



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung

Februar 2010

Forschungsprogramm

Windenergie

Synthesebericht 2009 des BFE-Programmleiters

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Autor:

Robert Horbaty, ENCO AG, robert.horbaty@enco-ag.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Weltweit hat sich die installierte Leistung von Windenergieanlagen zwischen 1998 und Ende 2008 von 10'200 MW auf 121'188 MW mehr als verzehnfachtⁱ. Diese Anlagen liefern ca. 200 TWh Elektrizität und reduzieren so die CO₂-Emissionen um jährlich über 150 Mio. Tonnen. Spitzenreiter im Zubau waren 2008 die USA (+8'358 MW) und China (+6'300 MW)ⁱⁱ. Bis ins Jahr 2012 werden weltweit rund 280 Mrd. Franken in diese Technologie investiert werden.

Ende 2009 waren in der Schweiz 37 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 17,5 MW installiert, welche rund 25 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 – zunehmend auch getragen von grossen Forschungsinstitutionen wie der ETH – ist international vernetzt, vor allem auf dem Gebiet von Anlagen im Gebirge, an schlecht zugänglichen Standorten und im Zusammenhang mit «Social Acceptance».

Im Vordergrund der Forschung [23] stehen:

- **Entwickeln von Anlagekomponenten** für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen durch die einheimische Industrie, wie z. B. Reduktion der

Lasten mit neuen Werkstoffen, Erhöhung des Energieertrags bei tiefen Windgeschwindigkeiten und Einsatz der Nanotechnologie gegen Verschmutzung und Vereisung.

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

Ergänzend wird mit Pilot- und Demonstrationsprojekten die Lücke zwischen den eigentlichen Forschungsaktivitäten und der Anwendung in der Praxis geschlossen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2009

Nachfolgend sind einige exemplarische Projekte aufgeführt. Die komplette Liste der Projekte befindet sich im Anhang.

Entwickeln von Anlagekomponenten

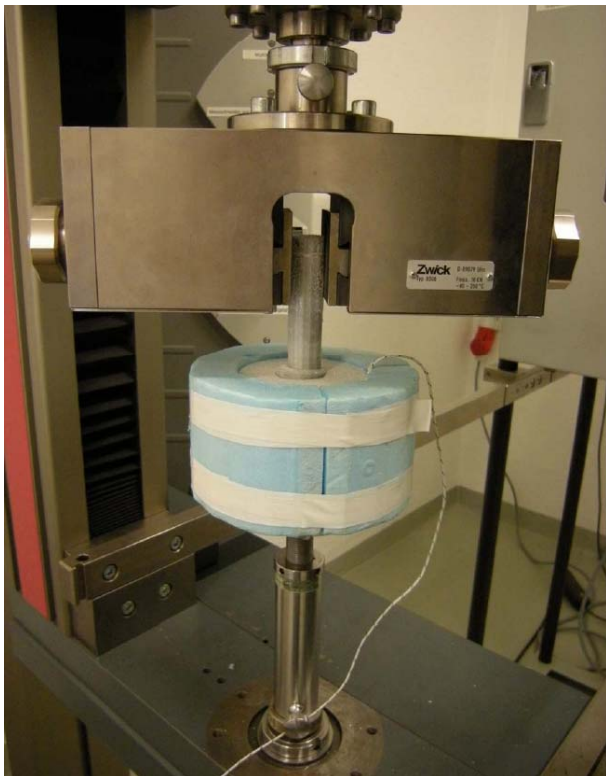
Untersuchungen haben gezeigt, dass wegen Vereisung der Windenergieanlagen substantiell Energieproduktion verloren geht. Viele «de-icing»-Methoden sind entwickelt worden, welche auf der mechanischen oder elektrischen Energieberuhen. Obwohl effizient, benötigen diese Methoden entweder viel Energie oder ausgearbeitete Infrastruktur und Unterhalt. Die ideale Lösung für die Vereisungsproblematik wäre die Anwendung eines Materials, welches die Haftung des Eises verringert, so dass das Eis schon unter der Einwirkung von natürlichen Kräften abfällt. Solche natürlichen Kräfte

sind z. B. Gravitation, Wind, Beschleunigungskräfte und Vibrationen.

Idealerweise wäre ein solches Material fest, dauerhaft, einfach anzuwenden und preiswert. Die Resultate des Projekts *Antifreeze Beschichtung für Rotorblätter von Windenergieanlagen* [1] der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (2007/08) haben gezeigt, dass Antifreeze-Beschichtungen grundsätzlich möglich sind.

