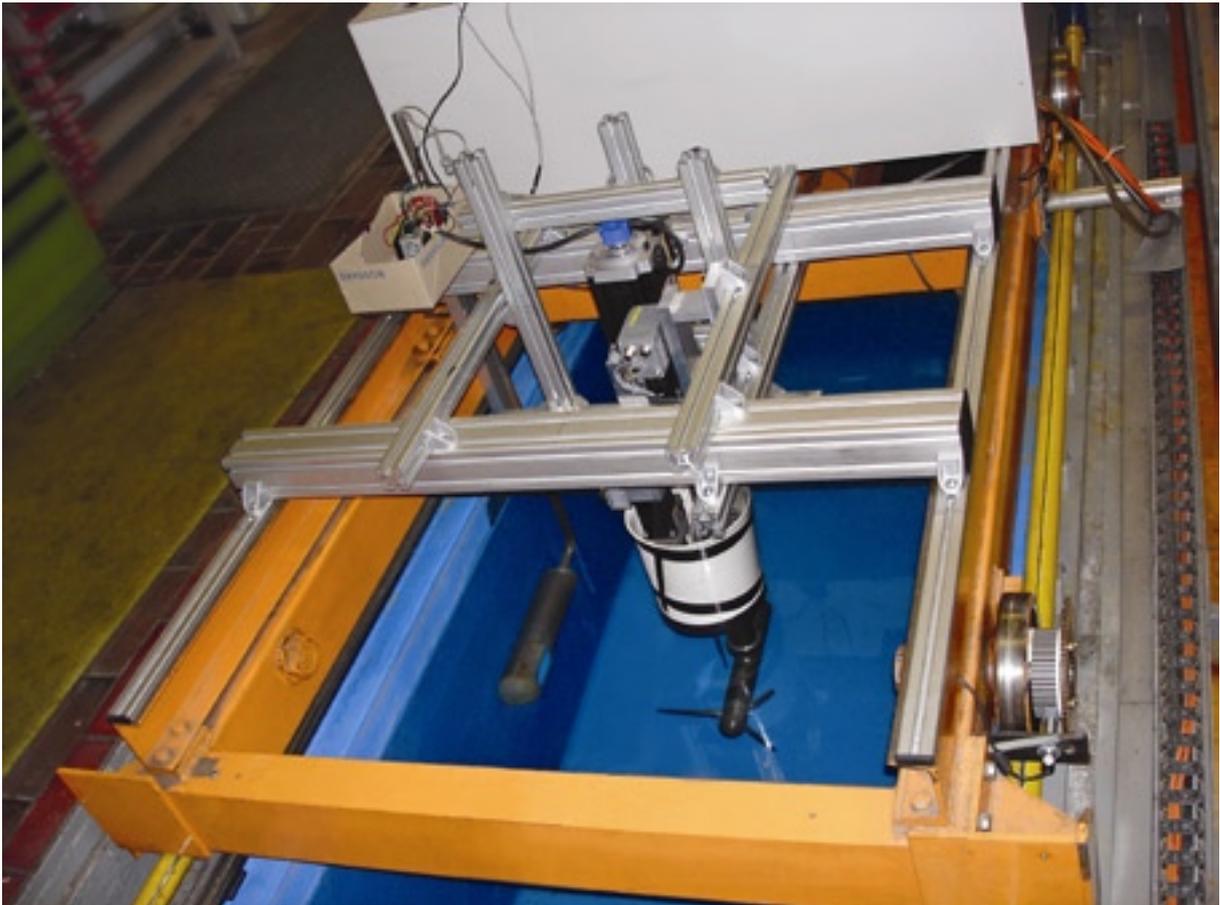


Rapport de synthèse 2008 du chef de programme OFEN Synthesebericht 2008 des BFE-Programmleiters

Forschungsprogramm Windenergie

Robert Horbaty

robert.horbaty@enco-ag.ch



Strömungsmodell für Windkraftanlagen an der ETH Zürich (Foto ETHZ)

Versuchsaufbau im Rahmen des Projektes *Development of Wind Turbines for safe Operation in Alpine Environments*. Quantifizierung der Einflüsse von Vereisung, Böen und Turbulenzen auf die Performance einer Windturbine im komplexen Gelände.

Programmschwerpunkte

Weltweit hat sich die installierte Leistung von Windenergieanlagen zwischen 1997 und Ende 2007 von 7'475 auf 93'849 MW mehr als verzehnfacht. Diese Anlagen liefern ca. 200 TWh Elektrizität und reduzieren so die CO₂-Emissionen um jährlich über 150 Millionen Tonnen. Diese Entwicklung ist ungebrochen; der Windenergiemarkt wächst weltweit nach wie vor mit rund 30 % pro Jahr. Bis ins Jahr 2012 werden weltweit rund 280 Milliarden Franken in diese Technologie investiert werden.

Ende 2008 waren in der Schweiz 38 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 13,6 MW installiert, welche rund 19 GWh Strom pro Jahr erzeugen. In der Schweiz hat sich eine Zulieferindustrie entwickelt, welche international agiert und in der Schweiz jährlich ca. 200 Mio. Franken umsetzt. Die Schweizer Forschung ist international vernetzt, vor allem auf dem Gebiet von Anlagen im Gebirge und an schlecht zugänglichen Standorten.

Im Vordergrund der Forschung stehen:

- **Entwickeln von Anlagekomponenten** für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen durch die einheimische Industrie:
 - Reduktion der Lasten mit neuen Werkstoffen
 - Erhöhung des Energieertrags bei tiefen Windgeschwindigkeiten;
 - Einsatz der Nano-Technologie gegen Verschmutzung und Vereisung.

