

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 135 (2009)  
**Heft:** 37-38: Natur inspiriert Technik

**Artikel:** Fliegen mit Forellen und Drachen  
**Autor:** Luchsinger, Rolf / Michel, Silvain  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-108310>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# FLIEGEN MIT FORELLEN UND DRACHEN

In kaum einem anderen Gebiet der Technik haben sich die Pioniere so sehr auf das Vorbild der Natur abgestützt wie in der Aviatik. Für dieses heute hochentwickelte Gebiet kann die Natur nach wie vor fruchtbare Inspirationen für neue Ideen liefern. Ein neues Antriebskonzept für Luftschiffe sowie ein Drachen mit aufblasbaren Leichtbautragstrukturen sind Beispiele dafür.

Leonardo da Vinci studierte den Flug der Vögel und entwickelte daraus Ideen für Flugapparate. Der deutsche Luftfahrtpionier Otto Lilienthal veröffentlichte 1889 das Buch «Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst», zwei Jahre vor seinen bahnbrechenden Flugversuchen. Nebst grundlegenden Erkenntnissen über die Physik des Fliegens hat die Natur diesen frühen «Bionikern» vor allem auch die Vision geliefert, den Luftraum für die Menschen zugänglich zu machen. Obschon heute das Flächenflugzeug technisch einen hohen Reifegrad erreicht hat und ein alltägliches Fortbewegungsmittel geworden ist, sind die Flugkünste der Natur bezüglich Eleganz, Effizienz, Flexibilität und Umweltverträglichkeit technisch noch weitgehend unerreicht. Sie kann daher auch heutigen «Bionikern» Inspirationen für die Weiterentwicklung in der Aviatik liefern. Zwei Beispiele dafür sind die beiden im Folgenden vorgestellten Forschungsprojekte der Empa Dübendorf.

## FORELLENLUFTSCHIFF

Die Abteilung Mechanical Systems Engineering untersucht seit einigen Jahren die Elektroaktiven Polymere, auch künstliche Muskeln genannt, als neue Aktortechnologie. Diese Kunststoffe dehnen sich beim Anlegen einer elektrischen Spannung in der Fläche aus und wandeln damit elektrische Energie direkt in mechanische Arbeit um. Aus diesen Materialien aufgebaute Aktoren haben einzigartige Eigenschaften: Sie brauchen keine rotierenden Teile, sind leicht, haben eine hohe Energiedichte, funktionieren geräuschlos und sind aus relativ kostengünstigen und umweltverträglichen Rohstoffen herstellbar. Da sich das Funktionsprinzip grundlegend von herkömmlichen Antriebstechniken unterscheidet, sind neuartige naturähnliche Konzepte/Designs in verschiedensten Anwendungsgebieten denkbar: Humanoide Roboter, weiche, gewebeverträgliche, aktive Implantate oder elektrisch verstellbare, elastische Linsen als Zoomobjektive sind beispielsweise damit realisierbar. Besonders die Möglichkeit, mit elektroaktiven Polymeren flächige Aktoren zu bauen, hat die Empa auf die Idee des Forellenluftschiffes gebracht. Dafür wurde ein fischförmiges Prallluftschiff mit flächigen, künstlichen Muskeln ausgerüstet, die ähnlich wie bei der Forelle im Wasser eine Rumpfbiegung und eine Schwanzflossenauslenkung bewirken. Mit Hilfe der Ähnlichkeitstheorie konnte gezeigt werden, dass ein ca. 8m langes Luftschiff mit 1m/s durch die Luft schwimmen kann, wenn der Schwanzflossenschlag mit einer Frequenz von 0.2Hz angeregt wird (vgl. TEC21 17-18/2007). Ein solches Luftschiff wurde nun gebaut: Der Rumpf ist 6m lang und hat eine vertikale Innenstruktur, die an zwei Stellen Gelenke hat (Abb. 1 und 3). Daran angekoppelt wird die 2.3m lange Schwanzflosse. Die Verformung des Rumpfes und die Auslenkung der Schwanzflosse werden durch mehrlagige, 0.25–1.0m<sup>2</sup> grosse, flächige Aktoren bewirkt. Die elektrische Energie kommt von Lithium-Polymer-Akkus und wird auf 2.5–3.5kV Hochspannung hochtransformiert. Damit können der Rumpf bis 10° und die Schwanzflosse bis 25° ausgelenkt werden. Das Luftschiff wird mit 9.5m<sup>3</sup> Helium gefüllt, was 9kg Auftrieb ergibt. Es wird via WLAN-Funkverbindung von einem PC aus gesteuert. Schon mit einem 4m langen Vormodell konnte gezeigt werden, dass der Antrieb mittels Schwanz-

## BIONIK-WORKSHOP

Wer tiefer in das Thema Bionik einsteigen möchte, hat dazu im Rahmen eines Workshops vom 4. bis 5.11.2009 an der Empa Dübendorf Gelegenheit, an dem ein Grossteil der in diesem Heft vertretenen Fachautoren als Referenten auftritt. Ergänzend zu den Vorträgen können die Workshopteilnehmer im Austausch untereinander und mit den Referenten selbst neue Ideen entwickeln. Angesprochen sind EntwicklungsleiterInnen und IngenieurInnen aus allen technisch orientierten Branchen sowie GeschäftsführerInnen, die sich auf dem Gebiet der Bionik einen Überblick verschaffen und sich darüber hinaus zu neuen Ideen anregen lassen wollen.

