

Vergleich strömungsmechanischer Kennzahlen:

- Messwerte Laboraufbau DualWingGenerator
- Vergleichswerte Kleinanlage 1*
- Vergleichswerte Kleinanlage 2*

* Für die Vergleichsobjekte wurde ein elektromechanischer Wirkungsgrad von 80 % angenommen.

Hinterlegt: vorherrschende Windgeschwindigkeiten im Binnenland Mitteleuropas

Verblüffendes Resultat: höchster Wirkungsgrad bei niedrigen Windgeschwindigkeiten, wie sie in Mitteleuropa vorherrschen

Wissenschaftlicher Nachweis der Energieeffizienz

In zahlreichen Messungen an einem Laboraufbau ließen sich der aerodynamische und der mechanische Wirkungsgrad der Anlage bestimmen und anschließend mit den Leistungen von zwei gängigen Windkraftanlagen derselben Größe vergleichen. Die Testanlage wurde so aufgebaut, dass die Einflüsse aller wesentlichen Parameter eingestellt und in einem Windkanal erfasst wurden. Mittels so genannter PIV-Messungen (Particle-Image-Velocimetry) ließ sich dabei die Geschwindigkeitsverteilung auf und zwischen den Tragflächen im zeitlichen Verlauf genau bestimmen.

Höchste Wirkungsgrade bei niedrigen Windstärken

Gerade im Bereich der häufigsten Windgeschwindigkeiten zwischen 4 und 8 m/s zeigte der DualWingGenerator bemerkenswerte Leistungen gegenüber den Kleinwindanlagen. Im Laboraufbau erreichte er einen strömungsmechanischen Wirkungsgrad von 45 %, wobei theoretisch bis zu 59 % möglich sind. Damit kann die Effizienz gegenüber den herkömmlichen Kleinanlagen deutlich gesteigert werden – vor allem bei niedrigen Windstärken, wie sie im kontinentalen Mitteleuropa vorherrschen.

Verschiedene Einsatzgebiete und Anwendungen

Durch die gewonnenen Erkenntnisse ergeben sich völlig neue Möglichkeiten zum Einsatz von Windgeneratoren. Während große Windparks einen hohen Flächenverbrauch haben und sich folglich meist nur auf dem Meer rentieren, ließe sich eine Anlage wie der DualWingGenerator beinahe überall anbringen – zum Beispiel auf Gebäuden. Die dezentrale Lösung funktioniert analog zum Sonnenkollektor als Windkollektor und reduziert zudem den Aufwand für die Anbindung an das öffentliche Stromnetz.

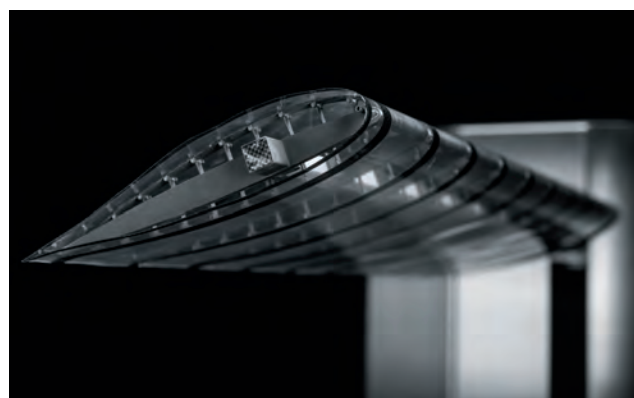
Neben dem Elektrogenerator zur Stromgewinnung sind auch andere Endgeräte zum Abgreifen der mechanischen Energie denkbar – zum Beispiel ein Kompressor zur Drucklufterzeugung oder eine Wasserpumpe für den Einsatz in der Prozessautomation.

Weiterentwicklung mit adaptivem Flügel

Um die Effizienz der Anlage weiter zu steigern, erprobt Festo anstelle der starren Tragflächen zusätzlich adaptive Flügel mit Fin Ray Effect®. Je nach Anstellwinkel ändert sich das Flügelprofil und der Wirkungsgrad des gesamten Systems wird erhöht.



Kontinuierliche Erprobung: ob im wissenschaftlichen Laboraufbau ...