- **Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages** von Windkraftanlagen an extremen Standorten:
 - Erarbeiten von Planungs-Know-how für komplexe Terrains;
 - Tests an extremen Standorten;
 - Auswertung von Betriebserfahrungen, Empfehlungen.
- **Erhöhung des «Wertes» der Windenergie**, Optimierung der Integration von Windkraftanlagen in die Stromversorgung:
 - Fore- und Nowcasting der Energieproduktion aus Wind;
 - Netzregulierung mit hohem Anteil an Windenergie;
 - Optimierung der Bedingungen für intermittierende Produktionsanlagen im Netz.
- **Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie** unter Einbezug sozial- und umweltwissenschaftlicher Kompetenz;
 - Ermitteln von Erfolgsfaktoren und -strategien; lokale Planungsprozesse, soziale Akzeptanz öffentliche Beteiligungsmodelle.

Ergänzend werden mit Pilot- und Demonstrationsprojekten die nicht technischen Hemmnisse zur stärkeren Marktdurchdringung der Windenergie reduziert und die Lücke zwischen eigentlichen Forschungsaktivitäten und der Anwendung in der Praxis geschlossen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2008

Entwickeln von Anlagekomponenten

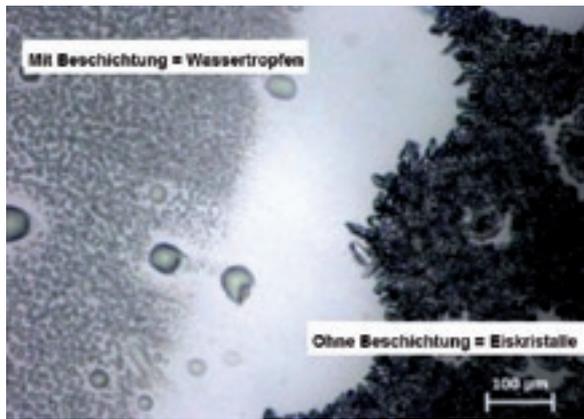
Umfassende Standortabklärungen in gebirgigen Lagen und in Skandinavien zeigen das grosse Potenzial für Windenergienutzung in kälteren Klimazonen. Kalte Luft ist dichter, verspricht also prinzipiell höhere Leistung. Auch im Alpenraum der Schweiz und Österreichs wurden vielfältige Erfahrungen mit Windenergieanlagen gesammelt. Die Windkarte der Schweiz zeigt, dass die Winde vor allem in höheren Lagen stark sind. Die geeigneten Standorte liegen hier fast ausschliesslich mehr als 800 m über dem Meeresspiegel in turbulentem und harschem Klima, wo Vereisungen häufig sind.

Im Rahmen des Projektes *Antifreeze Beschichtung für Rotorblätter von Windenergieanlagen* [1] wurden verschiedene Polymere auf ihre Eignung als gefrierpunktsenkende Beschichtungen untersucht. Die Polymere wurden auf Glas aufgebracht und die Beschichtung in einer Kältekammer

verschiedenen Luftfeuchtigkeiten und Kühlrampen ausgesetzt. Die Entstehung von Eis auf der Beschichtung wurde mit der Entstehung von Eis auf dem Glas verglichen. Es wurden Verbindungen entwickelt, welche eine Gefrierpunktsenkung auf Glasoberflächen bewirken. Diese Verbindungen sind durch den Antifreezeffekt der arktischen Fische inspiriert, deren Blut auch bei Temperaturen unter 0 °C nicht gefriert.

Es wurde gezeigt, dass Antifreezebeschichtungen möglich sind. Um aus den gefundenen Verbindungen letztlich brauchbare Beschichtungen, die Rotorblätter vor dem Vereisen schützen, herzustellen, muss jedoch noch viel Entwicklungsarbeit geleistet werden:

- der vereisungsverhindernde Effekt der Beschichtung muss unter realistischeren Bedingungen getestet werden (d. h. in einem Klimawindkanal);



Figur 1: Eine Antifreezbeschichtung auf Glas. Links: Wassertropfen auf der Beschichtung. Rechts: Eiskristalle auf unbeschichtetem Glas. (Foto ZHAW)

- Beschichtungen müssen entwickelt werden, welche die Anforderungen wie Haftung, UV-Beständigkeit, Abriebfestigkeit, Langlebigkeit etc. erfüllen.

Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages

Vereisung beeinflusst die Planung und den Betrieb einer Windkraftanlage in unterschiedlicher Art und Weise:

- Sie führt zu einer gestörten Aerodynamik der Flügel und damit zu Produktionseinbussen.
- Vereiste Windmessgeräte auf der Gondel einer Windkraftanlage führen zu einem fehlerhaften Betrieb bis hin zur Sicherheitsabschaltung.
- Eisansatz an den Rotorblättern erzeugt Zusatzlasten und Unwuchten, welche zu Materialermüdung führen.
- Der Eiswurf von Windkraftanlagen stellt ein Sicherheitsrisiko für Passanten und Servicepersonal dar.

Um die Forschungsergebnisse des Projektes *Alpine Test Site Güttsch: Meteorological measurements and wind turbine performance analysis*, welches im Rahmen der *COST Action 727* [16] von 2005 bis 2008 durch das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) und durch Meteotest durchgeführt wurde, einem breiteren Publikum zugänglich zu machen, wurde 2007 eine Fachtagung zum Thema organisiert. Die gesammelten Forschungsergebnisse sowie die international zugänglichen Forschungsergebnisse sind nun zusätzlich in einem Handbuch *Alpine Test Site Güttsch* [2] in einer verdichteten und für den Windenergie-Planer verständlichen Art und Weise dargestellt worden.

