



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

ENERGIEFORSCHUNGSPROGRAMM

WINDENERGIE

FÜR DIE JAHRE 2008–2011



27.8.2008

Impressum

Datum: 27.8.2008

Autor: Robert Horbaty, ENCO Energie-Consulting AG, Wattwerkstrasse 1, CH-4416 Bubendorf
www.enco-ag.ch

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, CH-3003 Bern, Tel. 031 322 56 11, www.bfe.admin.ch

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch, www.wind-energie.ch

Titelbild:

2 MW Windkraftanlage in Collonges VS; Eigentümerin **RhônEole SA**,
Energieproduktion 2006: 4.4GWh, Foto Jean-Marie Roullier, Copyright RhônEole SA

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Technologie Windenergie – Ausgangslage	5
2.1	Allgemeine Beschreibung der Technologie.....	5
2.2	Technische Entwicklungen (zukünftig erwartete Entwicklung, Innovationspotential)	7
2.3	Technische Schlüsselkennzahlen	7
2.4	Kommerzielle Schlüsselkennzahlen.....	9
2.5	Weltweiter und Schweizer Markt.....	11
3	Nationale Akteure	15
3.1	Grundlagenforschung und produktorientiert angewandte F+E	15
3.2	Produktorientierte angewandte Forschung und P+D projekte	15
3.3	Transferstellen.....	15
3.4	Entwicklungszusammenarbeit.....	15
3.5	Screening CH-Wirtschaft und Windenergie	15
3.6	Organisation der Windenergieforschung in der Schweiz	16
3.7	Abgrenzungen und Synergien zu anderen Programmen.....	16
4	Internationale Zusammenarbeit.....	17
4.1	Teilnahme IEA R&D Wind	17
4.2	Task 19.....	17
4.3	Neuer Task: Social Acceptance	17
4.4	COST 727.....	17
5	Technische und wirtschaftliche Zielsetzungen	18
5.1	Stand der Technik	18
5.2	Qualitative Programmziele	18
6	Miteinsatz für die Technologie Wind-Forschung	20
6.1	öffentliche Hand	20
6.2	Privatwirtschaft	21
7	Forschungsschwerpunkte in den Jahren 2008 - 2011	21
7.1	Schwerpunkt 1: Entwickeln von Anlagekomponenten	21
7.2	Schwerpunkt 2: Erhöhung Verfügbarkeit und Energieertrag	21
7.3	Schwerpunkt 3: Erhöhung des „Wertes“ der Windenergie in der Stromversorgung.....	23
7.4	Schwerpunkt 4: Akzeptanz.....	23
7.5	Leitungsaufgaben und Internationale Vernetzung	25
7.6	Übersicht über die finanziellen Mittel 2008-2011	26
8	Referenzen	27

1 Zusammenfassung

Allgemein

Weltweit hat sich die installierte Leistung von Windenergieanlagen zwischen Ende 1999 und Ende 2006 von 13'600 auf 74'223 MW mehr als verfünffacht. Diese Anlagen liefern ca. 156 TWh Elektrizität bei gleichzeitiger Reduktion der CO₂-Emissionen um jährlich über 116 Mio t. Die Windenergie-Industrie setzt rund 8 Mrd. Euro um, 84% davon in Europa. Ende 2007 waren in der Schweiz 34 Windkraftanlagen installiert mit einer Gesamtleistung von 11.59 MW, welche rund 16 GWh pro Jahr erzeugen. In der Schweiz hat sich eine Zulieferindustrie entwickelt, welche international agiert und in der Schweiz jährlich ca. 170 Mio. Franken umsetzt. Die Schweizer Forschung ist vor allem auf dem Gebiet von Anlagen im Gebirge und an unzugänglichen Standorten international vernetzt.

Technische und ökonomische Ziele

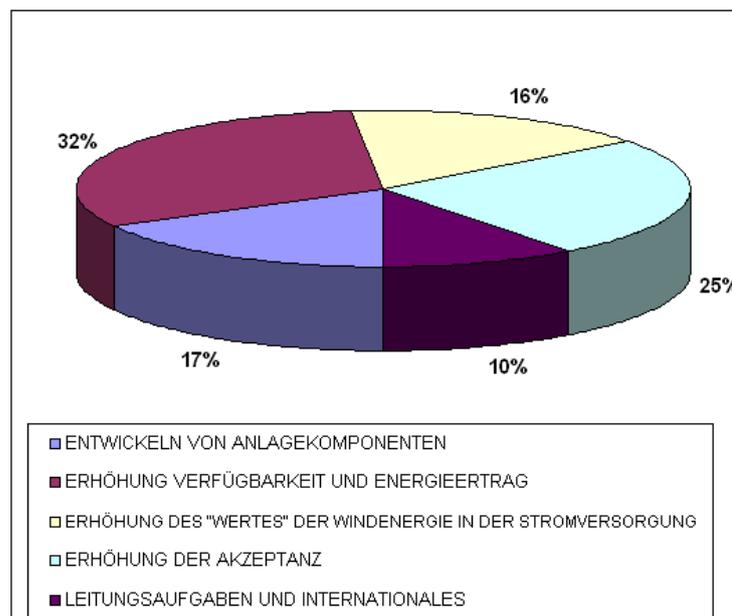
Heute sind technisch ausgereifte Windkraftanlagen mit Leistungen von 500 W bis 5 MW für Standardbedingungen auf dem Markt. Im Vordergrund der Forschung stehen daher:

- **Entwickeln von Anlagekomponenten** (Sensorik, Nano-Technologie) für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen durch einheimische Industrie.
- **Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages** von Windkraftanlagen an extremen Standorten (Klima, Turbulenzen, Logistik).
- **Erhöhung des «Wertes» der Windenergie**, Optimierung der Integration von Windkraftanlagen in die Stromversorgung (Forecasting, Regelenergie).
- **Erhöhung der Akzeptanz** für Windenergie unter Einbezug sozial- und umweltwissenschaftlicher Kompetenz und damit Verkürzung der Projektrealisierungsdauer.

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

Mittelbedarf bis 2011

Vor dem Hintergrund des grossen Marktes und der intakten Geschäftsmöglichkeiten für schweizerische Unternehmen sind die Forschungsaufwendungen auf 2 Mio. Franken pro Jahr zu erhöhen und Mittel für P+D-Projekte von rund 1 Mio. Fr. pro Jahr bereitzustellen. Eine Reihe von Aspekten (z.B. in den Bereichen Akzeptanz und Energiewirtschaft) sind ggf. zusammen mit dem Programm Energie-wirtschaftliche Grundlagen zu behandeln.



Figur 1: Verteilung der Mittel für die einzelnen Schwerpunkte

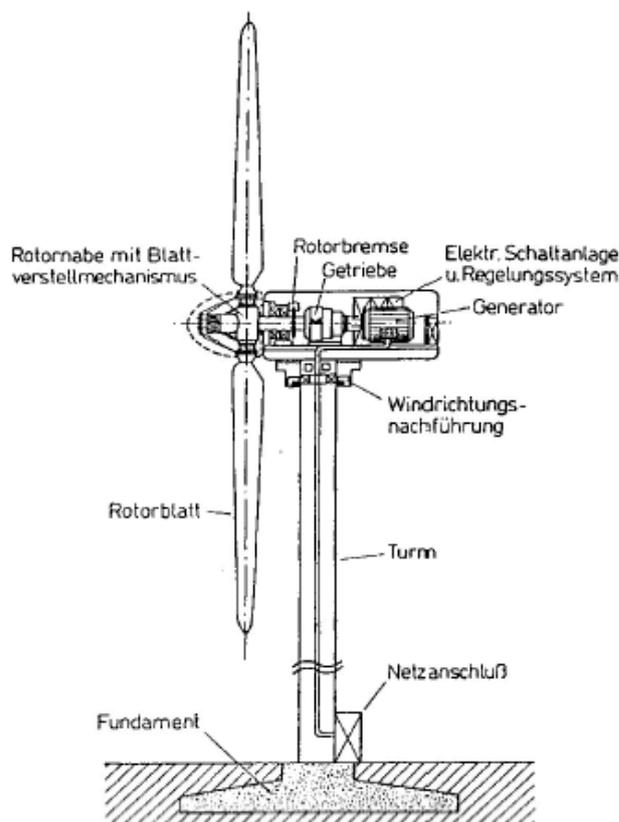
	2008	2025	2050
Planungszeit/Akzeptanz			
Projektierung (Jahre)	2–7	1–2	< 1
Verfügbarkeit/Energieertrag			
Verfügbarkeit	95 %	98 %	> 98 %
Volllaststunden [h] für Anlagen > 100 kW an Standorten > 5 m/s	1100	1300	1600
Gestehungskosten [Rp./kWh]			
Kosten Elektrizitätserzeugung in CH	12–20	12–15	11–13
Kosten Elektrizitätserzeugung in der EU	6–12	4–10	3–9

