

Windturbines kunnen er in de toekomst heel wat anders uitzien. Tonnen staal, beton en composietmaterialen van de toren en de wieken worden vervangen door automatisch gestuurde vliegers.
Deze nemen de taak van de wieken op zich en drijven met hun trekkracht via een kabel een generator op de begane grond aan. Een andere mogelijkheid is kleine generatoren aan boord van de vlieger aan te drijven met kleine inverse propellers op de vleugels. Maak kennis met de inspirerende wereld van de vlieger-energie.

Reinhart Paelinck, Kurt Geebelen, Sébastien Gros, Jan Swevers, Dirk Vandepitte & Moritz Diehl

Snelle vliegers ma

SNELHEID IS DE SLEUTEL

Iedere vliegeraar en kitesurfer kent het wel: door een vlieger snel doorheen het windvenster te sturen, ontwikkelt deze een enorme trekkracht op de lijnen. De kracht op een vleugel neemt namelijk met het kwadraat van de windsnelheid, relatief t.o.v. de vlieger, toe. Vliegeraars worden hierdoor voortgesleept, en kitesurfers gebruiken deze kracht om metershoog in de lucht te springen.
Als men een vlieger dwars door het windvenster laat vliegen met een snelheid die 10 keer groter is dan de windsnelheid, ontwikkelt deze een trekkracht die 100 keer hoger is dan wanneer de vlieger statisch aan de hemel staat.

In vlieger-energie wordt getracht de minder efficiënte delen van de klassieke windturbine weg te werken. Slechts het uiteinde van de wieken van deze windturbine is efficiënt, omdat dit sneller door de wind heen beweegt dan het centrale deel. Indien een vlieger, verankerd aan de grond via een kabel, een bepaald traject vliegt in de lucht, is de krachtwerking te vergelijken met deze op het uiteinde van de wiek.


Reinhart PAELINCK


Kurt GEEBELEN


Sébastien GROS


Jan SWEVERS


Dirk VANDEPITTE


Moritz DIEHL



aken groene stroom

Deze vlieger heeft echter nog **twee grote voordelen** ten opzichte van deze windturbines, namelijk

- dat deze op een grotere hoogte dan de windturbine kan werken waar de wind harder en consistenter waait,
- dat veel minder materiaal nodig is voor hetzelfde vermogen, en daardoor de kost van de geproduceerde elektriciteit veel lager kan zijn.

Beide voordelen zijn te danken aan de vervanging van de toren en centrale wiekdelen door een kabel, waardoor beperkende schaaleffecten slechts minimaal optreden. Voor het verdubbelen van de hoogte van een windturbine heb je immers 8 keer zoveel materiaal nodig. Door het ontbreken van een zware toren en een gigantisch moment op de fundering maakt vlieger-energie het mogelijk windparken op zee te maken waarbij de generatoren zich bevinden op drijvende platformen, waardoor ook in diepere wateren windenergie geoogst kan worden. Het vervangen van de statische torenconstructie door een vlieger aan een kabel heeft wel zijn prijs: de vlieger blijft niet uit zichzelf in de lucht.

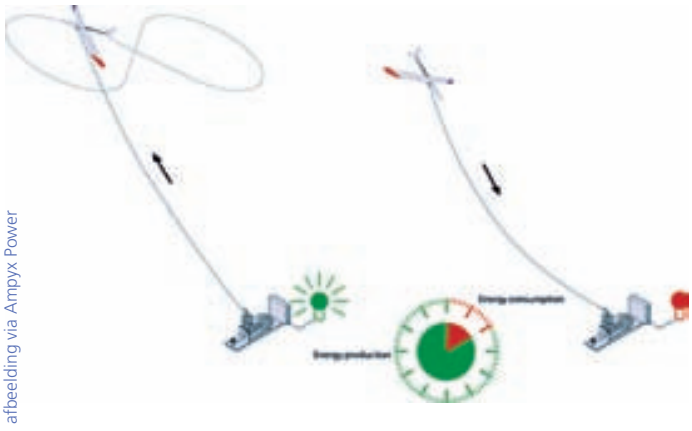


Foto1: de high-tech vliegers van Makani Power.