Mit dem Projekt *Measuring and forecasting icing on structures* [3] wird das Projekt *Alpine Test Site*



Figur 2: Die drei Messstationen Güttsch (links), Schwyberg (Mitte) und Matzendörfer Stierenberg (rechts). (Quelle: Meteotest)

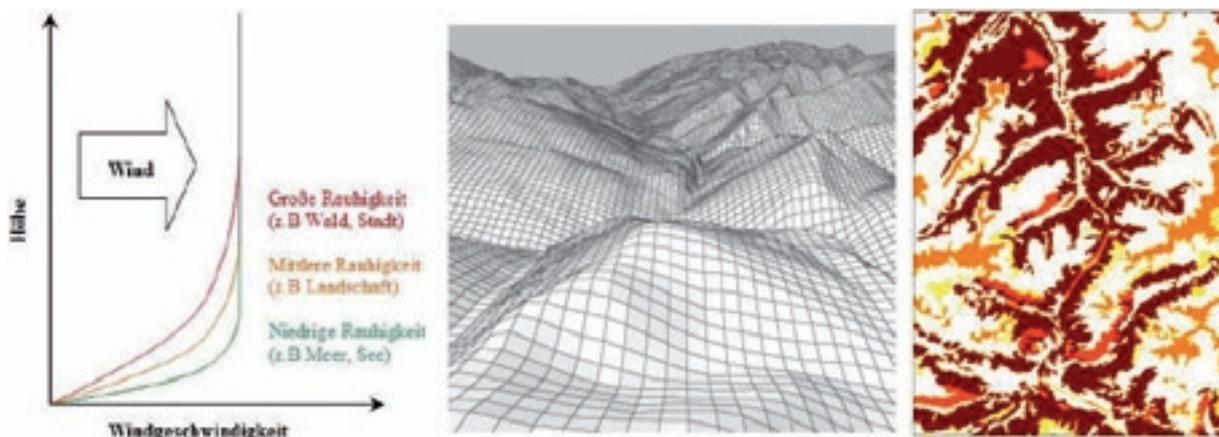
Güttsch nochmals erweitert. Die Vereisungsmessungen werden auf andere Gebiete der Schweiz (Schwyberg, FR und Matzendörfer Stierenberg, SO) ausgedehnt. Ausserdem werden neue Methoden zur Simulation und Vorhersage der Eisbildung an Strukturen mit Hilfe numerischer Wettermodelle erstellt.

Ziel des am Institut für Energietechnik an der ETH durchgeführten Projektes *Development of Wind Turbines for Safe Operation in Alpine Environments* [4] ist die Quantifizierung der Einflüsse von Vereisung, Böen, und Turbulenzen auf die Performance einer Windturbine im komplexen Gelände unter Verwendung der *sub-scale model wind turbine test facility* an der ETH Zürich. Die ermittelten Resultate könnten zur optimalen Platzierung von Windkraftanlagen im komplexen Gelände in der Schweiz verwendet werden.

Erhöhung des «Wertes» der Windenergie

Die Energiequelle Wind besitzt eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität. Diese Eigenschaft erhöht die Anforderungen bei der Einspeisung von Windstrom ins Stromnetz, da die verfügbare Energiemenge variiert, nicht steuerbar und nicht mit abschliessender Gewissheit bekannt ist. Dies führt zu deutlich höheren Fehlern bei Energieproduktionsprognosen. Die besondere Herausforderung für die Windvorhersage in der Schweiz liegt im sehr komplexen Gelände. In der Regel erreichen Vorhersagesysteme in komplexem Gelände deutlich geringere Vorhersagequalität als in flachem Gelände. Das Ziel des Projektes *Fore- und Nowcasting der Stromproduktion von Windenergieanlagen in komplexem Gelände* [5] ist es, ein für die Bedingungen und Anforderungen der Schweiz geeignetes Vorhersagesystem zu entwickeln, indem bereits vorhandene Modelle und Verfahren möglichst optimal kombiniert werden.

Das für die Schweiz angepasste Vorhersagesystem wird in Kooperation von Meteotest und dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz erarbeitet. MeteoSchweiz entwickelt und betreibt das hoch auflösende numeri-



Figur 3: Eingangsdaten für die CFD-Modellierung: Anströmprofil des Windes (links), Geländehöhen (Mitte) und Rauheitsinformationen (rechts). (Quelle Meteotest)

sche Wettervorhersagemodell *Cosmo* (Consortium for Small-scale Modelling).

Zudem ist geplant, das dynamische Downscaling mit dem Modell WindSim durchzuführen. Das CFD-Modell WindSim berechnet Windfelder auf der Grundlage einer dreidimensionalen, nicht linearen Strömungsmodellierung und wurde speziell für Windenergie-Modellierung in komplexem Gelände entwickelt. Das Modell berücksichtigt als Eingabedaten Orographie (Geländehöhe) und die Bodenrauigkeit (Figur 3).

Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie

Die Planung, Projektierung, Bewilligung und Realisierung von Windkraftanlagen (WKA) in der Schweiz ist zeit- und ressourcenaufwändig und für die Investoren oftmals mit schwer kalkulierbaren Risiken verbunden. Das liegt einerseits an der noch geringen Anzahl von realisierten Projekten, aber auch an den vielen situations- und fallspezifischen Einflussfaktoren, die bei jeder einzelnen Anlage beachtet werden müssen. Die Nutzung von Windenergie in der Schweiz wird dadurch zurzeit erschwert.