Figur 2: Kennzahlen zur angestrebten Entwicklung der Windenergie, Werte zu Stromgestehungskosten nach ⁽¹²⁾

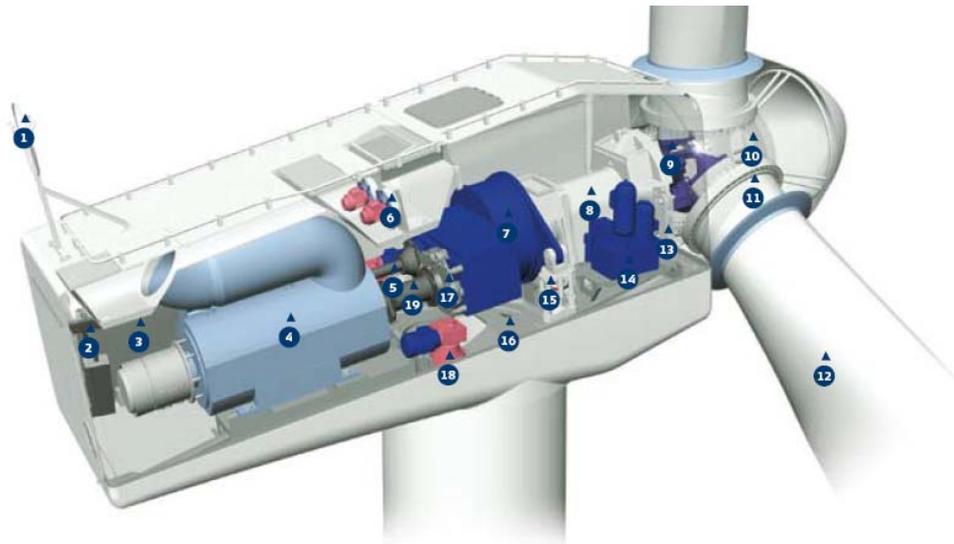
2 Technologie Windenergie – Ausgangslage

2.1 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER TECHNOLOGIE

Obwohl in der Vergangenheit die vielfältigsten Anlagentypen entwickelt und erprobt wurden (wie z.B. Anlagen mit vertikaler Achse, etc.), hat sich weltweit das Prinzip mit 3-Flügel-Rotor (als Luv-Läufer konzipiert) horizontaler Achse und der Maschinengondel auf einem Stahlurm, durchgesetzt. In nachfolgender Darstellung sind die wesentlichen Bauteile einer Windkraftanlage dargestellt:



Figur 3: Schematische Darstellung einer Windkraftanlage



- | | | | |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 Ultraschall-Windsensor | 6 Öl- und Wasserkühler | 11 Rotorblattlager | 16 Maschinenrahmen |
| 2 Servicekran | 7 Getriebe | 12 Rotorblatt | 17 Mechanische Rotor-Arretierung |
| 3 VMP-Top-Controller mit Umrichter | 8 Hauptwelle | 13 Rotor-Arretierungssystem | 18 Azimut-Antriebe |
| 4 OptiSpeed®-Generator | 9 Pitch-System | 14 Hydraulikaggregat | 19 Kompositkupplung |
| 5 Pitch-Zylinder | 10 Rotornabe | 15 Unbeweglicher Arm | |

Figur 4: Darstellung der einzelnen Komponenten einer „klassischen“ Windturbinengondel mit Getriebe.

Die Nutzung der Windenergie ist „skalierbar“, so sind Anlagen auf dem Markt, deren Leistung von wenigen Watt bis 5 MW reichen.



Ruthland 60 Watt



*Aventa 6 kW
in Oberhelfenschwil SG*



*NEC-Micon 900 kW
im Entlebuch LU*



Enercon E-112, 5 MW

Die Einsatzmöglichkeiten reichen von Einzelanlagen zu Kleinwindpark mit bis zu zehn Anlagen über Grosswindparks mit über 100 Anlagen bis hin zu Offshore Windparks im Meer.



*Kleinwindpark der Juvent SA im Berner Jura
Gesamtleistung 7.66 MW*



*King Mountain Wind Park, Texas USA
Gesamtleistung 278.2 MW*

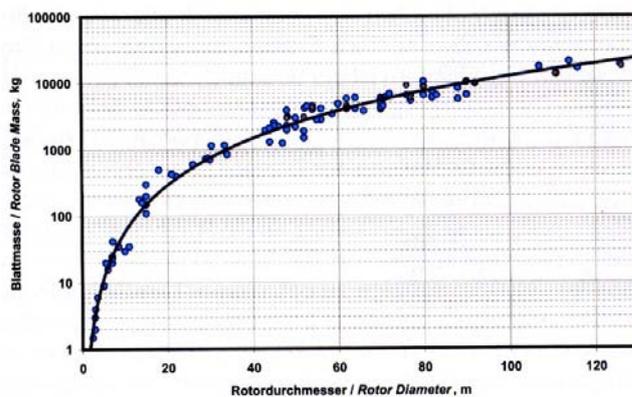


*Arklov Bank Wind Park
Irland, 25.2 MW*

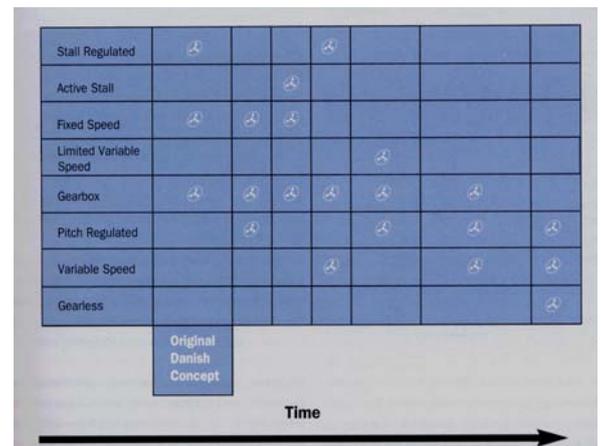
2.2 TECHNISCHE ENTWICKLUNGEN (ZUKÜNFTIG ERWARTETE ENTWICKLUNG, INNOVATIONSPOTENTIAL)

In den 80er und frühen 90er Jahren wurden fast ausschliesslich Anlagen mit „**Stall**“-Regulierung und fixen Drehzahlen eingesetzt. Aufgrund der grösseren Massen der modernen Anlagen und den höheren Netzanforderungen, setzt sich jedoch mehr und mehr das Konzept mit **Blattwinkelregelung** durch. Gerade in Kombination mit Generatoren mit variabler Drehzahl sind diese modernen Windenergiekonverter besser geeignet, die wechselnden Windbedingungen optimal in Energie umzusetzen. Erste Prototypen laufen bereits mit Permanentmagnet-Generatoren, welche reduzierte Unterhaltskosten haben.

In den vergangenen Jahren traten gehäuft **Schadenfälle an den Getrieben** der Windkraftanlagen auf, mit dem Einsatz von getriebelosen Anlagen, z.B. der Firma Enercon, kann dieses Problem umgangen werden. Die zunehmende Grösse der Rotoren stellt an Materialien und Betriebsfestigkeit zunehmend höhere Anforderungen.



Figur 5: Rotorblattmassen heutiger Serien-Windenergieanlagen (Quelle D. Seifried, DEWI)



Figur 6: Darstellung der möglichen technischen Entwicklung der Windkraftanlagen, (aus¹)

Weitere Entwicklungen zeichnen sich in folgenden Bereichen ab^[1]:

- Erhöhung des Wirkungsgrades für Anlagen an Schwachwind-Standorten
- Erhöhung des Wirkungsgrades für Anlagen an kalten und vereisenden Standorten
- Verbesserung des Verhältnisses von Rotorfläche zum Rotorgewicht, z.B. durch Einsatz Kohlefasern
- Optimierung der Netzverträglichkeit, gerade von Anlagen im Multimegawattbereich, Integration von hohen Anteilen an Windenergie ins Netz
- Weitere Reduktion der Geräuschentwicklung
- Verbesserung des aerodynamischen Wirkungsgrades
- Reduzierung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild, z.B. durch optimales Positionieren der Anlagen, Farbgestaltung, etc.
- Verbesserung der Wind-Vorhersagen für kurz- und mittelfristige Vorhersagen (fore- and now-casting).