... oder durch die Weiterentwicklung des Materials



Technische Daten

System:

- Gesamtbreite: 250 cm
- integrierte Komponenten: 1 ELGG-Achse
2 Freiläufer
2 Aufsteckflansche
2 Motorflansche
1 CPX-CEC-M1-Steuerung
1 8DI/8DO Modul
1 2AI-Modul mit 2 analogen Eingängen
1 Stromgenerator als Bremsdynamometer (120 W)

Flügel:

- Breite: 110 cm
- Profil: NACA0014
- Material: Karbon

Projektbeteiligte

Projektinitiator:

Dr. Wilfried Stoll, Geschäftsführender Gesellschafter, Festo Holding GmbH

Projektleitung:

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

Projektteam:

Matthias Gehring, Uwe Neuhoff
Festo AG & Co. KG

Auslegung und wissenschaftliche Betreuung:

Dr. rer. nat. Wolfgang Send, Felix Scharstein
ANIPROP GbR, Göttingen

Entwicklung adaptiver Flügel mit Fin Ray Effect®:

Rainer Mugrauer
Effekt-Technik GmbH, Schlaitdorf

Fin Ray Effect® ist eine Marke der Evologics GmbH, Berlin



→ Film

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

DualWingGenerator

FESTO



**Energiegewinnung
mit dem Flügel-
schlagprinzip**

Selbstoptimierendes System für höchste Anlageneffizienz und Prozesssicherheit



Mit dem DualWingGenerator hat Festo im Rahmen des Bionic Learning Network einen außergewöhnlichen Technologieträger entwickelt, der zwei horizontal angeordnete Flügelpaare anstelle von Rotorblättern zur Energiegewinnung nutzt.

Dank seiner intelligenten Regelungstechnik kann sich das selbstoptimierende System auf unterschiedliche Windverhältnisse einstellen und steht in seiner Effizienz den gängigen Kleinwindkraftanlagen in nichts nach. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten weist das Konzept sogar verblüffende Vorteile auf.

Umkehrprinzip des natürlichen Flügelschlags

Das Prinzip der Anlage besteht in der Umkehrung des natürlichen Schlagflugprinzips: Während Vögel mit ihrem Flügelschlag die nötige Leistung erzeugen, um sich in der Luft voranzubewegen, kann ein stationäres System wie der DualWingGenerator die kinetische Energie aus dem Luftstrom entnehmen. Die Windkraft erzeugt dabei eine lineare Hubbewegung der Flügel, die in eine Drehbewegung umgesetzt wird. Mit Hilfe eines Elektrogenerators wandelt die Anlage die gewonnene Energie in Strom um.

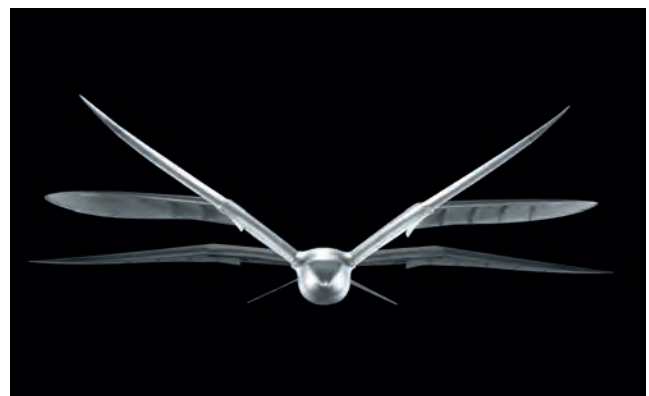
Gegenläufige Flügelpaare zur optimalen Energiegewinnung

Die vier Flügel sind zu beiden Seiten der Mittelsäule angeordnet. Die beiden oberen und die beiden unteren Flügel sitzen jeweils auf einer gemeinsamen motorgetriebenen Drehachse, die auf einem Schlitten montiert ist. Bei anströmendem Wind bewegen sich die beiden Schlitten auf der vertikalen Führung im Gleichtakt gegenläufig: Während die oberen Flügel aufwärts fahren, bewegen sich die unteren Flügel abwärts. Das Flügelpaar einer Seite bildet eine funktionale Einheit, deren strömungsmechanische Eigenschaften eine optimale Energiegewinnung gestatten. Am Scheitelpunkt dreht ein Servomotor die Flügel und sie fahren wieder aufeinander zu.