Das Projekt *Auswirkungen von Windkraftanlagen* [6] liefert konsolidierte Erkenntnisse zu projektierungsrelevanten Grundlagen und Auswirkungen von WKA, mit dem Ziel, diese für die aktuellen sowie für künftige Projekte nutzbar zu machen. Bisherige schweizerische und ausländische Erfahrungen im Windenergiebereich sind eingeflossen, um die Planung und Erstellung von WKA zu vereinfachen und zu beschleunigen sowie um Projektrisiken zu vermindern. Als Hauptprodukte dieses Projekts wurden eine Checkliste für Investoren und eine Vorlage für eine Analyse der Umweltauswirkungen erarbeitet.

Der weltweite Boom der Windenergie hat auch zur Folge, dass Projekte mehr und mehr mit Akzeptanzproblemen zu kämpfen haben – nicht

nur in der Schweiz. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des IEA Implementing Agreement «Wind» ein neuer Task lanciert: *Social Acceptance of Wind Energy Projects: Winning Hearts and Minds* [27]. Operating Agent ist Robert Horbaty, Programmleiter der Windenergieforschung des BFE. Der schweizerische Beitrag konkretisiert sich in den folgenden Projekten:

Im Rahmen des an der Epfl in Lausanne durchgeführten Forschungsvorhaben *Social Acceptance of Wind Energy in Switzerland – To Invest or Not to Invest* [7] wird untersucht, wieso Investoren in der Schweiz im Bereich der Windenergie aktiv sind und falls sie von Investitionen absehen, welche Rahmenbedingungen geändert werden müssten.

Im Projekt *Code of Conduct für Windkraftprojekte* [8] werden mit Hilfe eines mehrstufigen partizipativen Verfahrens Instrumente und Standards erforscht, die innerhalb nützlicher Frist zur Anwendungsreife entwickelt werden können, um die Umsetzung von Windkraftprojekten in der Schweiz wirksam zu unterstützen und die heute herrschende hohe soziale Akzeptanz gegenüber der Windenergie zu stabilisieren und zu stärken. Dabei werden folgende Aspekte besonders berücksichtigt:

- Langfristige Sicherung von politischer und sozialer Akzeptanz der Entscheidungsträger, Interessengruppen, NGOs und der breiten Bevölkerung;
- Aufbau und Stärkung wertvoller und unkomplizierter Partnerschaften zwischen Interessenvertretern zur Sicherung von effizienter Planung und konstruktiven Prozessen;
- Unterstützung der Nachfrage nach Windparks, insbesondere in Gegenden, wo sowohl die Erträge als auch die Akzeptanz hoch sind;
- Minimierung des Aufwandes durch verkürzte Planungszeiten und damit verbesserte Renditen;

- Risikominimierung für Investoren, Projektentwickler, Besitzer, Betreiber und Technologie-Anbieter.

Im Vordergrund stehen das aus der Wirtschaft bekannte Instrument eines freiwilligen Code of Conduct für die Akteure der Projektentwicklung

Nationale Zusammenarbeit

Organisation der Windenergieforschung in der Schweiz

Der Leiter des Energieforschungsprogramms «Wind» ist gleichzeitig Geschäftsführer der Schweizerischen Windenergievereinigung «Suisse Eole». Dadurch ist eine enge Verbindung zwischen relevanten Marktanliegen und der Forschung sicher gestellt. Ein Ausschuss innerhalb des Verbandes beschäftigt sich im Sinne einer Begleitgruppe auch mit den Forschungsanliegen. An regelmässigen Treffen des Programmleiters mit dem CORE-Paten Prof. Dr. Rolf Wüstenhagen, der BFE-Bereichsleiterin Katja Maus und dem Verantwortlichen beim BFE für Marktentwicklung, Markus Geissmann, wird die Entwicklung des Programms mit den Zielen der CORE abgestimmt.

Am Laboratory of Energy Conversation LEC an der ETH Zürich baut eine Gruppe von 7 Personen unter der Führung von Prof. Dr. Reza Abhari ein Kompetenzzentrum zur Windenergieforschung in der Schweiz auf. Ein erstes Projekt ist «Development of wind turbines for safe operation in alpine environment» von Dr. Sarah Barber; weitere Forschungsarbeiten insbesondere im Zusammenhang mit Standortabklärungen im komplexen Terrain sind geplant.

Darüber hinaus findet ein reger Erfahrungsaustausch mit den kantonalen Planungsbehörden statt, insbesondere im Kontext mit der Unterstützung von Richtplanungen auf kantonaler Ebene. Aufgrund der aktuellen energiepolitischen Diskussion diente der Programmleiter häufig als Auskunftsstelle für Medien, Hersteller von Produkten und generell Windenergie-Interessierten.

Abgrenzungen zu und Synergien mit anderen Programmen

Das Forschungsprogramm Windenergie hat bereits in der Vergangenheit mit anderen Programmen aus der Energieforschung aktiv zusammengearbeitet. Diese Kooperationen wurden auch im Berichtsjahr weiter geführt. Weiter bestehen gute Kontakte zum Bereich der Photovoltaik, der Akkumulatoren, Superkondensatoren, Elektrizitätstechnologien und -anwendungen und Verkehr.

sowie andere Instrumente, die sich im Rahmen der Machbarkeitsstudie ergeben. Alle Instrumente müssen im Markt erfolgreich angewendet werden können, allen relevanten Interessengruppen und Akteuren zur Verfügung stehen sowie eine signifikante Wirkung entfalten.