2.3 TECHNISCHE SCHLÜSSELKENNZAHLEN

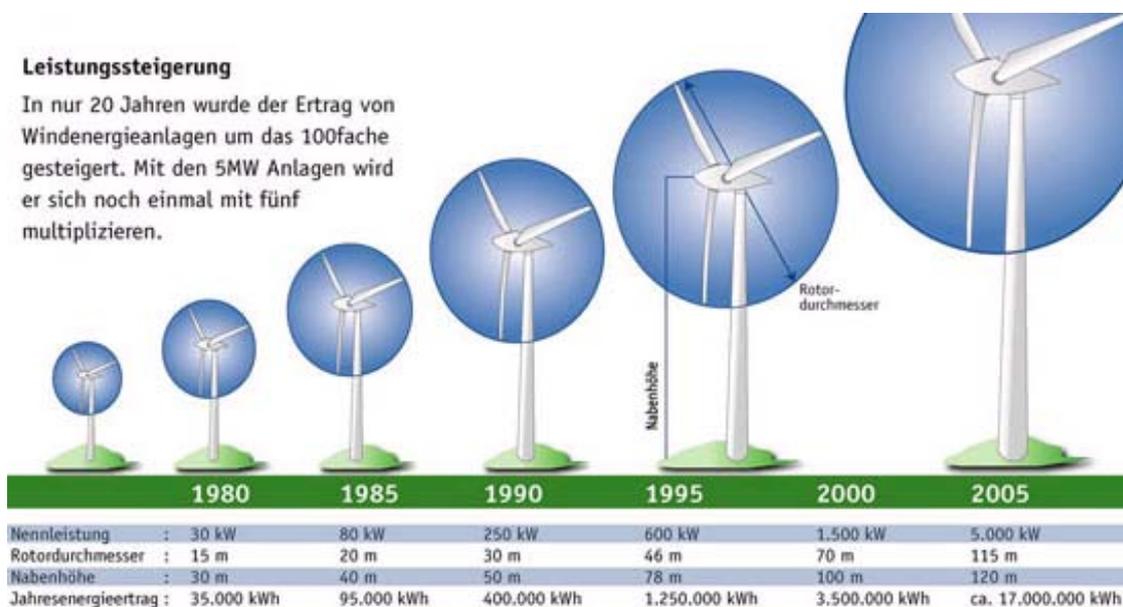
Die durchschnittlich **installierte Leistung** aller Anlagen in der Schweiz im Jahre 2005 betrug **1.2 MW**, ein Wert, der sich bis ins Jahr 2013 auf 2 MW erhöhen wird.^[2]

Theoretisch kann nur bis zu maximal 59.3% der im Wind enthaltenen Energie entnommen werden. (Betzscher Leistungsbeiwert ($c_{p,Betz}$). Der aerodynamische **Wirkungsgrad** einer Anlage liegt bei etwa 70% bis 85% je nach Windverhältnissen und Auslegung (100% = Betz-Koeffizient).

Zur Berechnung der tatsächlich produzierten Energie müssen zusätzlich noch die Wirkungsgrade aller mechanischen und elektrischen Maschinenteile im Gesamtwirkungsgrad berücksichtigt werden. Dieser liegt heute bei rund 40%, es wurden aber bereits 60% erreicht.

Der **Kapazitätsfaktor** einer Windkraftanlage ist ein Indikator, wie effizient diese betrieben wird. Darunter verstehen wir die tatsächliche Energieproduktion dividiert durch den theoretischen, maximalen Ertrag, wenn die Anlage bei Nennleistung die gesamten 8766 Stunden (Inkl. Schaltjahr) eines Jahres laufen würde. Heute beträgt dieser **weltweit im Mittel 24%**, d.h. mit der installierten Leistung von 74'000 MW weltweit werden 156'000 GWh erzeugt. Es wird davon ausgegangen, dass aufgrund technischer Optimierungen der Anlagen, von verbesserten Verfahren zur Standortermittlung und dem höheren Anteil an Offshore Windparks, dieser Kapazitätsfaktor bis 2012 auf 28% und bis 2036 auf 30% anwachsen könnte².

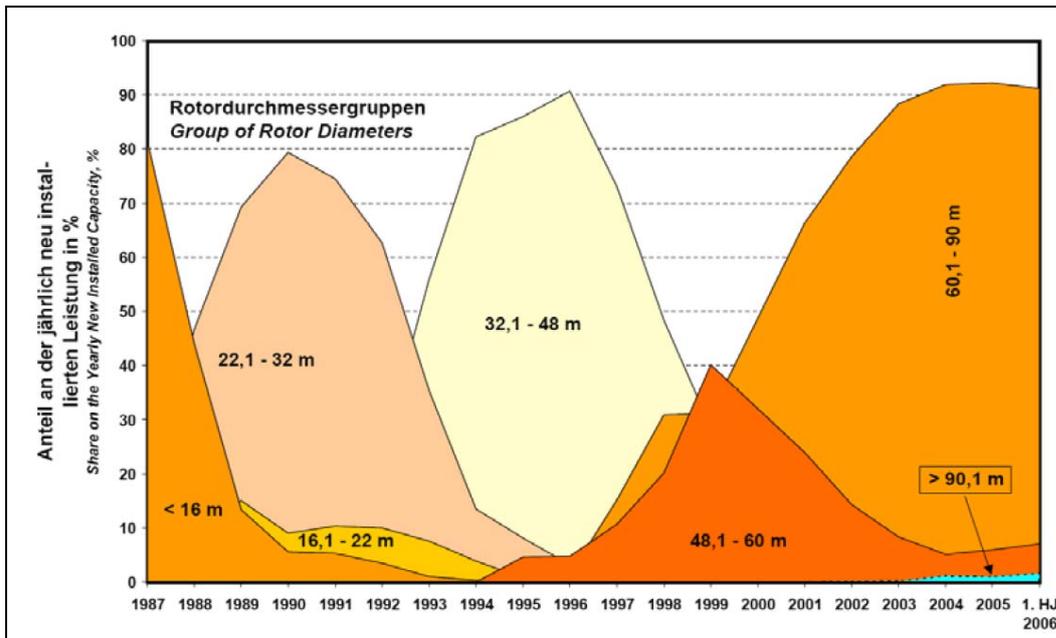
In den vergangenen 25 Jahren fand eine dramatische Steigerung der Anlagengrößen statt. Inwieweit dieser Trend anhält, ist schwierig vorher zu sagen. Einerseits sind der Anlagengröße Onshore aufgrund der Transportlogistik gewisse Limiten gesetzt, so hat der Transport der 2 MW-Anlage in Collonges VS grosse Probleme verursacht. Andererseits scheinen aber im Offshore-Bereich der Anlagengröße keine Grenzen gesetzt, bereits sind Anlagen in Konstruktion mit 10 MW Nennleistung und 150m Rotordurchmesser.



Figur 7: Entwicklung der Grösse der Windenergieanlagen 1980 - 2005

Waren zu Beginn der modernen Windenergienutzung die grosse Mehrheit der Anlagenbetreiber sog. „Independent Power Producers“, so werden heute mehr als **80% der Anlagen durch Energieversorgungsunternehmen** installiert³.

Während einzelne Komponenten wie z.B. Rotorblätter ggf. früher ersetzt werden müssen, haben andere Bauteile wie z.B. Stahltürme eine bedeutend längere Lebensdauer. Windkraftanlagen sollten deshalb in 15 Jahren abgeschrieben werden.