Um aus den gefundenen Verbindungen letztlich brauchbare Beschichtungen, die Rotorblätter vor dem Vereisen schützen, herzustellen, wurde weitere Forschungsarbeit geleistet. Für die Entwicklung einer solchen Beschichtung ist ein Eishaftungstest Voraussetzung. Im Rahmen des Projektes *Nichtvereisende Beschichtungen für Rotorblätter von*

Windenergieanlagen [2] wurde u.a. ein Adhäsionstest entwickelt, welcher auf der Verwendung einer Zugprüfmaschine beruht. Ein Bolzen wird in einen Block eingefroren und die maximale Zugkraft, bevor die Grenzfläche zwischen Eis und Bolzen reißt, wird bestimmt. Aus dieser Kraft lässt sich die Eisadhäsion berechnen. Die Eishaftung, die gemessen wurde, lässt sich mit anderen Messungen vergleichen. Nach der Bestimmung der Eisadhäsion an Aluminium werden nun andere Materialien, die eine Haftungsreduktion zeigen (z. B. Teflon), gemessen, um deren Eisadhäsionsreduktion zu bestimmen. Danach sollen neuartige Beschichtungen getestet werden.



Figur 1: Zugmaschine und darin eingespannter Eisadhäsionstest (Foto ZHAW)

Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages

Die schweizerische Energiepolitik zielt mit der beschlossenen kostendeckenden Einspeisevergütung darauf ab, den Anteil des aus erneuerbaren Energien produzierten Stroms bis zum Jahr 2030 um 5'400 GWh oder 10 % des heutigen Schweizer Stromverbrauchs zu erhöhen. Dazu müssten auch mind. 600 GWh aus Windenergie gewonnen werden, was einen möglichst effizienten Betrieb von entsprechenden Anlagen auch an extremen Standorten mit sehr turbulenten Windverhältnissen voraussetzt. Erste Untersuchungen im Rahmen des

Projektes *Development of wind turbines for safe operation in alpine environments (phase I)* [3] zeigten beispielsweise für den alpinen Standort «Gütsch» bei Andermatt, dass aufgrund unregelmässiger Windströmungen an diesem turbulenten Standort bis zu 20 % Energieertragseinbussen resultieren können.

Turbulente Windströmungen treten auch im Lee von Windkraftanlagen auf (sog. Wake-Effekt). Je nach Windpark-Layout kann dadurch der Energieertrag einer einzelnen Anlage um bis zu 25 % tiefer ausfallen. Unregelmässige Windströmungen und erhöhte Turbulenzen führen nicht nur zu Unsicherheiten bezüglich des Energieertrags einer Windfarm, sondern auch zu einer verringerten Verfügbarkeit und einer tieferen Lebenserwartung der Anlagen, und somit zu einem erhöhten Risiko für Investoren.

Mit dem Projekt *Development of wind turbines for safe operation in alpine environments (phase II), Influence of upstream wakes on turbine power in complex terrain* [4] unterstützt deshalb auch die Industrie fundierte Forschungstätigkeiten der ETHZ auf diesem Gebiet. In dieser zweiten Phase werden Untersuchungen durchgeführt, um die entsprechenden Verluste zu quantifizieren, um die verantwortlichen Strömungsphänomene besser zu verstehen, und um somit auch Ziel führend Optimierungsstrategien entwickeln zu können.

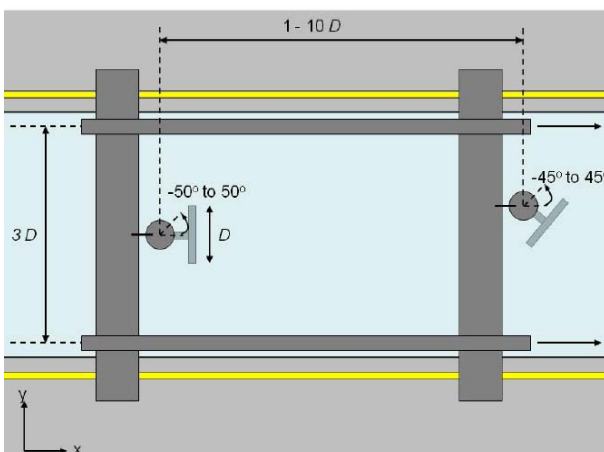
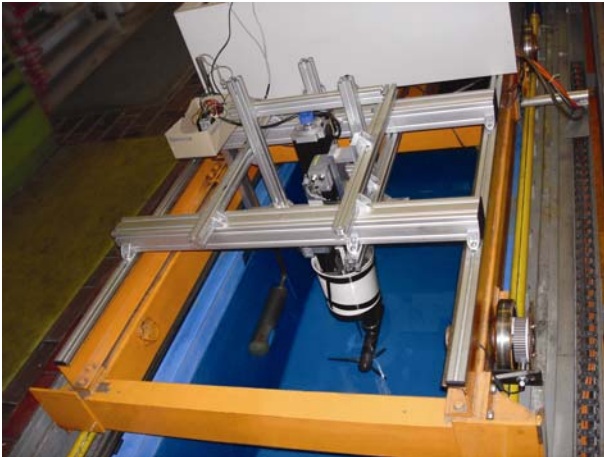
Die Arbeiten kombinieren Experimente mit einer neuen *Sub-scale model wind turbine test facility* der ETHZ und CFD-Studien, welche den kommerziellen CFX-Code verwenden.

