

dossier.

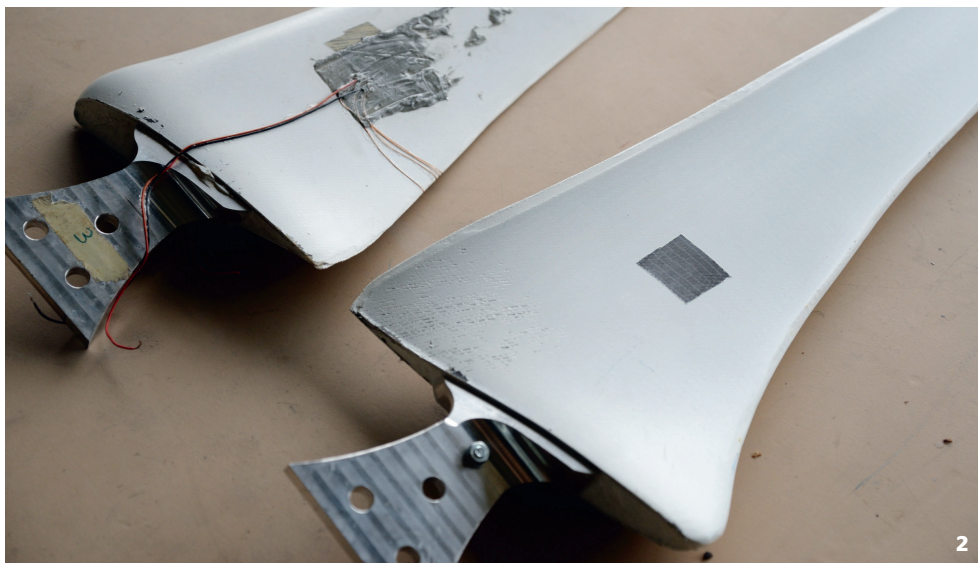
Forschen für die Windenergie

Nachhaltigkeit steigern | Obwohl die Schweiz beim Windenergieausbau den Nachbarländern massiv hinterherhinkt, muss sich die hiesige Forschung und Entwicklung in Sachen Windenergie nicht verstecken.

Recherches en énergie éolienne

Améliorer la durabilité | Bien que la Suisse soit nettement à la traîne par rapport à ses voisins en matière d'expansion de l'éolien, elle n'a pas à rougir de la recherche et des développements qui y sont effectués dans ce domaine.





1 Sarah Barber vor dem Windkanal in Jona. Sie leitet die Windenergieforschung an der Fachhochschule OST.

Sarah Barber devant la soufflerie de Jona. Elle dirige la recherche en matière d'énergie éolienne à la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST.

2 Flügelprototyp mit Flachfasern. Das Ziel: besser rezyklierbare Materialien für Windanlagen.

Prototype de pale à base de fibres de lin. L'objectif : des éoliennes réalisées avec des matériaux pouvant être mieux recyclés.

3 Ein Band mit Drucksensoren, das auf Windflügel aufgeklebt wird und sich selbst mit Energie versorgen kann.

Ce ruban muni de capteurs de pression peut être collé sur des pales d'éolienne et s'alimenter lui-même en énergie.

KARIN WEINMANN

Die Schweiz gilt nicht gerade als Vorzeigeland in Sachen Windenergie. Vom Ziel der Energiestrategie 2050, laut dem Windenergieanlagen jährlich 4 TWh Strom erzeugen sollen, ist das Land noch weit entfernt. Von den rund 800 bis 900 Anlagen, die gemäss BFE dafür nötig wären, sind heute gerade 41 in Betrieb.

Und doch arbeiten in der Schweiz zahlreiche Menschen für die Windenergiebranche: Bei Zulieferern, Dienstleistern oder Technologieexperten. Da gibt es zum Beispiel Tech-Jungunternehmen wie Sulzer und Schmid Laboratories mit Sitz im Zürcher Oberland, dessen Drohnensystem die notwendige periodische Inspektion der Rotorblätter massiv vereinfacht: Die Flugroboter fliegen die Windenergieanlagen autonom ab und liefern hochauflösende Bilder des inspizierten Blatts. Oder Winji AG in Zürich. Ihre Software analysiert Echtzeit-Daten aus Wind- und Solarkraftparks und ermöglicht es so, deren Produktion kontinuierlich zu optimieren. Sie und zahlreiche weitere Unternehmen finden ihre Kunden hauptsächlich in der ausländischen Windenergiebranche.