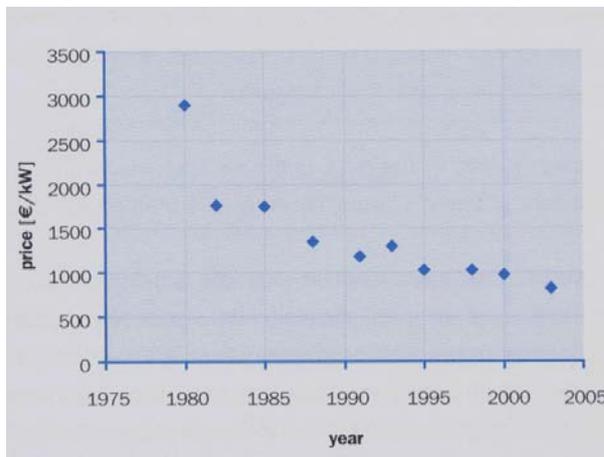
Figur 8: %-Anteil der Grössenklassen der jährlich neu installierten Anlagen
(Quelle: J. Kutscher, Forschungszentrum Jülich⁴)

2.4 KOMMERZIELLE SCHLÜSSELKENNZAHLEN

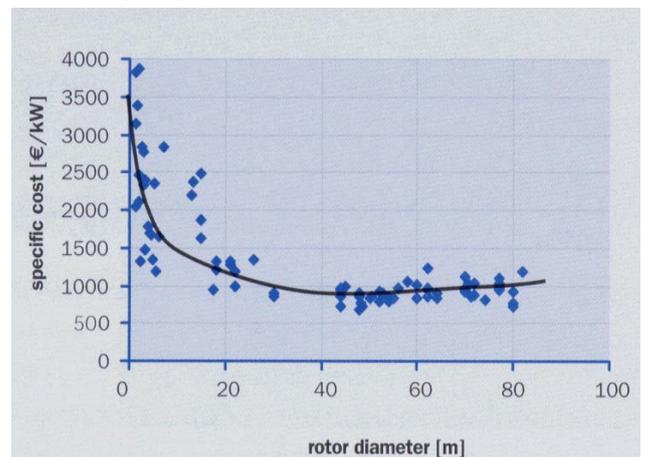
Die Windenergie Branche wuchs seit 2000 um **jährlich 28%**, was ganz beachtlich ist für eine Industrie, welche schwere elektrotechnische und mechanische Bauteile fertigt. In Zukunft wird noch von einem **jährlichen Wachstum von 20%** ausgegangen^[2].

2.4.1 Investitionskosten

Die spezifischen Kosten der Windkraftanlagen in Europa betragen gegenüber 1980 noch knapp $\frac{1}{4}$ ^[1].



Figur 9: Entwicklung der spezifischen Kosten von Windkraftanlagen



Figur 10: Entwicklung der spezifischen Kosten und Rotordurchmesser

Die Entwicklung dieser Kosten ist schwierig anzugeben. Die Darstellung der spezifischen Kosten über dem Rotordurchmesser macht deutlich, dass grössere Anlagen (noch) nicht billiger sind. Fachleute⁵ gehen heute davon aus, dass - aufgrund der Lieferschwierigkeiten von Teilkomponenten wie Lager, Getriebe, etc. und den stark zunehmenden Materialkosten für Stahl und Kupfer - kurzfristig mit einer 20%igen Preissteigerung für Anlagen gerechnet werden muss. Enercon Anlagen haben heute eine Lieferzeit von 20 - 24 Monaten.

Heute kostet eine 2 MW-Windkraftanlage inkl. Bau- und Installationskosten rund SFr. 5'500'000.-. Je nach Anlagengrösse betragen die Gesamt-Investitionskosten für ein Windkraftprojekt heute:

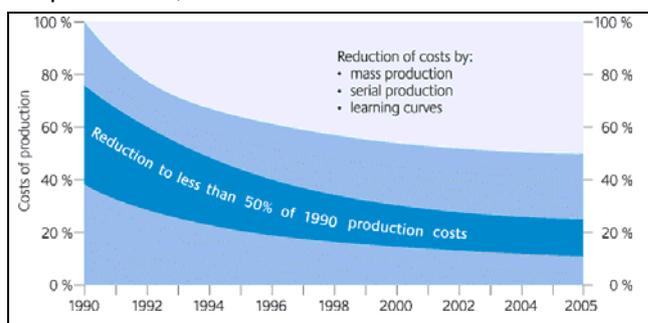
Ort	Kleinanlagen 5 kW in Fr. / kW	Onshore ⁶ in Fr. / kW	Offshore in Fr. / kW
Schweiz heute	8000 – 20'000.- ⁷	2'000.- - 3'000.-	
Internationaler Durchschnitt heute	4'500.-	2'000.- - 2'500.-	2'600.- - 3'800.-
Schweiz 2010	6000 – 15'000.-	1'800.- - 2'800.-	
Internationaler Durchschnitt 2010	3'500.-	1'800.- - 2'300.-	2'400.- - 3'500.-
Schweiz 2025	4000 – 6'000.-	1'300.- - 1'800.-	
Internationaler Durchschnitt 2025	3'000.-	1'000.-	1'400.- – 1'500.-

2.4.2 Zusammensetzung der Anlagen- und Unterhaltskosten

Komponenten Windkraftanlage	Bauteile	% - Anteil ⁸	Onshore ⁹	Offshore	Schweiz ¹⁰
Windkraftanlage	Stahlurm	33 %	71 % (100%)	51 %	69 %
	Rotorblätter	18 %			
	Rotornabe mit Lager und Welle	5 %			
	Maschinenträger	4 %			
	Generator	4 %			
	Getriebe	14 %			
	Azimuthsystem	2 %			
	Blattverstell-System	5 %			
	Umrichter / Trafo	9 %			
	Diverses (Kabel, Bremsen, Abdeckung, etc)	6 %			
	Total	100%			
Fundamente			5.5 %	16 %	5 %
Netzeinbindung			14 %	25 %	12 %
Planung, inkl. Honorar			2.5 %	4 %	7 %
Sonstiges			7 %	2 %	7 %
Unterhaltskosten (in % der Anlagekosten)			2 – 5 %	5 – 7%	2 %
Einrichtung für Betrieb und Unterhalt				2 %	

2.4.3 Stromgestehungskosten

Durch das Bekenntnis der Wirtschaft zu Kostensenkung, technologischen Verbesserungen und Massenproduktion, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der Windindustrie ständig.¹¹

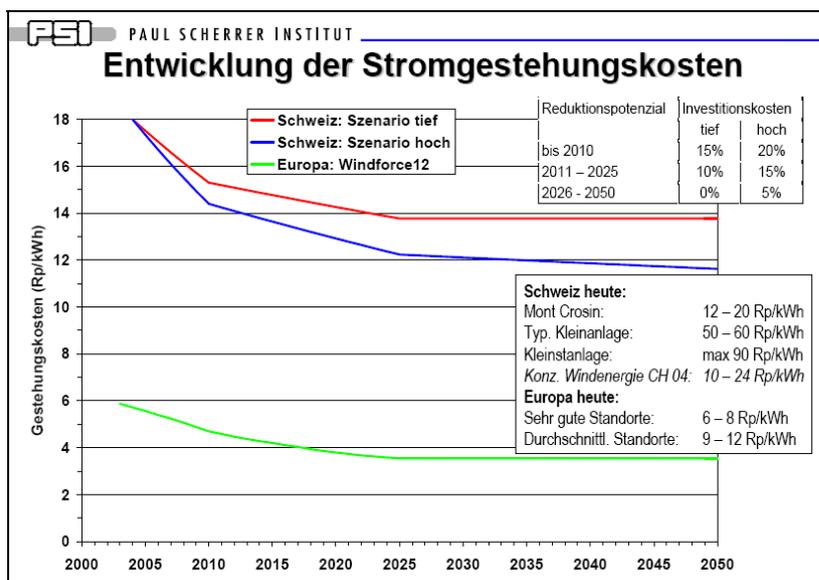


Figur 11: Entwicklung der Stromgestehungskosten

Bei den konkreten Zahlen ist zu berücksichtigen, dass die Gestehungskosten je nach den am Standort herrschenden Windverhältnissen stark variieren. Dies gilt insbesondere für die zukünftige Entwicklung,

da tendenziell die windreichsten Standorte zuerst erschlossen werden: d.h. mit zunehmendem Ausbau der Windenergie wird die Standortqualität abnehmen und dadurch die Gestehungspreise weniger stark sinken oder gar stagnieren. Ebenfalls besteht eine Unsicherheit bez. der Entwicklung der Anlagekosten (siehe auch 3.4.1).

