrieb im Heck:	2 x 40 W, max. 2 x 60 W
Leistung f. Plasmawellenantrieb je Flügel:	266 W, max. 360 W



BILD 10. *b-IONIC Airfish* Flügel mit Generator/Batterien.



BILD 11. *b-IONIC Airfish* in der Vorbereitung.



BILD 9. *b-IONIC Airfish* Testflug in der P.-Behrens-Halle.

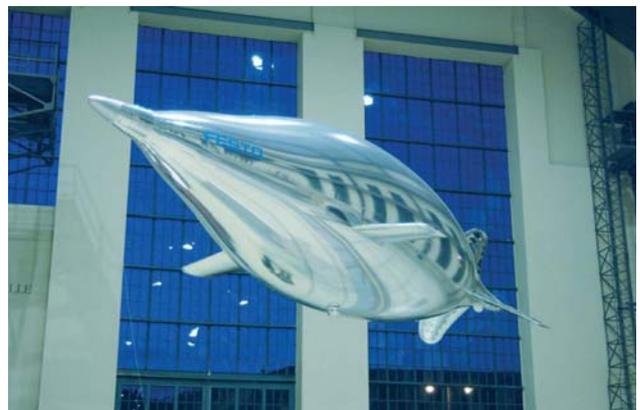


BILD 12. *b-IONIC Airfish* beim Anfahren.



BILD 13. *b-IONIC Airfish* beim Kurvenflug.

#### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Nach der Realisierung des Airfish mittels pneumatischer Strukturen und Schlaufenpropellerantrieben (Bild 14), wurde hier die konsequente Fortsetzung der gezielten Strömungsbeeinflussung durch Mikroplasmaentladungen an der Oberfläche thematisiert. Daraus kann für verschiedene Anwendungen eine gezielte Reibungsreduktion mittels flächigem Ionenwind abgeleitet werden [5]-[7], [9].



BILD 14. FESTO Airfish mit konventionellem Antrieb.



BILD 15. b-IONIC Airfish nach erfolgreicher Weltpremiere bei der FESTO AG & Co. KG in Esslingen.

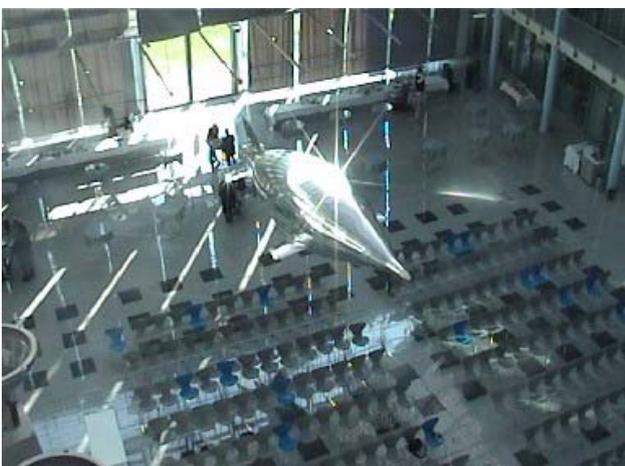


BILD 16. b-IONIC Airfish nach erfolgreicher Weltpremiere bei der FESTO AG & Co. KG in Esslingen.

#### 5. DANKSAGUNG

Der Plasmawellenantrieb wurde im Rahmen des BMBF-Projekts „Elektrostatischer Wellantrieb mittels polyphasiger Plasma-Aktuatoren“ (FKZ: PTJ-BIO/311984) vorentwickelt.

Für die Weiterentwicklung und Anwendung auf dem Airfish gilt unser Dank besonders dem Projektinitiator Dr. Wilfried Stoll, Aufsichtsratsvorsitzender der FESTO AG & Co. KG und Herrn Dr. Werner Fischer für die technische Beratung. Wir danken auch den Herren Rainer & Günter Mugrauer und Clemens Gebert für den Luftschiffbau und Herrn Dr. Jörg Brutscher für die Entwicklung der Generatoren. Unser Dank gilt auch Herrn Walter Fogel für die offiziellen Fotos beim Testflug in der Peter-Behrens-Halle der TU Berlin.

#### 6. LITERATUR

- [1] Schmidt, W. (1965) Der Wellpropeller, ein neuer Antrieb für Wasser, Land-, und Luftfahrzeuge. *Z. Flugwiss.*, Vol. 13, pp. 472-479.
- [2] Queck, U., Schmidt, W. (1970) Das Delphinluftschiff - Luftfahrt in gewellter Strömung. *Technisch-ökonomische Informationen der zivilen Luftfahrt* 6, Heft 5, pp. 247-258.
- [3] Schmidt, W. (1974) Delphinluftschiff mit Wellantrieb - Dynamischer Auftrieb. *Technisch-ökonomische Informationen der zivilen Luftfahrt* 10, Heft 2, pp. 104-106.
- [4] Platzer, M. F., Jones, K. D. (2000) The Unsteady Aerodynamics of Flapping-Foil Propellers. 9th International Symposium on Unsteady Aerodynamics and Aeroelasticity of Turbomachines, Ecole Centrale de Lyon, France.
- [5] Göksel, B. (2000) Verbesserung der aerodynamischen Effizienz und Sicherheit von Mikro-Flugzeugen durch Ablösekontrolle in teilionisierter Luf. Deutscher Luf- und Raumfahrtkongress 2000, Leipzig, DGLR-JT-2000-203.
- [6] Göksel, B., Rechenberg, I. (2004) Active Separation Flow Control Experiments in Weakly Ionized Air. In Andersson H. I. and Krogstad P.-Å. (eds.) *Advances in Turbulence X, Proceedings of the 10th Euromech European Turbulence Conference*, CIMNE, Barcelona.
- [7] Göksel, B., Rechenberg I. (2005) Active Flow Control by Surface Smooth Plasma Actuators. In Rath H. J., Holze C., Heinemann H.-J. et al. (eds.) *New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics V, Proc. 14. DGLR-Fachsymposium AG STAB*, Bremen, NNFM Vol. 88, Springer (zur Publikation in 2006).
- [8] Göksel, B., Rechenberg, I. (2005) Elektrostatischer Wellantrieb mittels polyphasiger Plasma-Aktuatoren. Abschlussbericht, BMBF-Vorhaben zu Bionik - Innovationen aus der Natur, FKZ: PTJ-BIO/311984.
- [9] Göksel, B., Greenblatt, D., Rechenberg, I., Pascheireit, C. O. (2005) Plasma Actuators for Active Flow Control. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2005, Friedrichshafen, DGLR-JT-2005-210 (zur Publikation im Tagungsband III in 2006).