Auch ein grosser Teil der Windenergieforschung in der Schweiz zielt auf globale Anwendungen. Die Szene der Forschenden im Land ist überschaubar verglichen mit anderen Energiethemen wie Solar oder Speicherung. Das liegt aber nicht daran, dass es keine spannenden Projekte gäbe. Denn obwohl die Technik der Windkraftanlagen bereits relativ ausgereift ist, existiert noch einiges an Forschungsbedarf. Im Wissenschaftsmagazin «Science» haben Forschende im Bereich Windenergie in einem Reviewpaper die grossen Herausforderungen bei der Windenergieforschung identifiziert.[1]

Die Forschenden sehen die Wissenschaft vor allem in drei Bereichen in der Pflicht. Erstens gilt es, die Strömungsphysik in der atmosphärischen Grenzschicht beim Betrieb der Windkraftanlagen besser zu verstehen. Der zweite Punkt ist die Weiterentwicklung der Werkstoffe und der Systemdynamik einzelner Windturbinen. Und drittens die Optimierung und Steuerung ganzer Flotten von Windkraftanlagen, bei denen zum Teil Hunderte individuelle Generatoren synergisch in einem grösseren Elektrizitätsnetz zusammenarbeiten.

Mit Einsatz für die Windforschung

Sarah Barber ist promovierte Ingenieurin und lehrt und forscht am Institut für Energietechnik der Ostschweizer Fachhochschule OST in Rapperswil-Jona zum Thema Windenergie. Gleichzeitig engagiert sie sich auch für eine vernetzte und sichtbare Forschungs- und Entwicklungslandschaft zur Windkraft in der Schweiz. Das kann, wie sie erzählt, manchmal auch frustrierend sein. Denn ihre Leidenschaft ist nicht der politische Kampf um Akzeptanz, sondern die Technik und die Innovation. Dank ihrem Einsatz gelang es ihr, aus einem Teilzeitpensum als Dozentin an der damaligen HSR in Rapperswil eine Forschungsgruppe mit fünf Mitgliedern aufzubauen – alle durch selbst akquirierte Gelder finanziert, wie sie betont. An diese zu gelangen, ist aber aufgrund geringer Priorität der Windenergie in der Schweiz nicht einfach.

La Suisse n'est pas exactement considérée comme un pays modèle en matière d'énergie éolienne. Elle est encore bien loin de l'objectif de la Stratégie énergétique 2050, qui stipule que l'éolien devra produire 4 TWh d'électricité par an. Sur les 800 à 900 éoliennes qui, selon l'OFEN, seraient nécessaires à cet effet, seules 41 sont actuellement en service.

Et pourtant, nombreux sont ceux qui, en Suisse, travaillent dans le secteur de l'éolien, que ce soit chez des fournisseurs, des prestataires de services ou en tant qu'experts en technologie. Il existe, par exemple, de jeunes entreprises technologiques telles que Sulzer & Schmid Laboratories, située dans l'Oberland zurichoïse, dont le système basé sur des drones simplifie massivement l'inspection périodique indispensable des pales: ils survolent les éoliennes de manière autonome et fournissent des images à haute résolution des pales inspectées. Ou Winji AG, à Zurich: leur logiciel analyse les données des parcs éoliens et photovoltaïques en temps réel et permet ainsi d'optimiser continuellement leur production. Ces entreprises, comme de nombreuses autres, trouvent leurs clients principalement dans le secteur éolien à l'étranger.

En Suisse, une grande partie de la recherche consacrée à l'éolien est également destinée à des applications mondiales. À l'échelle nationale, le nombre de chercheurs y est relativement restreint par rapport à d'autres domaines énergétiques tels que le photovoltaïque ou le stockage. Mais ce n'est pas faute de projets passionnants. En effet, bien que la technologie des éoliennes soit déjà relativement mature, certains besoins se font encore ressentir en matière de recherche. Dans un «review paper» publié dans la revue scientifique Science, des chercheurs du domaine de l'éolien ont identifié les principaux défis auxquels est confrontée la recherche dans ce secteur.[1]

Les chercheurs considèrent que la science doit avancer dans trois domaines en particulier. Il s'agit, premièrement, de mieux comprendre la physique des fluides dans la couche limite atmosphérique pendant le fonctionnement des éoliennes. Le deuxième point consiste à poursuivre le développement des matériaux et de la dynamique du système des éoliennes individuelles. Quant au troisième, il s'agit de l'optimisation et du contrôle de parcs entiers d'éoliennes, dans lesquels parfois des centaines de générateurs individuels travaillent en synergie au sein d'un réseau électrique plus vaste.