Energiewirtschaftliche Grundlagen

Vor allem im Zusammenhang mit dem Thema «Soziale Akzeptanz» von Windenergieanlagen entwickeln sich interessante Synergien, insbesondere auch im Kontext mit dem *IEA Task 28 Social Acceptance*. Eines der Ziele dieser Aktivitäten ist, die Milieus der Energieingenieure und der Sozialwissenschaftler zu diesem komplexen Thema einander näher zu bringen.

Netze

Das Thema «Intelligente Verteilnetzstrukturen» (Smart Grids) und Regelenergie für erneuerbare Energien bekommt sowohl im Zusammenhang mit einem zunehmenden Anteil an unregelmässig produzierenden Anlagen aus erneuerbaren Energien als auch bez. neuen Speichermöglichkeiten in den Batterien von elektrisch betriebenen Fahrzeugen zunehmend grössere Aktualität.

Institutionen

Folgende Forschungsinstitutionen haben Aktivitäten im Bereich der Windenergie entwickelt:

- Die EPFL (Laboratoire de Systèmes Energétiques Iasen) [17] betreut Windenergie-Projekte, insbesondere auch im Zusammenhang mit der Entwicklungszusammenarbeit.
- Ebenfalls mit der EPFL, College of Management of Technology (CDM), findet eine Zusammenarbeit im Rahmen des Projektes Social Acceptance of Wind Energy in Switzerland – To Invest or Not to Invest statt. [18].
- Das Labor für Strömungsmaschinen an der ETH Zürich [19] ermittelt im Rahmen des Projektes «Development of Wind Turbines for safe Operation in Alpine Environments». Die Einflüsse von Vereisung, Böen, und Turbulenzen auf die Performance einer Windturbine im komplexen Gelände.
- An der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) arbeitet eine Gruppe um Prof. Martina Hirayama an der Entwicklung von Nano-Oberflächen zur Verhinderung von Vereisung der Rotorblätter [20].

- Das Irap (Institut für Raumentwicklung an der Hochschule für Technik Rapperswil) besitzt umfassendes Know how zur Fragestellung Windenergie und Raumplanung. [21].
- Der Dreh- und Angelpunkt zur Förderung der Windenergie in der Schweiz ist Suisse Eole,

die Schweizerische Vereinigung zur Nutzung der Windenergie [22].

Sämtliche Planungsinstrumente, insbesondere ein Map-Server mit allen relevanten Aussagen zu möglichen Windenergie-Standorten sind auf der Website von «Suisse Eole» vorhanden. [23]

Internationale Zusammenarbeit

Seit 2002 beteiligt sich die Schweiz am *IEA-Projekt Wind Energy in Cold Climates (WECO)* [9]. 2008 fanden drei Treffen der Experten statt. Umfassende Informationen sind auf der Website dieses Programms zu finden [25].

Die Arbeiten beim Alpine Test Site Gütsch [16] sind eng verknüpft mit dem genannten IEA-Projekt. Dessen Resultate und Empfehlungen werden im Rahmen des Forschungsvorhabens *COST 727 Alpine Test Site Gütsch, Meteorological measurements and wind turbine performance analysis* verifiziert und einem weiteren Umfeld nutzbar gemacht. Im Jahre 2008 wurde durch das Forschungsprogramm das Handbuch *Alpine Test Site Gütsch* [2] veröffentlicht, welches die

entsprechenden Resultate darstellt. Im September 2009 wird ein weiteres internationales Seminar zu diesen Fragestellungen in Andermatt stattfinden. [26]

Im Jahre 2007 wurden Aktivitäten aus dem Forschungsprogramm «Wind» lanciert, um innerhalb der IEA einen neuen Task «Social Acceptance» [27] zu starten. Am ExCo-Meeting vom 22.4.2008 in Aalborg wurde das Arbeitsprogramm des Task 28 grundsätzlich bestätigt. Ein erstes inoffizielles Treffen fand am 28.8.2008 in Bubendorf, BL, statt. Bis heute partizipieren Kanada, Deutschland, Finnland, Japan, Norwegen, Schweiz und die USA. Der offizielle Start des Task 28 findet am 20.3.2009 in Magdeburg statt.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Im Zusammenhang mit der Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) wird das Interesse vor allem an der Optimierung der Anlagenperformance durch die Planer und Betreiber zunehmen. Mit der Aufstockung der P+D-Mittel wird auch hier wieder ein vermehrtes Engagement sichtbar. Der im Konzept Windenergie Schweiz [15] dargelegte Grundsatz, Windenergieanlagen an möglichst gut geeigneten Standorten zu konzentrieren geniesst breite Anerkennung – er wird insbesondere auch von den Kantonen im Rahmen der kantonalen oder regionalen Grundlagenarbeiten angewandt.

Nach Schätzungen des Bundesamts für Energie bestehen nur für einen Viertel der unter KEV angemeldeten Anlagen Festlegungen in den kantonalen oder regionalen Richtplänen. Für die weitere Entwicklung der Windenergie ist es deshalb absolut zentral, dass möglichst rasch und möglichst flächendeckend raumplanerische Festlegungen in den kantonalen Richtplänen vorhanden sind. Diese werden helfen;

- zu verhindern, dass bedeutende finanzielle Mittel für die Projektentwicklung an Standorten investiert werden, welche aufgrund der raumplanerischen Interessensabwägung nicht bewilligungsfähig sind.
- Anzahl und Umfang von Streitfällen für die Bewilligung von Windenergieanlagen möglichst gering zu halten.

