

# Airborne Wind Energy

## Flugwindenergieanlagen zur Nutzung von Höhenwind



Der russische Angriffskrieg auf die Ukraine hat der Notwendigkeit einer schnellen Dekarbonisierung der Energieversorgung nicht nur in Deutschland, sondern in ganz Europa neue Dringlichkeit verliehen. In Deutschland wird daher der Ausbau der Gewinnung elektrischer Energie aus Sonne und Wind deutlich beschleunigt werden müssen.

Da gute Standorte für Windenergieanlagen an Land nur begrenzt verfügbar sind, wurden bereits in den vergangenen Jahren Windturbinen zunehmend offshore vor den Küsten gebaut. Mit zunehmender Wassertiefe wird jedoch die Gründung am Meeresboden immer aufwendiger und teurer. Eine weitere Herausforderung ist die Volatilität der Energiegewinnung aus Wind und Sonne, denn gerade in Bodennähe kann die Windgeschwindigkeit stark schwanken.

Eine mögliche Lösung besteht darin, Wind in größeren Höhen zwischen 300 Metern und 1000 Metern zur Gewinnung elektrischer Energie zu nutzen, da die Windgeschwindigkeit dort größer und beständiger ist als in Bodennähe. Allerdings ist es nahezu unmöglich und zumindest unwirtschaftlich, Windenergieanlagen herkömmlicher Bauart, also mit einem Turm, an dessen Spitze die Windturbine und der Generator installiert

sind, mit derartigen Höhen zu errichten.

Im Projekt Sky-Power100 verfolgt ein Konsortium bestehend aus der Hamburger Firma SkySails, den Energieversorgungsunternehmen EnBW und EWE sowie dem Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL) der Leibniz-Universität ein komplett anderes Konzept, das im Bild links oben auf der Marginalie schematisch dargestellt ist.

Es basiert auf einem flexiblen Flugdrachen, einem sogenannten Kite, wie er zum Beispiel vom Kite-Surfen bekannt ist. Das Kite wird vom Wind angetrieben und über ein Seil und eine Winde mit einer elektrischen Maschine in einer Bodenstation verbunden. Im Auswindschbetrieb wird der Flugdrachen im Wind

durch eine kleine, mitfliegende Aktorik so gesteuert, dass er dynamisch fliegt. Die Flugbahn gleicht dabei einer liegenden Acht. Dabei rollt der Flugdrachen das Seil von der Seiltrommel ab und treibt die elektrische Maschine an, die nun als Generator arbeitet und elektrische Energie erzeugt.

Wenn die maximale Seillänge – dies können bis zu 1000 Meter sein – erreicht ist, wird der Flugdrachen in die sogenannte neutrale Position gelenkt, bei der er im Wind stillsteht, und von der nun als Motor arbeitenden elektrischen Maschine am Seil wieder zur Seiltrommel hingezogen, bis er eine untere Flughöhe von etwa 200 Meter erreicht hat. Dann beginnt der Zyklus von neuem. Im Auswindschbetrieb wird dabei deutlich mehr elektrische Energie erzeugt, als in der Einwindschphase



Abbildung 1  
Systemtest des Energiewandlungssystems von SkyPower 100 am GeCoLab des IAL  
Foto: Volker Schöber

verbraucht wird, da der Flugdrachen beim dynamischen Fliegen circa fünfmal so viel Kraft auf das Seil ausübt als in der neutralen Position in der Einwischphase.

Das Projekt SkyPower 100 soll demonstrieren, dass der vollautomatische Betrieb und die Stromerzeugung mittels derartiger Flugwindkraftanlagen einschließlich automatisierter Starts und Landungen des Kites möglich und zuverlässig sind. Das IAL verantwortet dabei die systematische Konzeption, Dimensionierung, Simulation und vergleichende Bewertung verschiedener möglicher Varianten für die elektromechanische Energieumwandlung zwischen Seiltrommel und Netzanschluss, wobei auch die Umweltfreundlichkeit der Komponenten selbst, beispielsweise der Verzicht auf kritische Materialien wie Selten-Erd-Metalle, ein wichtiges Bewertungskriterium darstellt.