Avec engagement dans la recherche éolienne

Titulaire d'un doctorat en ingénierie, Sarah Barber enseigne et effectue des travaux de recherche dans le domaine de l'éolien à l'Institut de technologie énergétique de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST, à Rapperswil-Jona. Parallèlement, elle s'engage en faveur de la mise en réseau et de la visibilité de la R&D (recherche et développement) dans ce domaine en Suisse. Selon ses dires, cela peut parfois se révéler frustrant. Parce que ce n'est pas la lutte politique pour l'acceptation qui la passionne, mais la technologie et l'innovation. Grâce à son

Um die verstreute Forschungs- und Entwicklungslandschaft in Sachen Windenergie zu vernetzen, hat Barber im Jahr 2020 das Schweizer Forschungsnetzwerk für Windenergie «The Swiss Wind Energy R&D Network» gegründet. «Die Hauptmotivation für das Netzwerk ist, die richtigen Leute in der Schweiz zusammenzubringen – und die Windenergiebranche auf aktuelle Technologien aufmerksam zu machen, auch international», erklärt Barber im Gespräch. Denn Schweizer Forschungsgruppen wissen oftmals nicht viel von den Unternehmen, die im Dienst der globalen Windenergie stehen; und Unternehmen wissen nicht immer, welche Technologien für die Windenergie relevant sind. Dazu gehören beispielsweise Machine Learning, künstliche Intelligenz, intelligente Messtechnik oder Faserverbundmaterialien.

Ein Marktplatz für Innovationen

«Knowledge Sharing», also Wissen zu teilen, ist ein grosses Thema in der Windenergie. «Es gibt sehr viele Daten – die müssen irgendwie geteilt, analysiert und ausgewertet werden», erklärt Barber. Das Problem: Die Anlagenbetreiber generieren zwar Daten, haben aber oft keine Ressourcen für ihre Auswertung. Technologiefirmen und Forschungsgruppen benötigen hingegen reale Daten, um ihre Lösungen, Algorithmen und Modelle zu testen und zu füttern, haben aber meist keinen Zugang zu Anlagen.

«Diese beiden Seiten zusammenzubringen, ist eines der Ziele der neuen WeDoWind-Plattform», sagt Barber. Diese Plattform entwickelt Barber zusammen mit «The Swiss Wind Energy R&D Network».[2] So können Betreiber eine Challenge auf die Plattform laden, etwa die Frage, wie sich wiederkehrende Generatorausfälle verhindern lassen. Sie liefern dazu ihre Messdaten. Forschende und Technologiefirmen können mit Lösungsideen reagieren und diese hochladen.

Diese Plattform soll sich nun weiterentwickeln. «Wir suchen im Moment Gelder, um aus der Plattform einen echten internationalen Innovationsmarktplatz zu machen. So etwas gibt es derzeit noch nicht», so Barber. Sie und ihr Team wollen einen standardisierten Prozess für die Lösungsfindung für die Herausforderungen der Betreiber: Eine Plattform, wo die Firmen die angebotenen Lösungen direkt als App downloaden und testen können.

Ziel ist eine Kultur der «Open Innovation», wo also neue Produkte und Lösungen nicht mit Geheimhaltungsverträgen hinter verschlossenen Türen entwickelt werden, sondern die Innovationsprozesse geöffnet und Kunden, Forschende, Partner und auch Lieferanten darin eingebunden werden.

Erosion aerodynamisch messen

Sarah Barber hat den Fokus ihres Forschungsprogramms klar definiert. «Mein Ziel ist eine nachhaltige, inklusive Digitalisierung der Windenergie», erklärt sie. Für die Inklusion setzt sie sich auch international ein: Als neues Mitglied der European Academy of Wind wurde sie gleich zur Vorsitzenden des «Chair of Diversity Committee» gewählt. Ziel ist, die Diversität in der Windenergiebranche zu fördern, etwa indem Frauen mit Mentorings unterstützt werden.

engagement, elle a pu – à partir d'un poste de chargée de cours à temps partiel à l'ancienne Haute école de Rapperswil – constituer un groupe de recherche de cinq membres, le tout financé par des fonds qu'elle a elle-même acquis, comme elle le souligne. Au vu du faible niveau de priorité accordé à l'éolien en Suisse, cela relève de l'exploit.