- die Entwicklung für künftige Projekte an die geeigneten Standorten zu lenken.
- die Akzeptanz der Windenergienutzung in der Schweiz auf hohem Niveau zu halten und somit das längerfristige Potenzial der Windenergie in der Schweiz positiv zu beeinflussen.

Das Rahmenprojekt *Unterstützung kantonale Raumplanung Windenergie* [10] ermöglicht eine gezielte Unterstützung von kantonalen und regionalen Arbeiten zur Behandlung der Windenergie in der Raumplanung mit einem Rahmenvertrag zwischen BFE und dem Fachverband Windenergie «Suisse Eole». In den Kantonen Basellandschaft, Aargau, Schaffhausen, Bern (Region Emmental/Oberaargau) und Neuenburg wurden entsprechende Vorhaben unterstützt und durch Suisse Eole begleitet.

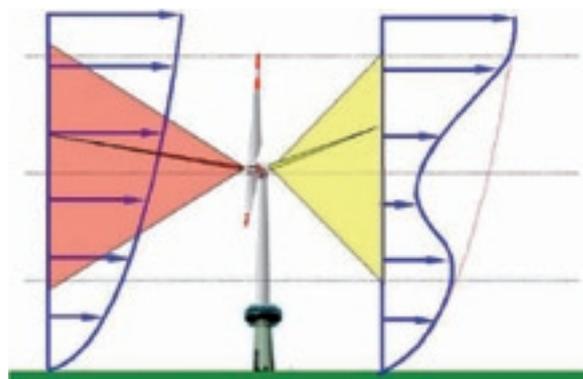
Die Qualität eines Standortes hängt entscheidend von den vorhandenen Windverhältnissen ab. Mit dem *P+D-Rahmenprojekt Unterstützung Windmessungen* [11] werden folgenden Ziele verfolgt:

- Gezielte Unterstützung von Windmessungen/ Windgutachten, damit die ermittelten Daten öffentlich zugänglich gemacht werden;
- Generelle Erhöhung der Genauigkeit des Windmodells Schweiz durch eine breitere Datengrundlage;

- Grundlagen zur Identifizierung geeigneter Standorte;
- für die Erarbeitung kantonaler Windenergiekonzepte zur Konkretisierung des Konzepts Windenergie Schweiz;
- für unabhängige Projektentwickler.

Das Planungsrisiko für Projektentwickler wird durch einen finanziellen Beitrag an die Windmessung/Windgutachten reduziert. Suisse Eole führt dieses Förderungsprogramm administrativ. An folgenden Standorten wurden im Jahre 2008 Windmessungen durchgeführt und mit P+D-Mittel unterstützt: Dürrenroth, Fischbach, Haldenstein, Heimisbach, La Joux-du-Plâne, Lindenberg, Männlichen, Sanetsch, Schwengimatt und Twann. Die entsprechenden Resultate stehen nach einer gewissen Sperrfrist der Allgemeinheit über die Planungsgrundlagen auf der Website von «Suisse Eole» [23] zur Verfügung.

Ein Lidar ist ein hochmodernes Messsystem zur berührungslosen, dreidimensionalen Erfassung des Windes mit hoher räumlicher Auflösung. Überall dort, wo sich der Wind räumlich und zeitlich ändert, kann dies mit dem Gerät genau, schnell und in grösseren Höhen erfasst werden (siehe Figur 4). Die mittlere Windverteilung in hügeligem Gelände ist z.B. für die Festlegung rentabler Standorte von Windenergieanlagen von grossem Interesse. Im Projekt *Lidar für die Schweiz, Beschaffung und Verwaltung* [12] hat das BFE ein Lidar-Gerät beschafft, übergibt dieses aber zur treuhänderischen Verwaltung an den Branchenverband «Suisse Eole». Diese muss das Gerät für Forschungsprojekte zur Verfügung stellen. In



Figur 4: Das Messen mit einem Lidar erlaubt das Erstellen von Wind-Profilen in mehr als 200 m Höhe.

der übrigen Zeit können Marktteilnehmer, die über genügend Fachkenntnisse verfügen, das Gerät für eigene Messprojekte gegen Entgelt ausleihen. Erste Erfahrungen werden 2009 vorliegen.

Die Betriebserfahrungen der installierten Windenergieanlagen werden kontinuierlich erfasst werden. Die entsprechenden Erfahrungen dienen weiteren Projektentwicklern zur Optimierung ihrer Vorhaben.

Mit über 2'400 Volllaststunden ist die Performance der 2-MW-Anlage Enercon E70 der Firma Rhoneole in Collonges im Kanton Wallis mit Küstenstandorten vergleichbar. (*Campagne de mesures (Erfolgskontrolle) 2-MW éolienne à Collonges VS* [13]).

Im Projekt *Betriebsresultate der Windenergieanlage Feldmoos* [14] in Rengg/Entlebuch werden auf 1020 m.ü.M. bei einer 900-kW-Windenergieanlage die Betriebsergebnisse gesammelt und ausgewertet.

Bewertung 2008 und Ausblick 2009

Der Bundesrat hat am 14.3.2008 die Einspeisevergütung (KEV) für die Windenergie auf 17 – 20 Rp./kWh festgelegt. Dies unter Missachtung der Berechnungen des BFE, der Windenergiebranche und von externen Experten. Trotzdem wurden bis Ende 2008 Projekte angemeldet, welche insgesamt rund 1'200 GWh erzeugen könnten. Da für die ersten Anmeldungen nur rudimentäre Informationen vorliegen müssen, ist es zum heutigen Zeitpunkt relativ schwierig vorher zu sagen, wie viele dieser Projekte letztlich auch realisiert werden – insbesondere aufgrund der tiefen Entschädigungen durch die KEV.