Ort	Onshore ¹² in Rp. / kWh	Offshore in Rp. / kWh
Schweiz heute	20 – 30	
Internationaler Durchschnitt heute	9 – 16	13 – 22
Schweiz 2010	18 – 27 ¹³	
Internationaler Durchschnitt 2010	7 – 14	12 - 20
Schweiz 2025	12 – 15	
Internationaler Durchschnitt 2025	3 - 5	5 - 7



Figur 12: Mögliche Entwicklung der Stromgestehungskosten (nach¹²), Wind force 12¹⁴

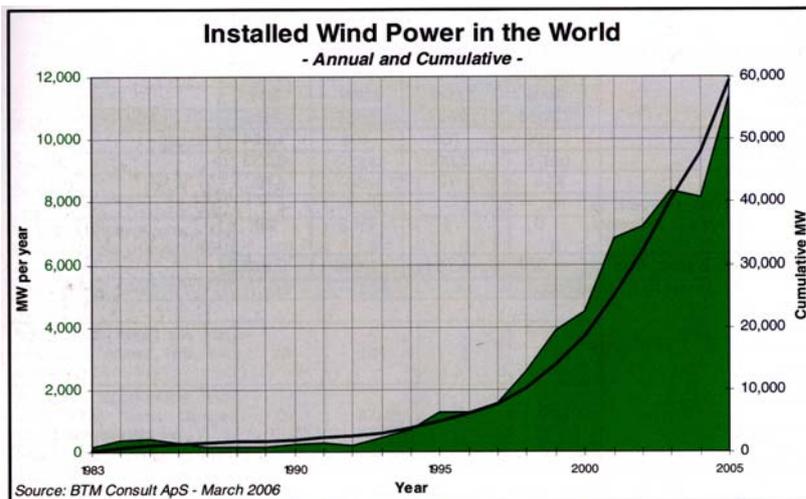
2.5 WELTWEITER UND SCHWEIZER MARKT

2.5.1 Entwicklung in der EU-27

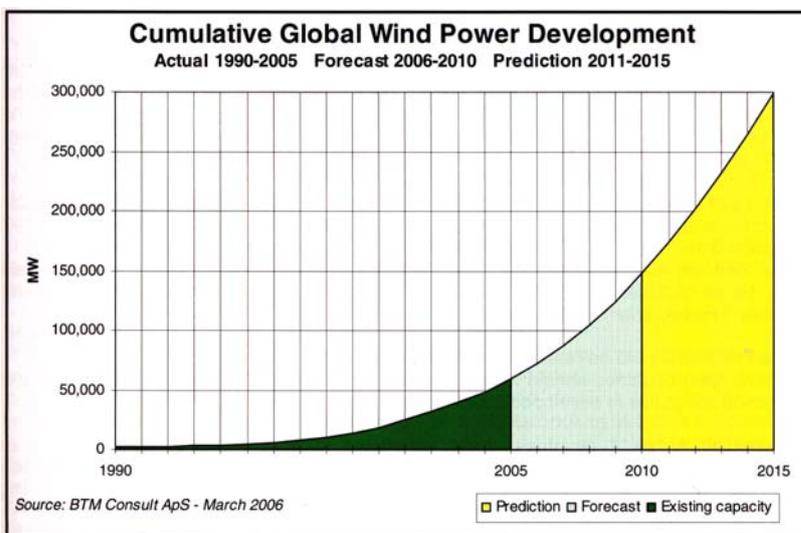
Im Jahre 2006 wurden in den 27 Ländern der EU 7'611 MW Windkraftanlagen installiert, insgesamt generieren heute Windkraftanlagen mit einer Leistung von **48'062 MW Elektrizität**. Davon stehen 20'622 MW in Deutschland (43%) und 11'615 MW in Spanien (24%)^[2]. Bis ins Jahr 2010 könnte dies - ein moderates Wachstum vorausgesetzt - auf rund 80'000 MW fast verdoppelt werden; und bis ins Jahr 2025 weiter auf 175'000 MW anwachsen^[2].

2.5.2 Weltweite Entwicklung

Der Windenergiemarkt entwickelt sich schneller als jede andere erneuerbare Energiequelle. Von 4'800 MW im Jahre 1995 hat sich die installierte Leistung mehr als verfünffach auf 74'000 MW per Ende 2006^[2]. Einen mittleren Kapazitätsfaktor von 24% vorausgesetzt wurden dabei 156'000 GWh Elektrizität erzeugt, knapp das Dreifache des Stromverbrauchs der Schweiz. Windenergie ist heute in über 50 Ländern eingeführt, der Gesamtumsatz belief sich im Jahre 2005 auf mehr als SFr. 20 Mrd und die Industrie beschäftigt über 150'000 Angestellte. Bis ins Jahre 2010 könnte sich die installierte Leistung auf rund 150'000 MW erhöhen. Weitere Quellen¹⁵ gehen davon aus, dass im Jahre 2025 560'000 MW installiert sein werden, welche 1'375 TWh generieren würden



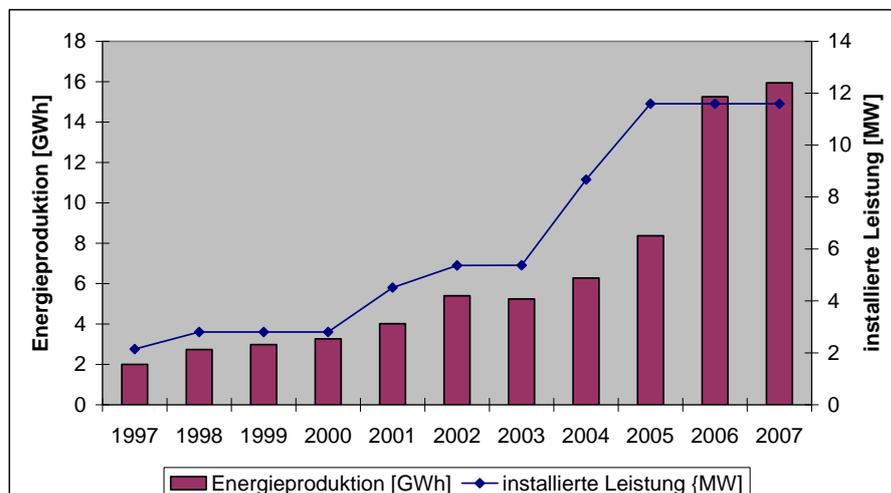
Figur 13: Entwicklung der Windenergie weltweit 1983 – 2005



Figur 14: Bisherige und zukünftige Entwicklung der Windenergie weltweit, 1990 - 2015

2.5.3 Potenziale in der Schweiz

Die 31 in der Schweiz in Betrieb stehenden Anlagen verfügen über eine Gesamtleistung von 11'519 kW. Im Jahre 2007 wurden keine neuen grösseren Windkraftanlagen installiert. Durch die gegenüber dem Vorjahr etwas besseren Windverhältnisse generierten die in der Schweiz installierten Windenergieanlagen im Jahr 2007 **15'946 MWh** Elektrizität, was einer Steigerung um 5% entspricht.



Figur 15: Zunahme der Installierten Windenergieleistung und der entsprechenden Energieproduktion in den letzten 11 Jahren.

Im November 2001 publizierte das UVEK¹⁶ die Ziele für den Ausbau der Windenergie in der Schweiz: **Bis 2010 sollen 50 - 100 GWh** oder max. 20% der Ziele im Bereich der erneuerbaren Energien von EnergieSchweiz mit Windenergie abgedeckt werden. Dies entspricht ca. neun mal ein Kleinwindpark wie auf dem Mt. Crosin mit sechs Windturbinen.

Als Resultat des Konzeptes „Windenergie Schweiz“ aus dem Jahre 2004¹⁷ liegen nun **Potentialabschätzungen** vor, welche auf der Basis der effektiv am Standort herrschenden Windverhältnissen und der möglichen Anzahl zu installierenden Anlagen ermittelt wurden.