Ziel ist es, eine Energieertragskarte für komplexes Terrain mit turbulenten Windströmungen zu erstellen, welche in Abhängigkeit der relativen Positionierung der Anlagen in einem Windpark Aussagen zur Wirtschaftlichkeit machen kann. Empfehlungen zur Optimierung des Windpark-Layouts sollen damit möglich werden.

Erhöhung des «Wertes» der Windenergie

Im Rahmen des Forschungsprojekts *Fore- und Nowcasting der Stromproduktion von Windenergieanlagen in komplexem Gelände* [5] wurden verschiedene Prognose-Methoden erarbeitet und mit einem Prototyp getestet. Die Prognosen wurden für zwei zeitliche Horizonte untersucht: die Kurzfristprognosen für den nächsten Tag, sowie

die Kurzzeitprognosen für den Intra-Day-Handel. Prognostiziert wurden die stündlichen Werte von Windgeschwindigkeit und Leistung.



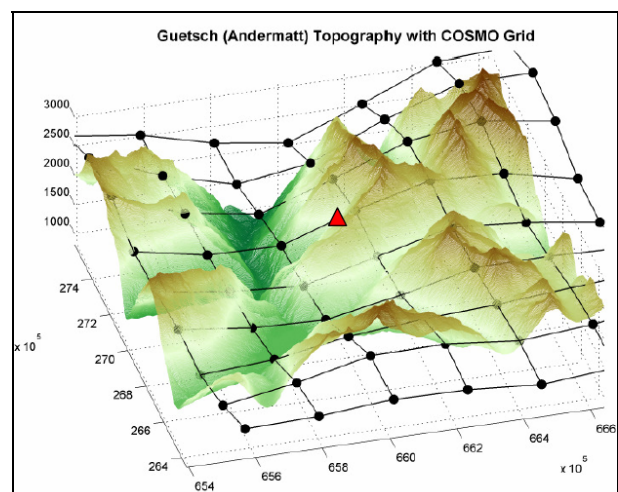
Figur 2: Sub-scale model wind turbine test facility an der ETH Zürich. Bisheriger Aufbau (oben) und neues Design mit 2 Rotoren (unten), um die gegenseitige Beeinflussung von Windturbinen untersuchen zu können. (Foto ETHZ)

Folgende Methoden wurden entwickelt und untersucht:

- **Direct Model Output:** Windgeschwindigkeits-Prognosen wurde direkt vom Resultat des operationellen numerischen Wettermodells COSMO von MeteoSchweiz übernommen. Die Prognose der Leistung wurde von der Windgeschwindigkeit mit Hilfe der theoretischen Leistungskurve der entsprechenden Windenergieanlage (WEA) abgeleitet.
- **WindSim:** WindSim ist ein hoch auflösendes Modell zur Simulation von Windfeldern über dem Gelände. Die Windgeschwindigkeitsprognosen des COSMO-Modells wurden mit den in WindSim gerechneten Windfeldern an den Anlagenstandort auf Nabenhöhe umgerechnet. Die Leistungsprognose wurde wie für den Di-

rect Model Output aus der theoretischen Leistungskurve abgeleitet.

- **Model Output Statistics:** Anhand von historischen Mess- und Modelldaten wurde für jeden individuellen Standort ein möglichst guter linearer Zusammenhang zwischen verschiedenen Prognosen des COSMO-Modells und gemessenen Werten von Windgeschwindigkeit und Leistung bestimmt. Damit wurden die aktuellen COSMO-Prognosen in Windgeschwindigkeits- bzw. Leistungsprognosen umgerechnet.
- **Kalman Filter:** Mit den lokalen Windgeschwindigkeitsmessungen der letzten 24 Stunden wurden laufend die Vorhersagefehler aktualisiert, anhand derer die COSMO-Prognosen korrigiert wurden. Die Leistungsprognose wurde aus einem empirischen Zusammenhang zwischen gemessener Windgeschwindigkeit und gemessener Leistung am Standort abgeleitet.