Analysen des Fachverbandes weisen heute Projekte im fortgeschrittenen Planungsstand aus, welche rund 150 GWh generieren könnten. Im Jahre 2008 hat sich die installierte Leistung der Windkraftanlagen in der Schweiz nicht wesentlich

erhöht. Von den 38 Anlagen, welche während des ganzen Berichtsjahrs in Betrieb waren, wurden rund 19 GWh Elektrizität erzeugt.

Trotz den veränderten Rahmenbedingungen, z.B. *Kostendeckende Einspeisebedingungen* [28] oder *Konzept Windenergie Schweiz* [15] bestehen jedoch weiterhin planerische und betriebstechnische Unsicherheiten für Projektentwickler, welche im Rahmen bisheriger oder neuer Forschungs- oder P+D-Projekte geklärt werden, u.A.:

- Definieren und Durchsetzen von Qualitätsanforderungen an Projekte; wirkungsvolle Qualitätssicherung, Alpine Test Site Gütsch, Handbuch [2];
- Quantifizierung der Einflüsse von Vereisung, Böen, und Turbulenzen auf die Performance einer Windturbine im komplexen Gelände De-

velopment of Wind Turbines for safe Operation in Alpine Environments [4];

- Genaue und langfristige Vorhersage der Windressourcen, z.B. Fore- und Nowcasting der Stromproduktion von Windenergieanlagen in komplexem Gelände [5]
- Konsolidierte Erkenntnisse zu projektierungsrelevanten Grundlagen und Auswirkungen von WKA Auswirkungen von Windkraftanlagen [6]
- Diskussion um Akzeptanz bei mehr Projekten, Angst vor generellem Wildwuchs, z.B. Social Acceptance of Wind Energy in Switzerland – To Invest or Not to Invest [7];
- Erforschung von Instrumenten und Standards um die Umsetzung von Windkraftprojekten in der Schweiz wirksam zu unterstützen und die heute herrschende hohe soziale Akzeptanz gegenüber der Windenergie zu stabilisieren und zu stärken. Code of Conduc» [8];
- Unterstützung von kantonalen raumplanerischen Aufgaben im Zusammenhang mit der Nutzung der Windenergie Unterstützung kantonale Raumplanung Windenergie [10];
- Fördermittel für Standortabklärungen P+D-Rahmen-Projekt Unterstützung Windmessungen [11];
- Zur Verfügungsstellung eines Messgerätes zur Ermittlung der Windressourcen in grossen Höhen, LiDAR für die Schweiz, Beschaffung und Verwaltung [12].

Energieforschungskonzept 2008–2011:

Anlässlich der Präsentation des Forschungskonzeptes für die Windenergie bei der CORE am 9.9.2008 genehmigte dieses Führungsgremium

Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht 2008 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

(siehe www.energieforschung.ch unter der angegebenen Projektnummer)

Unter den angegebenen Internet-Adressen sind die Berichte sowie weitere Informationen verfügbar.

- [1] Martina Hirayama (martina.hirayama@zhwin.ch, www.zhaw.ch/de/zhaw.html zhaw, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Antifreeze Beschichtungen für Rotorblätter von Windenergieanlagen (SB), 101'903.
- [2] Stefan Kunz, René Cattin (kunz@meteotest.ch, www.meteotest.ch), Meteotest, Bern: Alpine Test Site Gütsch, Handbuch und Fachtagung (SB) 101'318 www.meteotest.ch/cost727/index.html.

der nationalen Energieforschung das vorgelegte Konzept [24]. Im Vordergrund der Forschung stehen weiterhin:

- Entwickeln von **Anlagekomponenten**, z.B. Produkteentwicklung im Bereich Antifreezebeschichtungen; Entwicklung funktionstüchtiger Eissensoren;
- Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages von Windkraftanlagen an extremen Standorten, z.B. Erstellen einer Vereisungskarte Auswirkungen der Vereisung auf das Betriebsverhalten und den Energieertrag von Windkraftanlagen im Jurabogen;
- Erhöhung des «Wertes» der Windenergie, z.B. Entwickeln eines Produktes zu «Fore- and Nowcasting»
- Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie, z.B. Weitere Entwicklung des Code of Conduct, akzeptiertes Vorgehen bei der Planung Projekt «Vorher/Nachher» zur Ermittlung der effektiven Auswirkungen.

Pilot- und Demonstrationsprojekte schliessen die Lücke zwischen den eigentlichen Forschungsergebnissen und der Anwendung in der Praxis. Die über den Fachverband Suisse Eole eingeleiteten Förderinstrumente haben sich bewährt.

Mit den Forschungsergebnissen bezüglich des Betriebs von Windkraftanlagen unter turbulenten und vereisenden Bedingungen erarbeitet sich die Schweiz auch internationales Renommée im Bereich der Windenergienutzung im kalten Klima.

Mit dem IEA-Projekt *Social Acceptance* [27] werden die mittlerweile umfassenden Erfahrungen in Akzeptanzfragen in unserem Land international vernetzt – im Sinne von besseren und rascher realisierbaren Projekten.