Afin de mettre en réseau les acteurs éparpillés de la R&D dans le domaine de l'éolien, Sarah Barber a fondé en 2020 le réseau suisse de R&D en énergie éolienne «The Swiss Wind Energy R&D Network». «La principale motivation de ce réseau est de réunir les personnes appropriées en Suisse et de sensibiliser le secteur de l'éolien aux technologies actuelles, et ce, également au niveau international», explique-t-elle. En effet, les groupes de recherche suisses ne connaissent souvent pas bien les entreprises qui sont au service de l'énergie éolienne à l'échelle mondiale; et les entreprises ne savent pas toujours quelles technologies sont pertinentes pour l'éolien. Parmi celles-ci se trouvent, par exemple, l'apprentissage automatique, l'intelligence artificielle, la technologie de mesure intelligente ou des matériaux composites en fibres.

Un marché pour les innovations

Le «knowledge sharing», c'est-à-dire le partage du savoir, est important dans le domaine de l'éolien. «Il y a beaucoup de données – elles doivent être partagées, analysées et évaluées, d'une manière ou d'une autre», explique Sarah Barber. Le problème est le suivant: les exploitants d'installations génèrent certes des données, mais n'ont souvent pas les ressources nécessaires pour les analyser. Les entreprises technologiques et les groupes de recherche ont, quant à eux, besoin de données réelles pour tester et alimenter leurs solutions, algorithmes et modèles, mais n'ont généralement pas accès aux installations.

«Rapprocher ces deux mondes est l'un des objectifs de la nouvelle plateforme WeDoWind», déclare Sarah Barber à propos de la plateforme qu'elle développe en collaboration avec The Swiss Wind Energy R&D Network.[2] Les exploitants peuvent y télécharger un défi, par exemple demander comment prévenir les pannes récurrentes des générateurs, et fournissent, pour ce faire, leurs données de mesure. Les chercheurs et les entreprises technologiques peuvent répondre en proposant des idées de solutions et les télécharger.

Cette plateforme doit maintenant continuer à se développer. «Nous recherchons actuellement des fonds pour la transformer en un véritable marché international de l'innovation. Il n'existe encore rien de tel», explique Sarah Barber. Elle et son équipe veulent aboutir à un processus standardisé pour la recherche de solutions aux défis des exploitants: une plateforme où les entreprises peuvent télécharger et tester les solutions proposées, et ce, directement sous la forme d'une application.

L'objectif est d'instaurer une culture d'«open innovation», dans laquelle les nouveaux produits et solutions ne sont pas développés à huis clos avec des accords de non-divulgaration, mais où les processus d'innovation sont ouverts et auxquels les clients, les chercheurs, les partenaires et les fournisseurs sont associés.



Optimierung im Windkanal

Ein Multiprofil-Flügel von Skypull vertikal im Windkanal der ETH Zürich installiert.

Optimisation en soufflerie

Une pale multiprofil de Skypull installée verticalement dans la soufflerie de l'ETH Zurich.

Zum Thema Digitalisierung läuft gerade ein grösseres Forschungsprojekt gemeinsam mit zwei Abteilungen der ETH Zürich. Ziel von «Aerosense» [3] sind Druckmessensoren, die einfach auf die Rotorblätter aufgeklebt werden können und sowohl die Daten drahtlos übertragen als sich selbst auch mit Energie versorgen können. Die gewonnenen Daten sind wichtig, um die Aerodynamik auf den Rotorblättern zu verstehen. Damit können Hersteller ihre Modelle verbessern und noch effizientere Anlagen bauen.

Auch die Betreiber von Windfarmen sind an den Daten interessiert. Denn durch die Sensoren lässt sich die Abnutzung der Vorderkanten der Rotorblätter, die sogenannte Leading Edge Erosion, viel früher erkennen. Durch die Erosion der Kanten verändert sich die Strömung. Diese Abnutzung rechtzeitig zu erkennen, ist wichtig für die Anlagenbetreiber, da sich dadurch deren Leistung verringert.

«Bisherige Sensoren sind verdrahtet und relativ schwer», erklärt Sarah Barber. Für die Installation mussten Löcher in die Rotorblätter gebohrt werden und Drähte sind bei einem rotierenden System eine grosse Herausforderung.