Figur 3: Vergleich der wirklichen Topographie (überhöht) mit der COSMO-2-Topographie (schwarze Punkte) am Beispiel Gütsch. Ergebnisse mit dieser recht feinen Gitterweite sind noch weit entfernt von der Genauigkeit, die für Windvorhersagen für Windenergiezwecke benötigt wird.

Eine Methode, um das Ergebnis einer numerischen Wettervorhersage weiter zu verfeinern, ist ein dynamisches Downscaling wie z.B. durch Simulationen mit dem Computational Fluid Dynamics (CFD) Modell WindSim. Dabei werden die Ergebnisse eines gröber aufgelösten Modells als Anfangs- und Randwerte für ein feiner auflösendes Modell verwendet.

Die verschiedenen Vorhersagemethoden wurden sowohl für die Kurzfrist- als auch die Kurzzeitprognose erfolgreich angepasst. Die Genauigkeit der Resultate ist trotz der sehr komplexen Topografie der Schweiz grösstenteils besser oder im Bereich von internationalen Referenzwerten. Die

entwickelten statistischen Methoden haben bei ähnlicher Güte unterschiedliche Anforderungen an die zugrunde liegende Datenbasis. Dies verleiht uns eine grosse Flexibilität für die Entwicklung eines operationellen Betriebs und die Möglichkeit, auf die individuellen Gegebenheiten an einem neuen Standort (z. B. die Datenverfügbarkeit) einzugehen.

Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie

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* [26]. Der schweizerische Beitrag konkretisiert sich in den folgenden Projekten:

- Im Rahmen des an der EPFL in Lausanne durchgeführten Forschungsvorhaben *Investor Acceptance of Wind Energy in Switzerland* [7] wird untersucht, wieso Investoren in der Schweiz im Bereich der Windenergie aktiv sind

und welche Rahmenbedingungen geändert werden müssten, falls sie von Investitionen absehen.

- 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.
- Studien an den zukünftigen *Standorten für Windparks auf dem Schwyberg* [9] und dem *Gotthard* [10] sollen klären, in welchem Masse die Brutvögel und der Vogelzug durch die Nutzung der Windenergie beeinträchtigt werden. Erfassung des Vogelzugs vor und nach dem Bau durch Radar, intensive Schlag-Zählung (einschliesslich der Fledermäuse) und Brutvogelbeobachtungen. Vorschläge für die Minimierung der negativen Einflüsse sollen für weitere Windenergieanlagen entlang des Voralpenkammes und im inneralpinen Raum gemacht werden.

Nationale Zusammenarbeit

Organisation der Windenergieforschung in der Schweiz

Der Leiter des Energieforschungsprogramms Windenergie ist gleichzeitig Co-Geschäftsführer der Schweizerischen Windenergievereinigung «Suisse Eole». Dadurch ist eine enge Verbindung zwischen relevanten Marktanliegen und der Forschung sicher gestellt. Im Rahmen eines sog. Firmenbeirates können sich die Mitglieder des Verbandes auch zu Fragen der Forschung äussern. An regelmässigen Treffen des Programmleiters mit dem CORE^{III}-Paten Prof. Dr. Rolf Wüstenhagen, der BFE-Bereichsleiterin Dr. Katja Maus und dem Verantwortlichen beim BFE für Marktentwicklung, Markus Geissmann wird die Entwicklung des Programms mit den Zielen der CORE und den Anliegen von EnergieSchweiz abgestimmt.

Abgrenzungen zu und Synergien mit anderen Programmen

Das Forschungsprogramm Windenergie hat bereits in der Vergangenheit mit anderen Forschungsprogrammen des BFE aktiv zusammengearbeitet. Diese Kooperationen wurden auch im Berichtsjahr weiter geführt. Im Besonderen bestehen gute Kontakte zum Bereich der Photovoltaik, der Akkumulatoren und Superkondensatoren, der Elektrizitätstechnologien und -anwendungen und des Verkehrs.

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*. [26]. Eines der Ziele dieser Aktivitäten ist, die Resultate der Sozialwissenschaften den planenden Ingenieuren näher zu bringen.