Zo staan twee obstakels een potentiële doorbraak in de windenergiesector nog in de weg: **betrouwbare automatische controle**, en **automatische start en landing van de vliegers**.
Beide worden aangepakt in onderzoek aan de K.U.Leuven, in het kader van het Europese onderzoeksproject ERC Highwind (2011-2015) onder leiding van Prof. Moritz Diehl (Dept. Elektrotechniek, K.U.Leuven) in samenwerking met Prof. Jan Swevers en Prof. Dirk Vandepitte (Werktuigkunde, K.U.Leuven).

Verankerde vliegtuigen

De onderzoeksgroep in Leuven is echter niet de enige in de wereld die het potentieel ziet in deze technologie. Een steeds groter aantal opstartende bedrijven en kenniscentra legt zich toe op de ontwikkeling van verscheidene concepten rond het oogsten van windenergie met vliegers. Deze baseren zich allen op het onderzoek van Ir. M. L. Loyd, die de mogelijkheid om energie op te wekken met 'verankerde vliegtuigen' reeds in de jaren '70 onderzocht. Hij documenteerde en publiceerde zijn bevindingen in *'Crosswind Kite Power'*, en hij patenteerde wat vandaag de dag een van de twee basismethoden in vlieger-energie is.



Figuur1: tijdens fase 1 van de pompcyclus oefent de vlieger een hoge trekkracht uit op de kabel, en wordt deze afgerold.
Tijdens de daaropvolgende recuperatiefase wordt de vlieger zo gestuurd dat deze slechts een minimale trekkracht uitoefent op de kabel, zodat deze kan worden ingetrokken met slechts een fractie van de in fase 1 geoogste energie.

Hij beschrijft hoe een vliegtuig, bevestigd aan een sterke kabel, cirkels vliegt in het windvenster, en daarbij een kleine windturbine op de vleugel aandrijft. Makani Power (Californië, USA), opgestart in 2006 met steun van Google.org, focust zich op de ontwikkeling van deze specifieke techniek. Zij bevestigen meerdere kleine inverse propellers met generatoren aan de vlieger zelf.
Deze propellers worden aangedreven door de hoge relatieve windsnelheid en hierdoor wekt de generator elektriciteit op, waarna deze door de kabel, waaraan de vlieger bevestigd is, naar de grond wordt overgebracht. Op dit moment worden bij Makani Power vliegers met een vermogen van 20 kW getest, met een spanwijdte van 7 meter [foto1]. Een belangrijk voordeel van deze aanpak is dat de propellers ook gebruikt kunnen worden om de vlieger verticaal te laten stijgen en landen.
De andere aanpak in vlieger-energie is deze waarbij de generator zich op de grond bevindt. De generator is dan verbonden aan een spoel waarrond de kabel van de vlieger gewikkeld is. De grote trekkracht van de vlieger op de kabel en de daardoor geïnduceerde afwikkeling van de spoel zorgt ervoor dat de generator elektriciteit opwekt. [figuur1]

De lengte van de kabel is echter eindig, waardoor deze na de opwekkingsfase (tijdens het afrollen van de spoel) ook weer opgerold dient te worden. In deze recuperatiefase wordt de trekkracht van de vlieger gereduceerd door de invalshoek van de vleugel ten opzichte van de relatieve wind te verlagen waardoor het liftende effect verkleint, waardoor de kabel met een minimale hoeveelheid energie weer opgerold kan worden.
De periodieke afwisseling tussen het af- en oprollen van de kabel en het respectievelijke opwekken en verbruiken van energie (waarbij de netto-energie positief is) wordt de pompcyclus genoemd.

Zowel de T.U.Delft, Ampyxpower, Aeroix, Skysails Power en een tiental andere groepen gebruiken surfkites, parapentes en vliegtuigen om via deze pompcyclus elektriciteit op te wekken. Skysails gebuikt op dit moment reeds vliegers met een oppervlakte tot 320m^2 die een extra vermogen van 2MW aan het schip leveren, wat een brandstofbesparing van 30% oplevert.