Doch die bei Aerosense eingesetzten drahtlosen MEMS-Sensoren haben einen Nachteil: Sie sind weniger genau als ihre festverdrahteten Vorgänger. Im Projekt werden dafür auf einem Cloudsystem ein digitaler Zwilling und Machine-Learning-Plattformen implementiert, die es ermöglichen, die Kantenerosion zuverlässig aus den Sensordaten und Modellen festzustellen.

«Ab dem Herbst dieses Jahres sind die ersten Tests an einer echten Anlage geplant», sagt Barber. Ihre Abteilung hat für solche Versuche zwei Anlagen mit 6 kW Leistung gekauft. Diese stehen in Winterthur und sind rund 20 m hoch. Falls sich die Sensoren dort bewähren, werden sie im Frühling 2022 auf einer Grossanlage in Deutschland getestet – und sind dann bereit für die ersten Kunden.

Mesure de l'érosion grâce à l'aérodynamique

Sarah Barber a clairement défini l'objet de son programme de recherche. « Mon objectif est une numérisation durable et inclusive de l'éolien », explique-t-elle. Elle s'engage également en faveur de l'inclusion au niveau international: nouvelle membre de l'European Academy of Wind, elle a été directement élue présidente du « Chair of Diversity Committee », dont l'objectif est de promouvoir la diversité dans le secteur de l'éolien, par exemple en soutenant les femmes par le biais de « mentorings ».

Un grand projet de recherche relatif à la numérisation est actuellement en cours avec deux départements de l'ETH Zurich. L'objectif d'« Aerosense » [3] consiste à développer des capteurs de pression pouvant être simplement collés sur les pales de l'éolienne, capables de transmettre des données sans fil tout en s'alimentant eux-mêmes en énergie. Les données obtenues sont importantes pour comprendre l'aérodynamique des pales. Cela permet aux fabricants d'améliorer leurs modèles et de construire des éoliennes encore plus efficaces.

Les exploitants de parcs éoliens sont également intéressés par ces données. En effet, les capteurs permettent de détecter beaucoup plus tôt la « leading edge erosion », c'est-à-dire l'usure des bords d'attaque des pales, qui modifie l'écoulement. La détecter à temps est important pour les exploitants, car elle réduit les performances des éoliennes.

« Les capteurs utilisés jusqu'ici sont câblés et relativement lourds », explique Sarah Barber. Des trous ont dû être percés dans les pales pour leur installation, et les fils constituent un grand défi dans un système rotatif.

Mais les capteurs MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) sans fil utilisés dans Aerosense présentent un inconvénient: ils sont moins précis que leurs prédécesseurs câblés. Dans le cadre du projet, un jumeau numé-

Nachhaltige Rotorblätter

Eine der stetigen Herausforderungen bei der Windenergie sind die Werkstoffe für die Rotorblätter. Die Blätter bestehen meist aus glasfaserverstärkten Kunststoffen. Eine bislang ungelöste Herausforderung ist, was mit den bis zu 100 m langen Rotorblättern am Ende ihres Lebenszyklus geschehen soll. Das Material gilt nämlich bislang als kaum rezyklierbar.

Eines der Forschungsprojekte, die das Institut für Energietechnik der OST gemeinsam mit dem Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung der gleichen Hochschule verfolgt, ist deshalb, einen Werkstoff für diese Rotorblätter zu entwickeln, der aus nachwachsenden Rohstoffen besteht. «Im Moment laufen Versuche mit einem Verbundmaterial, das aus Flachfasern in Bioharz-Materialien besteht», so Barber. Das Team hat daraus Rotorblätter von rund einem Meter Länge fabriziert und auf einer kleinen Anlage montiert, um zu messen, wie sich das Material im Einsatz verhält.

Windenergie im Flug

Während sich ein Grossteil der Windenergie-Forschung auf die graduelle Verbesserung der existierenden «klassischen» Windkraftanlage konzentriert, tüfteln einige Jungunternehmen an der Möglichkeit, Windenergie aus höheren Luftschichten zu «ernten». In 500 m Lufthöhe bläst der Wind deutlich stärker als in Bodennähe. Ganz vorne dabei mischen zwei Start-ups aus der Schweiz mit: Twingtec aus Dübendorf ZH und Skypull aus Dino-Lugano TI.