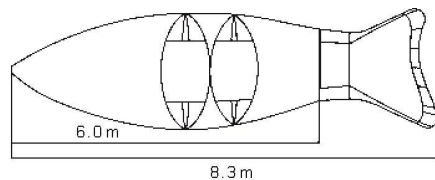
Programm und Anmeldung: [www.empa.ch/bionik](http://www.empa.ch/bionik)



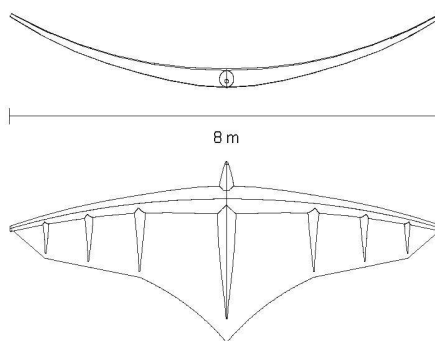
01



02



03



04

01 Prototyp des Forellenluftschiffes

02 Prototyp des Tensairity-Drachens

03 Seiten- und Aufsicht des Forellenluftschiffes

04 Front- und Aufsicht des Tensairity-Drachens  
(Fotos und Grafiken: Empa)

#### Anmerkungen

1 Flugzeug, das aus nur einem Flügel besteht  
(ohne Rumpf und Leitwerk)

2 Der Flügel ist von oben betrachtet nicht gerade,  
sondern verläuft wie bei einem Deltasegler nach  
hinten

3 Von vorne betrachtet hat der Flügel eine V-Form

flossenschlag im Flugversuch funktioniert. Die grössten Vorteile sind: die Geräuschlosigkeit, die gute Effizienz und zur Überraschung der Entwickler eine im Vergleich mit propellerangetriebenen und mittels Rudern gesteuerten Luftschiffen hervorragende Manövrierfähigkeit. Dieses bionische Konzept könnte den Luftschiffen als Plattformen für Umwelt- und Tierbeobachtung oder als Satellitenersatz in der Stratosphäre neuen Auftrieb verleihen.

#### TENSAIRITY-DRACHEN

Von der Natur inspiriert ist auch die Tensairity-Technologie. Deren Grundprinzip – stabilisieren mit Druck – ist auch in der Natur weit verbreitet. So ist die Steifigkeit von unverholzten Pflanzen durch den Zellinnendruck bestimmt. Tensairity-Tragstrukturen sind eine synergetische Kombination aus einer pneumatischen Hülle mit Stangen und Kabeln. Die neue Leichtbautechnologie ist schon erfolgreich im Bauwesen eingesetzt worden, zum Beispiel bei einem Dach für ein Parkhaus in Montreux mit rund 28m Spannweite (vgl. TEC21 26/2005) oder einer grossen Brücke für Skifahrer in den französischen Alpen (vgl. TRACÉS 19/2008). Das Center for Synergetic Structures, eine öffentlich-private Partnerschaft zwischen der Empa und der Firma Festo, hat nun einen Drachen mit rund 8m Spannweite und 11m<sup>2</sup> Fläche basierend auf der Tensairity-Technologie gebaut (Abb. 2 und 4). Der Anspruch an den Drachen war einerseits, eine möglichst grosse aerodynamische Effizienz zu erreichen und andererseits stabil an einer Leine ohne jegliche Steuerung zu fliegen. Diese beiden Anforderungen widersprechen sich weitgehend. So führt zum Beispiel der lange Schwanz, der gerne zur Stabilisierung von Einleinerdrachen verwendet wird, zu zusätzlichem Widerstand und damit zu einer Reduktion der Effizienz. Die Kunst ist der Kompromiss. Durch den Bau von Prototypen und eingehende Tests wurde in mehreren Entwicklungsschritten die ideale Konfiguration gefunden. Schliesslich ist ein Nurflügler<sup>1</sup> mit Pfeilung<sup>2</sup>, V-Stellung<sup>3</sup> und Verdrehung entstanden. Der Hauptholm besteht aus einer Zweikammer-Web-Tensairity-Struktur, die eine anspruchsvolle räumliche Krümmung aufweist. Der Innendruck beträgt nur ca. 75mbar, was erlaubt, die Tensairity-Hülle mit im Drachenbau üblichem leichtem Ikarex zu fertigen, einem Polyestertuch. Die Druckelemente bestehen aus Kohlerohren und die Zügelemente aus Dyneema, einer Hochleistungsfaser mit grosser Zugfestigkeit (2500–3000 N/mm<sup>2</sup>) und geringem Gewicht. Der Flügel ist einlagig mit einer leichten Folie bespannt. Der Drachen wiegt 2.5kg und ist auf eine maximale Last von 100kg ausgelegt. Flug- und Schleppversuche haben die guten Flugeigenschaften des Drachens gezeigt. Dadurch wird die Tensairity-Technologie interessant für neue Formen der Windenergienutzung mit Drachen, wie sie für die Erzeugung von Elektrizität oder das Ziehen von Schiffen untersucht werden.

**Rolf Luchsinger**, Dr., Physiker, Center for Synergetic Structures, Empa Dübendorf,  
rolf.luchsinger@empa.ch

**Silvain Michel**, dipl. Masch. Ing. ETH, Mechanical Systems Engineering, Empa Dübendorf,  
silvain.michel@empa.ch