Dansende vliegers

Als twee vliegers aan één enkele kabel worden bevestigd als *'Dansende vliegers'* [foto 2], kan de performantie van beide basismethoden nog worden verhoogd. Eén enkele kabel vertrekt van een ankerpunt op de grond, en splitst na een bepaalde afstand op in twee kabels, elk met een vlieger aan het uiteinde. Deze methode, bedacht door Dr. Boris Houska en Prof. Moritz Diehl in 2006, zorgt ervoor dat de weerstand van de kabels in de lucht sterk verminderd wordt, aangezien de enkele kabel bijna statisch in de lucht hangt en enkel de twee vliegers en kortere kabels hoge snelheden halen. De twee vliegers volgen namelijk een traject waarbij ze de splitsing in de kabel als hun ankerpunt beschouwen. De performantiewinst van meer dan 40% ten opzichte van een systeem met één enkele vlieger, gaat echter wel gepaard met meer complexe landings- en lanceringsprocedures, aangezien de twee vliegers elkaar constant beïnvloeden.

ERC Highwind

Aan de K.U.Leuven wordt in het ERC Highwind-project gewerkt aan optimale controle van vliegers, met een geplande 24 uur durende vlucht in 2014, inclusief automatische start en landing. Sinds 2010 wordt er gewerkt aan een methode om *'verankerde vliegtuigen'* zelfs zonder wind hoogte te laten winnen. Het is namelijk mogelijk dat dicht bij de grond de windsnelheid zeer laag is terwijl er op grotere hoogte wel voldoende wind is om energie op te wekken.

Een roterende arm [foto 3] zorgt ervoor dat de vliegtuigen een voldoende grote schijnbare wind ondervinden om zichzelf in de lucht te kunnen houden, waarna de kabels traag uitgerold worden om hoogte te winnen.

Het globale doel van het project is deze vliegtuigen tijdens hun hele vlucht zo betrouwbaar mogelijk automatisch te sturen met behulp van modelgebaseerde predictieve controletechnieken. Zo worden stabiele, robuuste vliegtrajecten gegenereerd en geoptimaliseerd. Deze trajecten beschrijven de route die het vliegtuig moet volgen in de lucht om zo efficiënt mogelijk energie te genereren zonder hierbij het risico te lopen om neer te storten. Het uiteindelijke doel van deze trajectoptimalisatie is het vinden van een traject dat inherent stabiel is, zodat het vliegtuig dit traject volgt zonder actieve controle-inputs.



Foto 2: als twee vliegers aan één enkele kabel worden bevestigd als 'Dansende vliegers' verhoogt de performantie met 40% per vlieger.