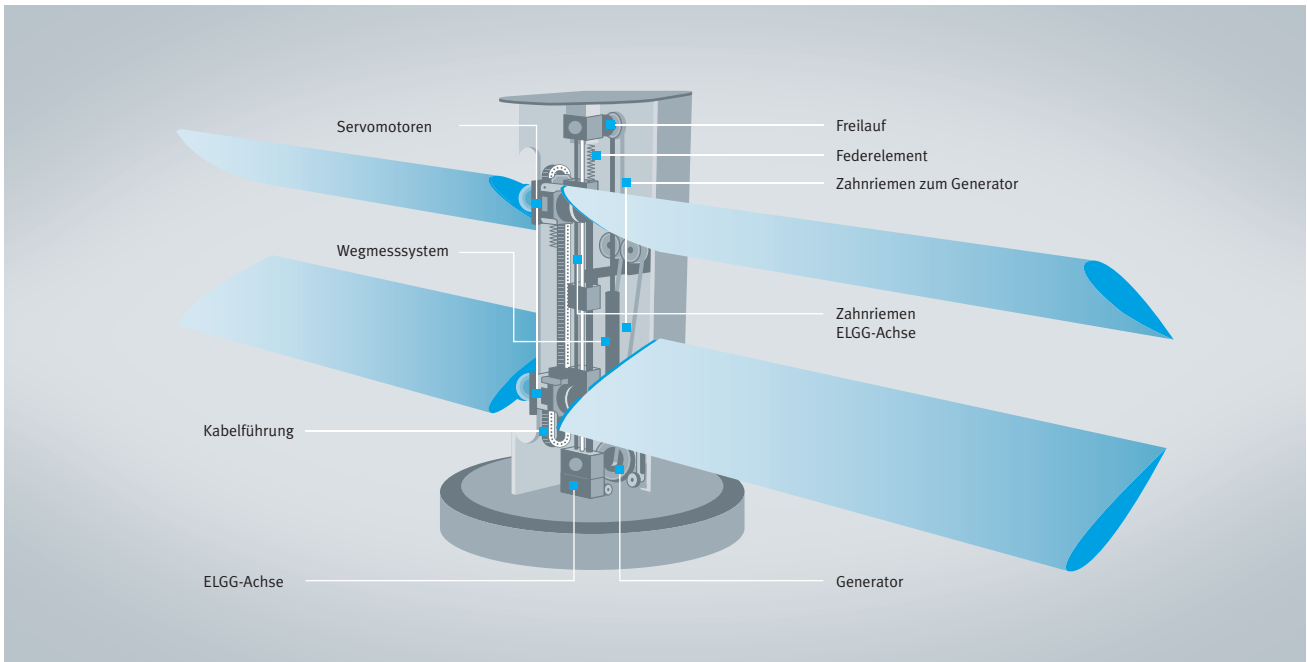
Durch ihre aktive Verdrehung sind die Flügel immer so gestellt, dass sie optimal angeströmt werden. Das ermöglicht dem adaptiven System eine optimale Energieausbeute mit einem sehr hohen, wissenschaftlich belegten Wirkungsgrad. Diese so genannte aktive Torsion hat Festo bereits 2011 mit dem SmartBird technisch realisiert. Bei der Entwicklung der künstlichen Silbermöwe hatten die Ingenieure untersucht, wie Vögel ihre Flügel aktiv drehen und so die Windverhältnisse möglichst energieeffizient nutzen.



Neuartiges Konzept: gegenläufige Flügelpaare mit linearer Hubbewegung ...



... und aktiver Flügeldrehung nach Vorbild des bionischen SmartBird



Hochkomplexe Regelung: aufeinander abgestimmte Stellgrößen für eine höhere Anlageneffizienz und Prozesssicherheit

Von der Hubbewegung zur elektrischen Energie

Die gesamte Mechanik zur Umwandlung der Windkraft in elektrische Energie ist beim DualWingGenerator in der Mittelsäule integriert. Die Säule enthält zudem die Sensorik, mit deren Hilfe sich die mechanische Bewegung optimieren und energieeffizient auf die Windbedingungen abstimmen lässt.

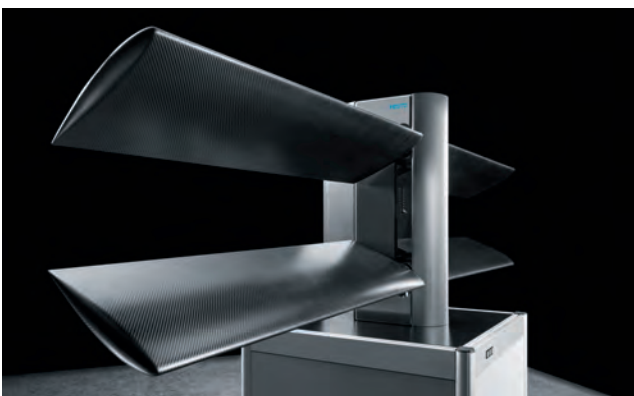
Strömt dem System Luft entgegen, dreht sich die Mittelsäule automatisch und richtet dadurch die Flügel aus Karbon stets quer zum anströmenden Wind aus. Der Luftstrom wirkt dabei auf die Tragflächen der Flügel, die von den Servomotoren in einem entsprechenden Winkel angestellt sind. Das führt dazu, dass sich die Schlitten mit den Flügeln auf der Achse auf- und abwärts bewegen, wodurch die entgegengesetzte Flügelbewegung zu Stande kommt. Die Bewegung ist gegenläufig mit einem Zahnriemen synchronisiert, der die Kraft auf zwei Lagerwellen überträgt. Mittels Freiläufen werden diese Rotationsbewegungen gleichgerichtet und über einen weiteren Zahnriemen an den Generator übertragen. So entsteht aus der Windkraft zuerst kinetische und letztlich elektrische Energie.