Dabei muss das Energieumwandlungssystem so konzipiert sein, dass es hohe Wirkungsgrade über einen weiten Betriebsbereich besitzt und Überlastbarkeit, Stabilität, Redundanz und eine lange Lebensdauer insbesondere für Offshore-Anwendungen bietet. Im Rahmen des Projekts wurde schließlich ein Pilot-Generator mit Ferritmagnet-Rotor und einer Spitzenleistung von mehr als 300 kW realisiert.

Eine besondere Herausforderung liegt bei Flugwindenergieanlagen in den Materialien für das Seil und den Flugdrachen selbst, die gleichermaßen besonders leicht, besonders winddicht und besonders reißfest sein müssen. Aber die ungleichförmigen Drehmoment- und Drehzahlverläufe und die fluktuierende Leistung haben auch direkte Auswirkungen auf die thermische Dimensionierung des

Motor-Generators und besonders der leistungselektronischen Komponenten, die den Motor-Generator mit dem Netz verbinden und, kombiniert mit einer Pufferbatterie, eine gleichmäßige Energieabgabe an das Netz und die Einhaltung der üblichen Netzanschlussbedingungen gewährleisten. Auch die Synchronisation mehrerer Anlagen in einem Windparkzenario erfordert besondere Vorkehrungen in der Steuerung und Regelung des Energiewandlungssystems.

Ein wesentliches Ziel des Projekts SkyPower 100 ist, die Funktionsfähigkeit und den Nutzen von Flugwindenergieanlagen auch praktisch zu untersuchen und nachzuweisen. Im Sommer 2020 wurde das Energiewandlungssystem selbst, das heißt der Motor-Generator und die leistungselektronischen Komponenten am Großprüfstand des IAL, dem sogenannten GeCoLab (Generator Converter Laboratory), aufgebaut und umfangreichen Systemtests unterzogen (siehe Bild 1).

Nach dem Einbau des Antriebs in die Seilwinde wurde im Juni 2022 die gesamte vollautomatische Flugwindenergieanlage mit einer durchschnittlichen Netzeinspeiseleistung von 100 kW in der Nähe von Klixbüll (Nordfriesland) erfolgreich in Betrieb genommen und unter realen Bedingungen auch im Dauertestbetrieb erprobt (siehe Bild 2). Dabei wurden als Begleitforschung auch Umweltverträglichkeitsaspekte wie Schallemissionen sowie mögliche Auswirkungen auf die Vogelwelt untersucht, beides mit ermutigenden Ergebnissen: Die Schallemissionen sind gering, und Vögel lassen sich durch die Flugdrachen offenbar nicht stören.

Die im Projekt gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass



Flugwindenergieanlagen insbesondere für die Stromerzeugung an abgelegenen Stellen (zum Beispiel auf Inseln) oder offshore geeignet sind, da gerade offshore auf aufwendige Gründungen für schwere und hohe Strukturen am Meeresgrund verzichtet werden kann. Stattdessen passt die Gesamtanlage in einen handelsüblichen Überseecontainer und kann beispielsweise auf einem schwimmenden Ponton installiert werden. Derzeit werden mit Unterstützung des IAL Anlagen im für die kommerzielle Energieerzeugung interessanten Leistungsbereich zwischen 1 MW und 5 MW konzipiert und dimensioniert.

Abbildung 2  
Im Probebetrieb: Die erste Höhenwindenergieanlage Deutschlands bei Klixbüll in Schleswig-Holstein.  
Foto: Skysails

**Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick**  
**Daniel Heide, M.Sc.**  
**Bakr Bagaber, M.Sc.**  
**Dr.-Ing. Jörn Steinbrink**  
**Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68