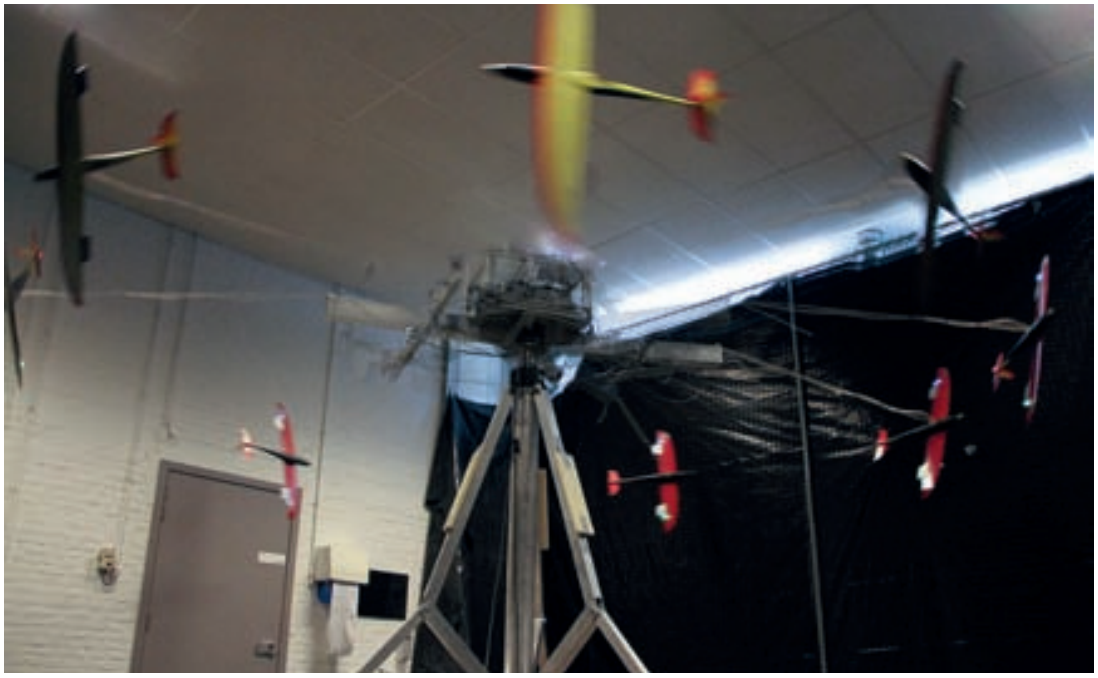


Foto 3: een roterende arm creëert artificiële wind, en laat zo toe dat ook in een binnenomgeving controle-experimenten uitgevoerd kunnen worden. Vliegers zonder propeller kunnen zo ook hoogte winnen in zeer lage windsnelheden.

Hiertoe worden onder leiding van Dr. Sébastien Gros gedetailleerde mathematische modellen van zowel de vliegtuigen als de kabel ontwikkeld, en worden voor de meer experimentele kant van het project mechatronische systemen voor een testopstelling, die automatisch opstijgen, trajecten vliegen en landen mogelijk maakt, ontworpen. Ook worden verschillende sensoren voor positie- en oriëntatie-schatting van het verankerde vliegtuig afgesteld en samengevoegd. De voortgang van dit project wordt steeds gepubliceerd op www.highwind.be

Zullen vliegers zorgen voor een revolutie in de vergroening van de energiesector, net zoals een goede 100 jaar geleden de Wright Brothers de vlieger gebruikten als basis voor hun vliegtuigen? De theorie is alvast veelbelovend, en als het van de inspanningen van het steeds groter aantal vlieger-onderzoekers en bedrijven ligt wel. Zij zijn het er in elk geval over eens: vliegers zijn geen speelgoed.

Referenties

M. Loyd. Crosswind Kite Power. Journal of Energy, 4(3):106-111, July 1980.

C. Archer and K. Caldeira. Global Assessment of High-Altitude Wind Power. Energies, 2, 307-319, 2009.

M. Diehl and B. Houska. Wind Power via Fast Flying Kites: a Challenge for Optimization and Control. at-automatisierungstechnik, 57(10): 525-533, 2009.

K. Geebelen and J. Gillis. Modelling and control of rotational start-up phase of tethered aeroplanes for wind energy harvesting. Master's thesis, K.U.Leuven, June 2010.

A. Ilzhoefer, B. Houska and M. Diehl. Nonlinear MPC of kites under varying wind conditions for a new class of large scale wind power generators. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 17, 1590-1599, 2007.

Over de auteurs

Reinhart PAELINCK: vrijwillig wetenschappelijk medewerker, Departement Elektrotechniek, Afdeling ESAT - SCD: SISTA/COSIC/DOCARCH, K.U.Leuven.
reinhart.paelinck@esat.kuleuven.be

Kurt GEEBELEN: doctoraatsbursaal, Departement Werktuigkunde, Afdeling Productietechnieken, Machinebouw en Automatisering, K.U.Leuven.
kurt.geebelen@mech.kuleuven.be

Sébastien GROS: postdoctoraal onderzoeker, Departement Elektrotechniek, Afdeling ESAT - SCD: SISTA/COSIC/DOCARCH, K.U.Leuven.
Sebastien.Gros@esat.kuleuven.be

Prof. Jan SWEVERS: Departement Werktuigkunde, Afdeling Productietechnieken, Machinebouw en Automatisering, K.U.Leuven.
Jan.Swevers@mech.kuleuven.be

Prof. Dirk VANDEPITTE: Departement Werktuigkunde, Afdeling Productietechnieken, Machinebouw en Automatisering, K.U.Leuven.
Dirk.Vandepitte@mech.kuleuven.be

Prof. Moritz DIEHL: Departement Elektrotechniek, Afdeling ESAT - SCD: SISTA/COSIC/DOCARCH, K.U.Leuven.
moritz.diehl@esat.kuleuven.be

Links of interest

www.highwind.be
www.ampyxpower.com
www.makanipower.com
www.skysailspower.com