Während die Flügel von der Kraft des anströmenden Windes bewegt werden, muss das System lediglich Energie für die beiden Servomotoren aufbringen sowie für die CPX-Steuerung der Anlage, die unter der Mittelsäule verbaut ist.

Höhere Anlageneffizienz durch Tandemflügel

Die Verwendung von zwei Flügelpaaren bei nur einer Mittelsäule erlaubt es, die Flügelfläche zu verdoppeln – bei gleichbleibendem mechanischen Aufbau und somit gleicher Reibung. Dadurch steigert sich die Windangriffsfläche in Relation zur Mechanik und damit die Anlageneffizienz.

Durch die gegenläufigen Tandemflügel neutralisieren sich die Lagermomente von Auf- und Abwärtsbewegung. In der Mitte kommen sich die Flügel so nahe, dass zwischen den beiden Tragflächen eine Sogwirkung entsteht, die eine höhere Effektivität ermöglicht. Bewegen sich die Flügel aufeinander zu, wird die Luft zwischen ihnen beschleunigt. Durch die Beschleunigung kommt es wiederum zu einem Druckabfall, der die beiden Tragflächen aneinandersaugt und dadurch die Energieausbeute weiter erhöht.



Optimale Umkehrpunkte: aktive Steuerung zur Schonung der Mechanik ...



... und zur effizienten Nutzung der herrschenden Windkräfte



Dezentrale Energiegewinnung: hocheffiziente Umwandlung von Windkraft in elektrischen Strom

Selbstoptimierendes System bei allen Windstärken

Da sich die Windgeschwindigkeit üblicherweise ständig ändert, muss die Anlage entsprechend auf ihre Umwelt reagieren. Dank seiner intelligenten Steuerungs- und Regelungstechnik kann sich der DualWingGenerator variabel auf unterschiedliche Umgebungsbedingungen einstellen und richtet sich zudem stets quer zur Windrichtung aus. Um so viel Energie wie möglich zu gewinnen, muss das System zur jeweiligen Windgeschwindigkeit sechs wesentliche Parameter optimal aufeinander abstimmen.

1. Die Schlagfrequenz der Flügel

Wie schnell ein Flügel schlägt, hängt wesentlich von den mechanischen Eigenschaften des Systems ab. Eine gewisse Variationsbreite ergibt sich aus dem Anstellwinkel der Flügel sowie der Last, die dem Wind entgegengesetzt wird – das heißt, wie viel Energie dem System entnommen wird. Dabei gilt: je höher die Last, desto größer die Bremswirkung auf die Kinematik.

2. Die Amplitude des Flügelschlags

Wie weit die Flügel bei ihrer Hubbewegung auseinander und wieder zusammengehen, wird durch das Auslösen der Verdrehung bestimmt. Über diesen Zeitpunkt kann auch der Abstand zwischen den Flügeln und damit die Energieeffizienz des Systems entscheidend beeinflusst werden.

3. Die Anstellwinkel in den Flügelwurzeln

Die Winklereinstellungen für die Verdrehung der Tragflächen gegenüber dem anströmenden Wind regelt das System direkt über die Ansteuerung der beiden Servomotoren.

4. Der Zeitpunkt der Auslösung der Verdrehung

Der Zeitpunkt, zu dem die Flügeldrehung einsetzt, kann in Abhängigkeit von der Hubhöhe gesteuert werden und ist ein zentraler Optimierungsparameter. Dabei stellt sich das System innerhalb von Sekundenbruchteilen auf die jeweilige Situation ein.

5. Die Stellgeschwindigkeit der Flügeldrehung

Die Geschwindigkeit mit der die Flügel ihren Anstellwinkel für die Umkehr der Hubrichtung verstellen, steuern ebenfalls die Motoren in den Flügelwurzeln.

6. Steifigkeit der Speicherfedern

Wie schnell die Umkehrung der Hubrichtung erfolgt, hängt von der zusätzlichen Energie ab, die in den Speicherfedern an beiden Enden des Hubwegs vor der Richtungsumkehr gesammelt wurde. Je mehr Energie nach der Richtungsumkehr für die Beschleunigung der Flügelpaare zur Verfügung steht, desto höher ist die Hubfrequenz.

Die Steifigkeit der Speicherfedern ist derzeit ein statischer Parameter. Der maximale Anstellwinkel, der Zeitpunkt der Auslösung der Verdrehung und die Stellgeschwindigkeit sind dynamische Parameter und können unabhängig optimiert werden. Aus diesen dynamischen Parametern und der herrschenden Windgeschwindigkeit leitet das System die Frequenz und Amplitude des Flügelhubs ab. Optimal eingestellt, entstehen dabei die strömungsmechanischen Effekte, die eine effiziente Entnahme der Energie erlauben.



Funktionale Einheit: das Flügelpaar einer Seite