- [3] René Cattin (cattin@meteotest.ch, www.meteotest.ch), Meteotest, Bern: Measuring and forecasting icing on structures (JB).
- [4] Sarah Barber, (barber@lec.mavt.ethz.ch), www.lec.ethz.ch/ Institut für Energietechnik, lec, eth Zürich, ML J 24: Development of Wind Turbines for safe Operation in Alpine Environment (JB).
- [5] Stefan Kunz, René Cattin (kunz@meteotest.ch, www.meteotest.ch), Meteotest, Bern: Fore- und Nowcasting der Stromproduktion von Windenergieanlagen in komplexem Gelände (JB).
- [6] Walter Ott, Yvonne Kaufmann, (walter.ott@econcept.ch), www.econcept.ch/ Econcept AG, Zürich: Auswirkung von Windkraftanlagen in der Schweiz (SB), 101'358.
- [7] Professor Christopher Tucci, Mary Jean Bürer (maryjean.burer@epfl.ch, cdm.epfl.ch/homepage.php, epfl, College of Management of Technology (CDM), Lausanne: Social Acceptance of Wind Energy in Switzerland – To Invest or Not to Invest (JB).

- [8] Pierre Strub, Christine Ziegler (info@pierrestrub.ch), www.pierrestrub.ch/, Pierre Strub, freischaffender Berater; Code of Conduct für Windkraftprojekte (SB) 102'553.
- [9] Patricia Weis-Taylor, (pwt_communications@comcast.net), www.ieawind.org/nrel/iea-Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development, Task 19 Wind Energy in Cold Climates: arcticwind.vtt.fi/. (JB).

Liste der P+D-Projekte

- [10] Reto Rigassi, Robert Horbaty, info@suisse-eole.ch; www.wind-energie.ch, Suisse Eole, Bubendorf: *Unterstützung kantonale Raumplanung Windenergie* (JB).
- [11] Reto Rigassi, Robert Horbaty, info@suisse-eole.ch; www.wind-energie.ch, Suisse Eole, Bubendorf: P+D-Rahmen-Projekt Unterstützung Windmessungen (JB).
- [12] Reto Rigassi, Robert Horbaty, info@suisse-eole.ch; www.wind-energie.ch, Suisse Eole, Bubendorf: *LiDAR für die Schweiz, Beschaffung und Verwaltung* (JB).
- [13] Jean-Marie Rouiller (jean.marie.rouiller@lausanne.ch www.lausanne.ch) Services industriels de Lausanne, Lausanne, *Campagne des mesures (Erfolgskontrolle) 2MW éolienne à Collonges VS.*
- [14] Roland Aregger (info@windpower.ch, www.windpower.ch), Windpower AG, *Entlebuch: Betriebsresultate der Windenergieanlage Feldmoos* (JB).

Referenzen

- [15] *Konzept Windenergie Schweiz*, Grundlagen für die Standortwahl von Windparks, Bundesamt für Energie (BFE), Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Autoren Meteotest, Nateco, Metron Raumentwicklung AG, Atelier North & Roby Soguel, Bern 2004 www.wind-energie.ch/fileadmin/PDF/Accueil/KonzeptWindenergieCH-d.pdf.
- [16] *Alpine Test Site Gütsch, Website zu diesem COST 727-Projekt* www.meteotest.ch/cost727/index.html.
- [17] *epfl, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*, Laboratoire de systèmes énergétiques lasen: lasen.epfl.ch/page39406.html.
- [18] *epfl, College of Management of Technology (CDM)*, Lausanne, cdm.epfl.ch/homepage.php.
- [19] Prof. R. Abhari, Dr. S. Barber, *Labor für Strömungsmaschinen an der eth Zürich*, www.lsm.ethz.ch/.
- [20] *ZHAW, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur*, Martina Hirayama (martina.hirayama@zhwin.ch, www.zhaw.ch/de/zhaw.html).
- [21] Kurt Gilgen, Alma Sartoris, (irap@hsr.ch), www.irap.hsr.ch/, irap Institut für Raumentwicklung an der Hochschule für Technik Rapperswil: *Planerische Voraussetzungen für die Nutzung der Windenergie* (SB).
- [22] *Schweizerische Vereinigung für Windenergie, Suisse Eole*: www.suisse-eole.ch.
- [23] *Windenergie Daten der Schweiz* www.wind-data.ch/.
- [24] *Energieforschungsprogramm «Windenergie» 2008 –2011*, ausgearbeitet durch R. Horbaty, von der CORE am 9.9.2008 zur Umsetzung freigegeben.
- [25] *Wind Energy in Cold Climate*, Website des IEA Task 19 «WECO», arcticwind.vtt.fi/.
- [26] *Veranstaltung zur Vereisung, IWAIS*, Sept. 2009 in Andermatt www.iwais2009.ch/.
- [27] Patricia Weis-Taylor, (pwt_communications@comcast.net), www.ieawind.org/ NREL IEA-Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development, Task 28 *Social Acceptance of Wind Energy Projects*: (JB) www.socialacceptance.ch/.
- [28] *Unterlagen zur Kostendeckenden Einspeisvergütung von Windkraftanlagen in der Schweiz*, Bundesamt für Energie www.bfe.admin.ch/themen/00612/02073/index.html?dossier_id=02168&lang=de.

Impressum

Juni 2009
Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
Druck: Ackermann Druck, Bern-Liebefeld
Bezug der Publikation: www.energieforschung.ch

Programmleiter

Robert Horbaty
ENCO AG
Wattwerkstrasse 1
CH-4416 Bubendorf
robert.horbaty@enco-ag.ch

Bereichsleiterin

Dr. Katja Maus
Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
katja.maus@bfe.admin.ch