Netze

Das Thema «Intelligente Verteilnetzstrukturen» (Smart Grids) und Regelernergie 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, Lasen) [16] betreut Windenergie-Projekte, insbesondere auch im Zusammenhang mit der Entwicklungszusammenarbeit.
- Ebenfalls mit der EPFL, dem 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. [17]
- Das Labor für Strömungsmaschinen an der ETH Zürich [18] ermittelt im Rahmen des Pro-

jektes *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 [19].
- Das Irap (Institut für Raumentwicklung an der Hochschule für Technik Rapperswil) besitzt umfassendes Know-how zur Fragestellung Windenergie und Raumplanung [20].
- Der Dreh- und Angelpunkt für die Förderung der Windenergie in der Schweiz ist *Suisse Eole*, die Schweizerische Vereinigung zur Nutzung der Windenergie [21].
- Sämtliche Planungsinstrumente, insbesondere ein Map-Server mit allen relevanten Aussagen zu möglichen Windenergiestandorten sind auf der Website von *Suisse Eole* vorhanden. [22]

Internationale Zusammenarbeit

Seit 2002 beteiligt sich die Schweiz am IEA-Projekt *Wind Energy in Cold Climates (WECO)* [11]. 2009 fanden drei Treffen der Experten statt. Umfassende Informationen sind auf der Website dieses Programms zu finden [24].

Die Arbeiten beim *Alpine Test Site Gütsch* [15] sind eng verknüpft mit dem oben 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* veröffentlicht, in welchem die entsprechenden Resultate dargestellt sind. Im September 2009 wurde ein internationales Seminar zu diesen Fragestellungen in Andermatt durchgeführt [25].

Im Jahre 2007 wurden Aktivitäten aus dem Forschungsprogramm Windenergie lanciert, um innerhalb der IEA einen neuen Task *Social Acceptance* [26] zu starten. Am ExCo-Meeting vom 22.4.2008 in Aalborg wurde das Arbeitsprogramm dieses Task 28 grundsätzlich bestätigt. Ein erstes inoffizielles Treffen fand am 28.8.2008 im schweizerischen Bubendorf statt. Der offizielle Start von Task 28 erfolgte am 20.3.2009 in Magdeburg, und ein weiteres Treffen wurde am 26.10.2009 in Boulder, USA durchgeführt. Bis heute partizipieren Kanada, Dänemark, Deutschland, Finnland, Irland, Japan, Holland, Norwegen, die Schweiz und die USA. Operating Agent ist Robert Horbaty, Programmleiter des Forschungsprogramms Windenergie.

Die Erstellung eines umfassenden «State of the art»-Reports wurde durch das Forschungsprogramm Windenergie mitfinanziert [28].

Pilot- und Demonstrationsprojekte

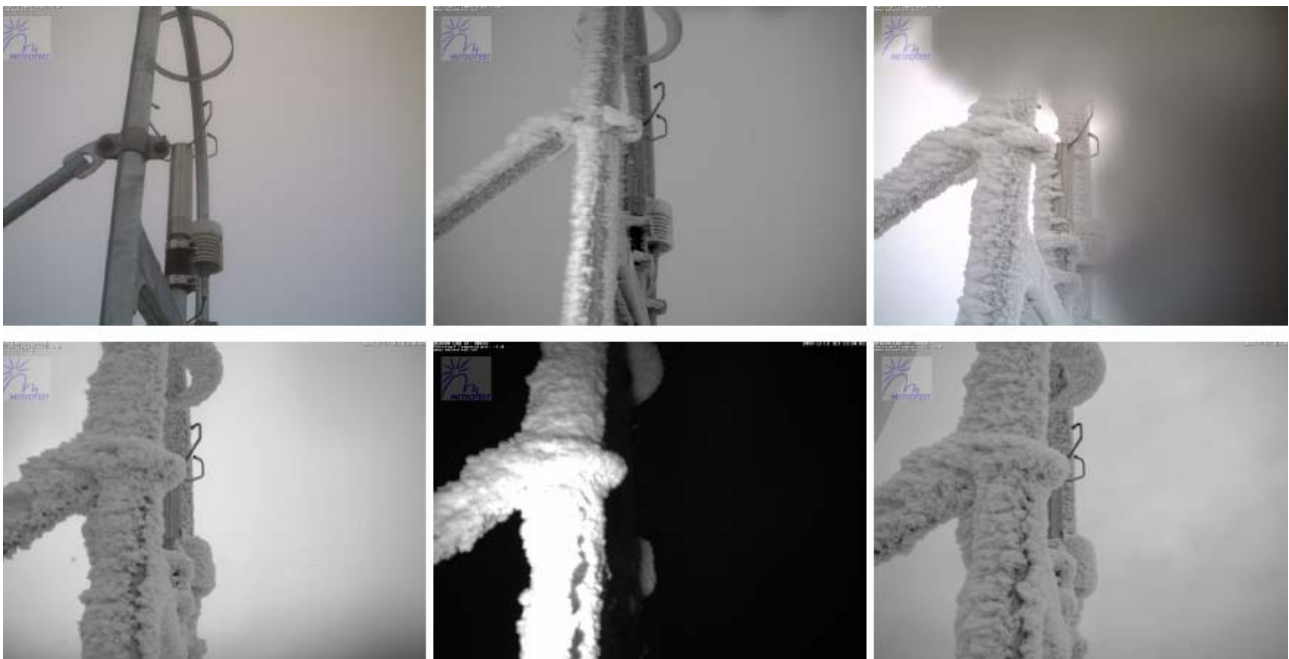
Im Kontext mit den Schwerpunkten des Forschungsprogramms Windenergie werden mit dem P+D-Projekt *Vereisung WEA St. Brais, Auswirkungen der Vereisung auf das Betriebsverhalten und den Energieertrag von Windkraftanlagen im Jurabogen* [15] folgende Ziele verfolgt:

- Bestimmung der Effizienz und der Zuverlässigkeit des gelieferten Systems zur Eisentfernung von den Rotorblättern (Warmluftheizung) mittels Auswertung der Webcam-Bilder; Berechnung der dazu benötigten Energie; Vollständigkeit der Eisentfernung.
- Ermittlung des Ertragsausfalls einer WEA durch Vereisung: Bei einer WEA wird während eines Monats pro Messwinter das Enteisungssystem deaktiviert, während die zweite Anlage normal weiter betrieben wird. Aus den Resultaten wird ein Vergleich zwischen der zusätzlich gewonnenen Energie und der eingesetzten Heizenergie erstellt und daraus eine Aussage über das Kosten-Nutzen-Verhältnis des eingesetzten Enteisungssystems gemacht. Gleichzeitig soll der Einfluss der Vereisung auf die Leistungskurve der WEA quantifiziert werden.
- Erfassung der durch Vereisung an den Rotorblättern entstehenden Zusatzlasten basierend

aus den Messdaten des Insensys Rotorblatt-Monitoringsystems RMS (Eiserkennung).

- Bestimmung der Häufigkeit, der Intensität, der Dauer und der Art von Vereisungsereignissen am Standort St. Brais im Jurabogen; Vergleich mit den bei der Projektierung theoretisch berechneten Werten sowie den Resultaten der vom BFE geplanten Vereisungskarte der Schweiz.
- Detaillierte Evaluation der Zuverlässigkeit unterschiedlicher Systeme zur Erfassung der Vereisung an Rotorblättern von WEA.
- Erstellung einer standortspezifischen Leistungskennlinie der WEA mit und ohne Vereisung mittels einer LIDAR-Messkampagne. Vergleich mit der vom Hersteller definierten Leistungskurve.
- Erfassen der durch Vereisung an den Rotorblättern entstehenden Zusatzlasten mittels einer Gewichtsmessung mit Dehnmessstreifen (Eiserkennung).

Das Insensys RMS System sowie die Kameras konnten zeitgerecht auf der WEA in St. Brais installiert werden. Damit war das Kernsystem des Projekts gemäss Zeitplan verfügbar. Das Vereisungsereignis von Mitte Dezember lieferte einen ersten sehr guten Datensatz und zeigte zudem die



Figur 4: Bilder des beheizten Sonic Anemometer auf der Gondel der Windkraftanlage während einer Vereisungsperiode (Foto Meteotest)

Relevanz dieses Projekts für die Schweizer Windenergie.

Während dieser Zeit trat im ganzen Jurabogen und auch in den Voralpen starke Vereisung auf, welche alle unbeheizten Windmessungen zum Erliegen brachte. Durch die tiefen Temperaturen blieb das Eis während mehr als einer Woche erhalten. Eine WEA ohne Blattheizung hätte vermutlich während dieser Zeit nicht mehr oder nur reduziert betrieben werden können. Die Analyse der in Fig. 4 dargestellten Kamerabilder zeigte, dass das auf der Gondel installierte Sonic Anemometer während der ganzen Zeit eisfrei blieb.

Die Blattheizung der WEA 1 in St. Brais schaltete sich während dieser Periode (11. bis 17. Dezember) insgesamt 16 Mal ein. Gemäss den Kamerabildern konnte das Eis erfolgreich von der Vorderkante des Flügels entfernt werden; es ist kein signifikanter Eisansatz zu erkennen. Auf der Rücksei-

te konnte das Eis jedoch nicht vollständig abgeschmolzen werden, wobei dies, wie auch die ETH in ihrem Vorhaben ermittelt hat, nicht relevant ist.

Die Betriebserfahrungen der installierten Windenergieanlagen werden kontinuierlich erfasst. 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 (Projekt *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.