Die fliegenden Windenergie-Lösungen der beiden Start-ups ähneln komplexen Flugdrachen: Sie sind durch ein Drahtseil mit der mobilen Bodenstation verbunden. Beim Hochfliegen rollt sich das Seil aus und erzeugt so durch den Generator Strom. Beide Start-ups haben bereits funktionierende Prototypen entwickelt und Skypull arbeitet derzeit in einem Projekt mit der OST daran, das aerodynamische Design ihres Flugelements zu verbessern.

Die Schweiz hat innovative Unternehmen und erfolgreiche Forschungsprojekte im Dienste der internationalen Windenergie. Es wird sich zeigen, ob in der Schweiz der Ausbau – sei es durch konventionelle oder neuartige Windenergieanlagen – bald die Fortschritte macht, die es für die erfolgreiche Umsetzung der Energiestrategie 2050 braucht. Und somit ermöglicht, dass exportierte Forschungsergebnisse wieder den Weg zurück in ihre Heimat finden und auch hier erneuerbare Energie erzeugen.

Referenzen | Références

- [1] Paul Veers et al., «Grand Challenges in the Science of Wind Energie», Science, Okt 2019, DOI : 10.1126/science.aau2027, science.sciencemag.org/content/366/6464/eaau2027.
- [2] www.wedowind.ch/collaboration-platform
- [3] www.aerosense.ai



Autorin | Auteurs

Karin Weinmann ist freie Wissenschaftsjournalistin.
Karin Weinmann est journaliste scientifique indépendante.
 → karin_weinmann@yahoo.de

rique et des plateformes d'apprentissage automatique sont implémentés sur un système en nuage, ce qui permettra de déterminer de manière fiable l'érosion des bords d'attaque à partir des données des capteurs et des modèles.

«Les premiers tests sur une véritable éolienne sont prévus dès cet automne», précise Sarah Barber. Son département a acheté deux éoliennes de 6 kW pour de tels essais. Celles-ci sont situées à Winterthur et mesurent environ 20 m de haut. Si les capteurs y font leurs preuves, ils seront testés sur une grande éolienne en Allemagne au printemps 2022 – puis ils seront prêts pour les premiers clients.

Des pales durables

L'un des défis qui reste à relever concerne les matériaux utilisés pour les pales. Celles-ci sont principalement composées de plastiques renforcés de fibres de verre, et la question du devenir des pales – qui peuvent atteindre 100 m de long – à la fin de leur cycle de vie n'a pas encore de réponse. Pour l'instant, le matériau reste en effet difficilement recyclable.

L'un des projets de recherche que l'Institut de technologie de l'énergie de l'OST mène en collaboration avec l'Institut de technologie des matériaux et de transformation des matières plastiques de la même haute école consiste donc à développer, pour ces pales, un matériau qui soit constitué de matières premières renouvelables. «Actuellement, des essais sont en cours avec un matériau composite constitué de fibres de lin dans des matériaux bio à base de résine», explique Sarah Barber. L'équipe a utilisé ce matériau pour fabriquer des pales d'environ un mètre de long, qu'elle a montées sur une petite éolienne afin de mesurer le comportement du matériau en cours d'utilisation.

L'éolien dans les airs

Alors qu'une grande partie de la recherche dans le domaine de l'éolien se concentre sur l'amélioration progressive des éoliennes «classiques» existantes, de jeunes entreprises s'intéressent à la possibilité de «récolter» de l'énergie éolienne dans les couches d'air supérieures. À 500 m au-dessus du sol, le vent souffle beaucoup plus fort qu'au niveau du sol. Deux start-up suisses se trouvent à l'avant-garde: Twingtec à Dübendorf/ZH et Skypull à Dino-Lugano/TI.

Les solutions éoliennes volantes des deux start-up ressemblent à des cerfs-volants complexes: elles sont reliées par un câble métallique à une station mobile au sol. En gagnant de la hauteur, la corde se déroule et génère ainsi de l'électricité grâce au générateur. Les deux start-up ont déjà développé des prototypes fonctionnels, et Skypull travaille actuellement sur un projet avec l'OST pour améliorer la conception aérodynamique de leur élément volant.

La Suisse dispose d'entreprises innovantes et de projets de recherche fructueux au service de l'éolien à l'échelle internationale. Il reste à savoir si l'expansion de l'éolien – que ce soit par le biais d'éoliennes conventionnelles ou d'un nouveau type – y fera bientôt les progrès indispensables au succès de la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050. Et si cela permettra aux résultats de la recherche qui ont été exportés de revenir dans leur pays d'origine et d'y générer aussi de l'énergie renouvelable.