Zeithorizont 2010: 100 GWh

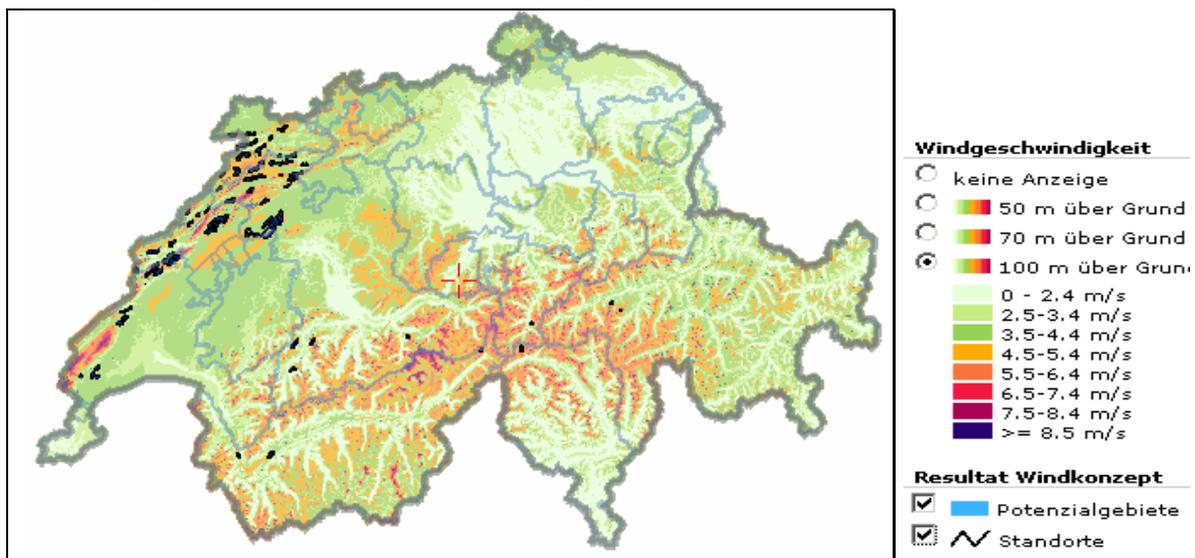
Definiertes UVEK-Ziel für Windenergie im Rahmen EnergieSchweiz bis 2010; Realisierung von **64 Anlagen an 10 Standorten**, z.T. bereits in Planung oder aus Sicht Landschaftsschutz relativ problemlos.

Zeithorizont 2025: 600 GWh

Sämtliche kantonalen und prioritären Standorte aus dem Konzept Windenergie Schweiz, d.h. auch von kantonalen Bewilligungsinstanzen als möglicher Standort akzeptiert. Mögliche Energieproduktion an Windparkstandorten = **320 GWh**, zusätzlich rund **10% der Einzelanlagen**, welche die Kriterien des Konzeptes erfüllen, bringen weitere **280 GWh**.

Zeithorizont 2050: 4'000 GWh

Alle möglichen Standorte aus dem Konzept Windenergie Schweiz plus alle Einzelanlagen, welche die Kriterien des Konzeptes erfüllen; nur Standorte mit Windgeschwindigkeiten ≥ 4.5 m/s im Jahresmittel berücksichtigt: **ca. 2'850 GWh/a aus Einzelanlagen, 1'150 GWh/a aus Windparks**.



Figur 16: Karte mit den mittleren Windgeschwindigkeiten 100 m über Grund und den ausgewiesenen Standorten aus dem Konzept Windenergie Schweiz¹⁷⁾

2.5.4 Positive Entwicklungen

Das Parlament hat am 23. März 2007 mit grosser Mehrheit das Stromversorgungsgesetz verabschiedet. Mit der im Anhang des Stromversorgungsgesetzes enthaltenen Revision des Energiegesetzes wird die **kostendeckende Vergütung von Strom aus erneuerbaren Energien** eingeführt. Leider zeichnet es sich ab, dass aufgrund der tiefen Vergütungskosten nur Windkraftanlagen an sehr gut bewindeten Standorten wirtschaftlich betrieben werden können.

Der Entscheid des Bundesgerichtes vom 31. August 2006 zum Fall „Crêt Meuron“ stützt die Entwicklung der Windenergie in der Schweiz generell - unabhängig vom aktuell marginalen Beitrag zur schweizerischen Stromversorgung. Dies hat auch zu einer für die Windenergie positiven Revision des Urteils des neuenburgischen Verwaltungsgerichtes geführt.

2.5.5 Aktuelle Entwicklung

Ende 2007 waren Projekte mit einer Gesamtleistung von 35.4 MW in Planung; Projekte mit weiteren 60.8 MW sind in der Studienphase und Projektideen mit zusätzlichen 98 MW wurden der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Anmeldungen im Zusammenhang mit der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) zeigen dass über 600 MW Windenergieprojekte realisiert werden sollen (siehe Fig. 17). Da für die erste Phase der Anmeldung keinerlei baubewilligungsrelevanten Informationen angegeben werden müssen, wird sich dieser Wert ggf. noch reduzieren. Er entspricht jedoch ziemlich genau dem angegebenen Potential für das Jahr 2025 (siehe Kap. 2.5.3).

Technologie	Anzahl Anmeldungen bis 31.07.2008	Davon mit positiven Bescheiden (in Prozent der angemeldeten Anlagen / angemeldete Leistung der Anlagen mit positivem Bescheid)	Angemeldete Leistung aller angemeldeten Anlagen in Kilowatt (kW)
Photovoltaik	4'036 / 82%	1'177 (29% / 21'420kW)	89'042 kW / 8%
Windenergie	343 / 7%	343 (100% / 656'299kW)	656'299 kW / 56%
Wasserkraft (bis 10 MW)	347 / 7%	347 (100% / 238'264 kW)	238'264 kW / 20%
Biomasse	187 / 4%	182 (97% / 141'821 kW)	192'821 kW / 16%
Geothermie	0	0	0 kW
Total	4'913 / 100%	2'049 (42% / 1'057'804 kW)	1'176'426 kW / 100%

Figur 17: Die Zwischenbilanz der Anmeldungen unter KEV per Ende Juli 2008

2.5.6 Offene Fragen und Aufgaben

Auch vor dem Hintergrund der veränderten Rahmenbedingungen bestehen weiterhin Unsicherheiten für Projektentwickler:

- **Planungsrisiken**
 - Genaue und langfristige Vorhersage der Windressourcen sind notwendig
 - Genehmigung der Umzonung des Standortes und/oder Erteilung der Baubewilligung durch Bewilligungsbehörden
 - Dimensionierung und Bewilligung des Netzanschlusses
 - Ermitteln des Referenzertrages als Basis für die kostenbasierende Einspeisevergütung.
- **Akzeptanz**
 - Generelle Verhinderungspraxis der Stiftung für Landschaftsschutz
 - Zunehmende Diskussion um Akzeptanz bei mehr Projekten, Angst vor generellem Wildwuchs
 - Wirkungsvolle Qualitätssicherung notwendig
- **Standards / Normen**
 - Keine „amtlich“ definierten Anforderungen an Planung, Bau und Installation von Anlagen
 - Kein definiertes Qualitätsmanagement für Projekte



Figur 18: Das „Paradepferd“ der schweizerischen Windenergienutzung steht in Collonges im Kanton Wallis. Diese 2 MW-Anlage produzierte im Jahr 2006 total 4.4 GWh Strom, womit ein Kapazitätsfaktor von 25% resultiert - ein absolutes Rekordergebnis und vergleichbar mit Standorten in Küstenländern! (siehe auch Bild auf dem Deckblatt)

3 Nationale Akteure

Nachfolgend wird aufgeführt, mit welchen Akteuren das Energieforschungsprogramm Wind etablierte Kontakte hat und welche noch aufzubauen sind:

3.1 GRUNDLAGENFORSCHUNG UND PRODUKTORIENTIERT ANGEWANDTE F+E

- In der Vergangenheit wurden keine KTI-Projekte durchgeführt; das Projekt „Intelligentes Rotorblatt“, welches mit einem KTI-Projekt weiter konkretisiert werden sollte, musste abgebrochen werden, der Projektnehmer ging Konkurs.
- In der Weiterentwicklung des Projektes mit „Nano-Beschichtungen von Rotorblättern“ zeichnet sich eine Zusammenarbeit mit der KTI ab. Weitere entsprechende Projektideen sind „Eissensoren“, „For- and Nowcasting-Modell“.
- Keine Projekte mit Kantonen in diesem Bereich

3.2 PRODUKTORIENTIERTE ANGEWANDTE FORSCHUNG UND P+D PROJEKTE

- Zusammenarbeit mit Kantonen im Rahmen des Konzept Windenergie Schweiz, der Evaluation von raumplanerischen Voraussetzungen auf Kantonebene und den P+D-Projekten zur Standortevaluation.
- Beim Swisselectric research besitzt die Windenergieforschung keine hohe Priorität. Dies könnte sich jedoch mit der starken Zunahme der Projekte und den damit verbunden Auswirkungen auf die Netzbelastungen und -regulierungen ändern.