Figur 5: Bilder des enteisten Rotorblattes (Foto Meteotest)

Bewertung 2009 und Ausblick 2010

Die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) [27] hat zu einer grossen Dynamik in der Planung von Windenergieprojekten in der Schweiz geführt. Die folgende Grafik in Fig. 6 zeigt die aktuellen Zahlen. Insgesamt sind Projekte mit einer möglichen Energieproduktion von ca. 1'400 GWh angemeldet, weitere Projekte mit einer Kapazität von 400 GWh sind auf einer Warteliste. Unter «Sollbeitrag» KEV sind ein Beitrag von 600 GWh an die Ziele des Energiegesetzes (5'400 GWh Strom aus neuen erneuerbaren Energien) sowie der gemäss

Teilkostendeckel von 30 % maximal zu erwartende Betrag von rund 1'100 GWh eingetragen.

Das Energieforschungsprogramm Windenergie unterstützt die Realisierung dieser Vorhaben mit Forschungs- und P+D-Projekten, Schwerpunkte des durch die CORE am 9.9.2008 genehmigten Konzeptes [23] sind:

- Entwickeln von **Anlagekomponenten**, z.B. (1) Antifreeze-Beschichtungen für Rotorblätter von Windenergieanlagen [2] (2) *Development of*

Wind Turbines for Safe Operation in Alpine Environments [4]

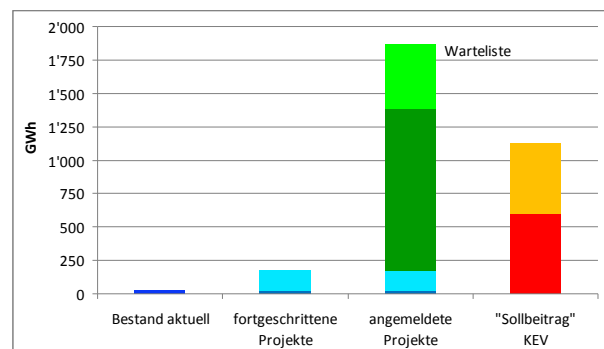
- Erhöhung der Verfügbarkeit und des **Energieertrages** von Windkraftanlagen an extremen Standorten, z. B. (1) Vereisungskarte der Schweiz [12] (2) Auswirkungen der Vereisung auf das Betriebsverhalten und den Energieertrag von Windkraftanlagen im Jurabogen [15]. (3) *Measuring and forecasting icing on structures* [6]
- Erhöhung des «**Wertes**» der Windenergie, z. B. (1) Fore- und Nowcasting der Stromproduktion von Windenergieanlagen in komplexem Gelände [5]
- Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie, z. B. (1) Social Acceptance of Wind Energy in Switzerland – To Invest or Not to Invest [7] (2) *Code of Conduct* [8] (3) *Studie Auswirkungen auf die Vogelwelt des Windenergieprojektes Gotthard* [9] (4) *Studie Auswirkungen auf die Vogelwelt des Windenergieprojektes Schwyberg* [10]

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

Mit dem IEA-Projekt *Social Acceptance* [26] werden die mittlerweile umfassenden Erfahrungen in Akzeptanzfragen in unserem Land international

vernetzt – im Sinne von besseren und rascher realisierbaren Projekten.

Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE erarbeitet alle vier Jahre in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern und dem Bundesamt für Energie das Energieforschungskonzept des Bundes. Für das Konzept 2013 – 2016 werden vier neue Schwerpunkte gesetzt: «Wohnen und Arbeiten der Zukunft», «Mobilität der Zukunft», «Energiesysteme der Zukunft» und «Prozesse der Zukunft». Anlässlich der letzten Programmleitersitzung vom 20.11.2009 wurde mit der Formulierung dieser Strategie begonnen.



Figur 6: Mögliche Entwicklung der Windenergie in der Schweiz

Da die für das Programm im Jahre 2010 zur Verfügung stehenden Mittel bereits zu einem grossen Teil verpflichtet sind, besteht für neue Forschungsvorhaben nur noch ein kleiner Spielraum.

Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht 2009 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] Martina Hirayama (martina.hirayama@zhwin.ch, www.zhaw.ch/de/zhaw.html) zhaw, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, **Nicht vereisende Beschichtungen für Rotorblätter von Windenergieanlagen** (JB) 102'660
- [3] 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** (SB) 102'744
- [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 environments (phase II), Influence of upstream wakes on turbine power in complex terrain** (JB) 102'744
 - [5] Stefan Kunz, René Cattin (kunz@meteotest.ch, www.meteotest.ch), Meteotest, Bern: **Fore- und Nowcasting der Stromproduktion von Windenergieanlagen in komplexem Gelände** (JB) 102'399
 - [6] René Cattin (cattin@meteotest.ch, www.meteotest.ch), Meteotest, Bern: **Measuring and forecasting icing on structures** (JB) 102'592
 - [7] Professor Christopher Tucci, Mary Jean Burer (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** (SB) 102'429
 - [8] Pierre Strub, Christine Ziegler (info@pierrestrub.ch, www.pierrestrub.ch), Pierre Strub, freischaffender Berater; **Code of Conduct für Windkraftprojekte** (SB) 102'553

- [9] Felix Liechti, Vogelwarte Sempach, felix.liechti@vogelwarte.ch <http://www.vogelwarte.ch>
Studie zu den Auswirkungen des Windparks Schwyberg auf die Vogelwelt. (JB) 103'282
- [10] Felix Liechti, Vogelwarte Sempach, felix.liechti@vogelwarte.ch <http://www.vogelwarte.ch>
Studie zu den Auswirkungen des Windparks Gotthard auf die Vogelwelt. (JB) 103'282
- [11] Patricia Weis-Taylor, (pwt_communications@comcast.net), www.ieawind.org
- nrel-Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development, Task 19 **Wind Energy in Cold Climates:** arcticwind.vtt.fi. (JB)
- [12] Silke Dierer, Philippe Steiner, Michael Lehning, René Cattin, Meteotest / MeteoSchweiz / WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), silke.dierer@meteotest.ch, www.meteotest.ch, **Vereisungskarte der Schweiz** (JB) 103'203

Liste der P+D-Projekte

- [1] 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**, (JB) 101'708
- [2] Roland Aregger (info@windpower.ch, www.windpower.ch), Windpower AG, Entlebuch: **Betriebsresultate der Windenergieanlage Feldmoos** (SB) 101'763
- [3] René Cattin (cattin@meteotest.ch, www.meteotest.ch), Meteotest, Bern: **Vereisung WEA ST. BRAIS, Auswirkungen der Vereisung auf das Betriebsverhalten und den Energieertrag von Windkraftanlagen im Jurabogen** (JB) 103'291

Referenzen

- [15] Alpine Test Site Gütsch, Website zu diesem COST 727-Projekt www.meteotest.ch/cost727/index.html
- [16] EPFL Lausanne, Laboratoire de systèmes énergétiques Lasen: lasen.epfl.ch/page39406.html.
- [17] EPFL, College of Management of Technology (CDM), Lausanne, cdm.epfl.ch/homepage.php
- [18] Prof. R. Abhari, Dr. S. Barber, Labor für Strömungsmaschinen an der ETH Zürich, www.lsm.ethz.ch
- [19] ZHAW, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Winterthur, Martina Hirayama (martina.hirayama@zhwin.ch, www.zhaw.ch/de/zhaw.html)
- [20] 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)
- [21] Schweizerische Vereinigung für Windenergie, Suisse Eole: www.suisse-eole.ch.
- [22] Windenergie Daten der Schweiz www.wind-data.ch.
- [23] Konzept des Energieforschungsprogramms Windenergie für die Jahre 2008 – 2011, ausgearbeitet durch R. Horbathy, von der CORE am 9.9.2008 zur Umsetzung freigegeben.
- [24] **Wind Energy in Cold Climate**, Website des IEA Task 19 «WECO», arcticwind.vtt.fi
- [25] Veranstaltung zur Vereisung, IWAIS, Sept. 2009 in Andermatt www.iwais2009.ch
- [26] 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
- [27] Unterlagen zur **Kostendeckenden Einspeisvergütung KEV** von Windkraftanlagen in der Schweiz, Bundesamt für Energie www.bfe.admin.ch/themen/00612/02073/index.html?dossier_id=02168&lang=de
- [28] Robert Horbaty, ENCO AG, robert.horbaty@enco-ag.ch, www.enco-ag.ch, Literatur **IEA Wind Task 28 Social Acceptance of Wind Energy**, (JB) 102'802

ⁱ World Wind Energy Association http://www.wwindea.org/home/index.php?option=com_content&task=view&id=245&Itemid=40

ⁱⁱ Bundesverband Windenergie <http://www.wind-energie.de/de/statistiken/we-international/>

ⁱⁱⁱ CORE: Commission fédérale pour la recherche énergétique. Eine ausserparlamentarische Kommission, die es u.a. zur Aufgabe hat, dem Bundesrat alle vier Jahre ein Konzept für die Schweizer Energieforschung vorzulegen. Infos: www.energieforschung.ch.