3.3 TRANSFERSTELLEN

- Im Bereich der Fachhochschulen bestehen Zusammenarbeiten mit der ZHAW (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften) im Projekt „Nano-Technologie“, mit der HEV im Wallis im Projekt Simplon und mit der HSR Hochschule für Technik Rapperswil im Projekt „Raumplanerische Voraussetzungen für die Nutzung der Windenergie“.
- Im ETH-Bereich finden erste Zusammenarbeiten statt im Zusammenhang mit dem Projekt „Social Acceptance“, beim „Chair of Corporate Strategy & Innovation“ an der EPF, und mit dem Institut für Energietechnik, LEC an der ETH Zürich.
- Gemeinsam mit dem Institut für Wirtschaft und Ökologie an der Hochschule St.Gallen wurde ein internationales Seminar zum Thema „Social Acceptance“ durchgeführt, mit mehr als 30 Teilnehmern aus 10 Ländern.
- Der Fachverband „Suisse Eole“ organisiert regelmässig Erfahrungsaustausche und Seminare, hier sollen die Kontakte intensiviert werden.
- Mit dem „Energie-Cluster“ wurden einige Veranstaltungen zum Thema „Technologie-Transfer“ durchgeführt.

3.4 ENTWICKLUNGSZUSAMMENARBEIT

- Mit Repic (Renewable Energy Promotion in International Co-operation) wird punktuell zusammengearbeitet, sämtliche Projektanfragen bezüglich Entwicklungszusammenarbeit werden in Abstimmung mit dieser Organisation durchgeführt. (www.repic.ch)

3.5 SCREENING CH-WIRTSCHAFT UND WINDENERGIE

Aktiv ist die Schweizer Wirtschaft heute insbesondere in den folgenden Bereichen der Windenergienutzung:

- Entwicklung und Produktion von chemischen Grundstoffen für die Produktion von Rotorblättern (Harze, Kleber)
- Entwicklung und Produktion von Leistungselektronik-Komponenten (insbesondere Wechselrichter)
- Dienstleistungen für die Projektentwicklung (inkl. meteorologische Grundlagen)
- In speziellen Nischen wie z.B. Entwicklung und Produktion von Eiswarnsystemen

Einzelne Firmen haben sich als Zulieferer im Internationalen Windenergiemarkt einen Spitzenplatz erobert, obwohl sie auf keinen umfassenden Heimmarkt zählen können.

In der Maschinenindustrie konnten nur vereinzelte Aktivitäten eruiert werden, obwohl hier sicher ebenfalls ein bedeutendes Potenzial vorhanden wäre.

Insgesamt umfassen die oben genannten Bereiche heute in der Schweiz einen Umsatz von rund 170 Mio. Franken pro Jahr resp. rund 350 Vollzeit-Arbeitsplätze¹⁸. Rund 95% des Marktvolumens teilen sich die Bereiche chemische Grundstoffe und Leistungselektronik nahezu gleichmässig auf.

Es kann davon ausgegangen werden, dass ein bedeutendes zusätzliches Potenzial für den Wirtschaftsplatz Schweiz besteht. Indizien dafür sind, dass einzelne Schweizer Konzerne den Bereich Windenergie vollständig über Tochtergesellschaften im Ausland bearbeiten und das Interesse zahlreicher Firmen am Windenergiemarkt.

3.6 ORGANISATION DER WINDENERGIEFORSCHUNG IN DER SCHWEIZ

Der Leiter des Energieforschungsprogramm „Wind“ ist gleichzeitig Geschäftsführer des Schweizerischen Windenergievereinigung „Suisse Eole“. Dadurch ist eine enge Verbindung zwischen relevanten Marktanliegen und der Forschung sicher gestellt. Ein Ausschuss innerhalb des Verbandes wird sich - im Sinne einer Begleitgruppe - mit den Forschungsanliegen beschäftigen. 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.

3.7 ABGRENZUNGEN UND SYNERGIEN ZU ANDEREN PROGRAMMEN

Das Forschungsprogramm Windenergie hat bereits in der Vergangenheit mit anderen Programmen aus der Energieforschung aktiv zusammengearbeitet. Diese Kooperationen sollen auch in Zukunft weiter geführt werden.

3.7.1 Energiewirtschaftliche Grundlagen

Vor allem im Zusammenhang mit dem Thema „Soziale Akzeptanz“ von Windenergieanlagen könnten sich interessante Synergien entwickeln, 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.

3.7.2 Elektrizitätstechnologien und –anwendungen

Im Bereich Leistungselektronik wurden bereits verschiedene Projekte gemeinsam realisiert, u.a die Entwicklung eines 800 kW-Wechselrichters bei der 1. Anlage auf dem Gütsch bei Andermatt.

3.7.3 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.

4 Internationale Zusammenarbeit

Die bisherigen Erfahrungen in der Partizipation an den IEA-Projekten sind mehrheitlich positiv, auch wenn teilweise, vor allem an den ExCo-Meetings des R&D Wind Implementing Agreements, weiterhin sehr viel Administratives diskutiert wird. Nach einigen Anlaufschwierigkeiten werden im Task 19 „WE-CO“ interessante und für die schweizerische Windbranche brauchbare Inhalte erarbeitet.

4.1 TEILNAHME IEA R&D WIND

Seit Mai 2002 beteiligt sich die Schweiz offiziell am „IEA-Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development“. Im ExCo dieses Implementing Agreements sind vertreten:

- Katja Maus, Bundesamt für Energie, als Mitglied (member)
- Markus Geissmann, Bundesamt für Energie, als „alternatives“ Mitglied (alternate member)
- Robert Horbaty, ENCO AG, als „alternatives“ Mitglied (alternate member)

Seit Beginn 2007 beteiligt sich die Schweiz auch am IEA-Subtask 11, in diesem Zusammenhang wurde auch ein Topical Expert Meeting in Luzern zum Thema „Social Acceptance“ durchgeführt.

4.2 TASK 19

Bis anhin konzentrierten sich die konkreten Aktivitäten auf den Task 19 „**Wind Energy in Cold Climate**“. Mehr als 90% der besten Windenergiestandorte in der Schweiz sind als „**Cold Climate**“ - **Standorte** zu bezeichnen. Inhaltlich kann die Schweiz hier zu folgenden Aktivitäten beitragen:

- Standortabklärungen
- Betriebserfahrungen
- Aussergewöhnliche Vorkommnisse
- Neue Materialien und Beschichtungen der Rotorblätter
- Evaluation von Messinstrumenten
- Ausarbeitung und Mitverfassung von „Recommendations“ zur Thematik „Cold climate“, Integration der schweizerischen Betriebserfahrungen
- Aktualisierung der Datenbank „Cold Climate Projects“ mit CH Projekten auf der Website des Tasks.

4.3 NEUER TASK: SOCIAL ACCEPTANCE

Im Jahre 2007 wurde Aktivitäten aus unserem Programm lanciert, um einen neuen Task „Social Acceptance“ innerhalb der IEA zu starten. Erste Feedbacks der anderen Ländern sind ermutigend.

4.4 COST 727

Die Arbeiten beim **Alpine Test Site Güttsch** sind verknüpft mit dem IEA Projekt **Wind Energy in Cold Climates**. Dessen Resultate und Empfehlungen werden nun im Rahmen des Forschungsvorhabens *COST 727 Alpine Test Site Güttsch, Meteorological measurements and wind turbine performance analysis* verifiziert und einem weiteren Umfeld nutzbar gemacht. Im März 2006 und im Juni 2007 fanden internationale Meetings zu diesem Projekt und dessen Inhalte in Andermatt statt.

5 Technische und wirtschaftliche Zielsetzungen

5.1 STAND DER TECHNIK

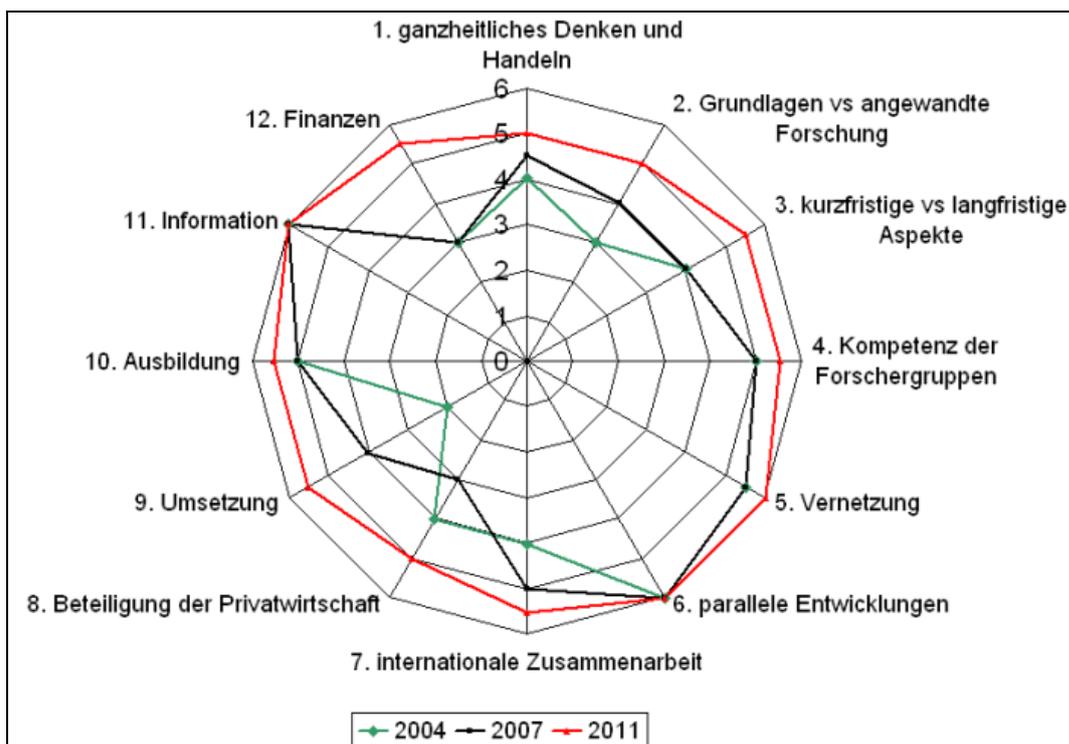
Kennwerte und Indikatoren	1970	1980	1990	2000	2004	Ist-Zustand	Zielwert	Einheiten
						2008	2011	
1. Ertragsausfall durch Vereisung (%)					9	8	6	%
2. Downtime durch Vereisung (h/a)					130	120	90	h/a
3. Mittlere Gestehungskosten (CHF/kWh)		0.5	0.35	0.28	0.23	0.26	0.24	CHF/kWh
4. Abweichung eff. Energieertrag (%)					30	25	20	%
5. Generelle Akzeptanz (%)					92	89	85	%
6. Mittlere Realisierungsdauer (Mt)			12	36	60	30	30	Mt
7. Mittlere Verfügbarkeit (%)			80	90	95	98	98	%
8. Mittlere Anzahl Volllaststunden (h/a)			900	1100	1350	1400	1500	h/a

Figur 19: Mögliche Entwicklungstendenzen wichtiger Indikatoren der Windenergieforschung in der Schweiz.

Vor dem Hintergrund der konkreten Betriebserfahrungen und den möglichen Optimierungspotentialen zeichnen sich folgende Schwerpunkte der Forschung ab (Details im „Controlling Instrumente Programm Wind“):

- Quantifizierung des Ertragsausfalls und der Stillstandzeiten durch Vereisung, Ermitteln und Evaluieren von Massnahmen.
- Senkung der Stromgestehungskosten durch Erhöhung der Volllaststunden und der Verfügbarkeit sowie durch Erhöhung der Genauigkeit der Ertragsberechnungen.
- Senkung der Bau- und Planungskosten durch Reduzieren der Realisierungsdauer von Projekten unter Berücksichtigung der Akzeptanz.

5.2 QUALITATIVE PROGRAMMZIELE



Figur 20: Darstellung der Zielsetzungen des Forschungsprogramms Wind 2004 - 2011

Basierend auf einer Evaluation bisheriger Forschungsaktivitäten und -ergebnisse orientieren sich die qualitativen Ziele an folgenden Aussagen (für Details siehe „Controlling Instrumente Programm Wind“):

1. Zur Wahrung eines ganzheitlichen Ansatzes in der Entwicklung der Windenergie sind weitere fundierte Untersuchungen zu den Impacts von Windkraftanlagen notwendig.
2. Im Zusammenhang mit Akzeptanzfragen soll ein breites Know how in der Schweiz geschaffen werden; es geht darum, technische Kompetenz mit sozialwissenschaftlicher Kompetenz zu verknüpfen.
3. Nischenprodukte für den Einsatz von Windenergieanlagen im „kalten Klima“ und an turbulenten Standorten stehen im Fokus der Forschungsaktivitäten. Diese langfristigen Aspekte sind zu intensivieren.
4. Die Kompetenz der Forschergruppen in den Bereichen „Cold Climate“, „Social acceptance“, komplexes Terrain darf bereits als gut bis sehr gut bezeichnet werden. Das Schwergewicht der angewandten Forschung im Windenergiebereich liegt jedoch stark bei privaten Planern und Projektentwicklern.
5. Generell sind die Protagonisten der Windenergieforschung - aufgrund der begrenzten Anzahl - sehr gut vernetzt. An Forschungsaktivitäten beteiligt ist das Institut für Wirtschaft und Ökologie an der Hochschule St.Gallen, die ZHAW (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften), das Institut für Energietechnik, LEC an der ETH Zürich, der „Chair of Corporate Strategy & Innovation“ an der EPFL. Die Vernetzung mit der Strombranche, insbesondere mit deren Forschungsaktivitäten ist im Bereich Vereisung vorhanden, es besteht aber noch Handlungsbedarf. Im Rahmen der Schweizerischen Windenergievereinigung Suisse Eole soll ein Ausschuss „Forschung“ gebildet werden.
6. Mit der Teilnahme an diversen internationalen Forschungsvorhaben und dem grossen Engagement im Rahmen des *IEA-Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development*, ist das Forschungsprogramm Wind international gut vernetzt.
7. Aufgrund der aktuellen Grösse der Windbranche ist deren Beteiligung an Forschungsvorhaben eher klein. Im Zusammenhang mit der 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 werden.
8. Auch im Bereich der Umsetzung findet eine zunehmende Zusammenarbeit Forschung mit dem Branchenverband „Suisse Eole“ statt. Aufgrund von zurückhaltender Bewilligungspraxis und der bis anhin grossen Opposition seitens der Stiftung für Landschaftsschutz verzögert sich der Bau von den mit P+D-Mitteln geplanten Windprojekten. In diesem Zusammenhang spielen die vielfältigen Aktivitäten von Suisse Eole und das „Konzept Windenergie Schweiz“ eine wichtige Rolle.
9. Das stark zunehmende Interesse an Windenergieprojekten in der Schweiz stellt die Frage nach einem effizienten QM-System für Projekte mit einer hohen Dringlichkeit. In der Entwicklung und der Implementierung der entsprechenden Kriterien und Inhalte ist sowohl die Forschung als auch der Branchenverband gefordert.

6 Mitteleinsatz für die Technologie Wind-Forschung

6.1 ÖFFENTLICHE HAND

6.1.1 Mittel bis 2007

Auf der Basis der Verträge des BFE sind untenstehend die aktuellen Projekte aufgeführt, welche durch die öffentliche Hand finanziert werden:

Projekt	Vertrag	Vertragstitel	Auftragnehmer	2005	2006	2007	2008	2009
						verpflichtet		
100'002	151'295	Programmleitung F+E Wind 2005	Privat	61'500	0	0	0	0
	151'841	Programmleitung F+E Wind 2006	Privat	0	61'500	0	0	0
	152'505	Programmleitung F+E Wind 2007	Privat	0	0	65'000	0	0
101'179	151'375	Durchführen IEA Wind Task 24 Meeting in Luzern	Privat	5'000	0	0	0	0
	152'241	IEA Topical Expert Meeting "Social Acceptance"	Privat	0	10'000	20'000	0	0
101'318	151'575	Alpine Test Site Gütsch: Tagung und Handbuch	Privat	0	25'000	15'000	0	0
101'357	151'617	Übersetzung Sicherheitsrichtlinien	Suisse Eole	0	20'000	0	0	0
101'358	151'618	Auswirkungen von Windkraftanlagen	Privat	80'000	35'000	35'000	42'000	0
101'670	152'011	Screening Windenergiebranche Schweiz	Privat	0	10'000	0	0	0
101'708	152'073	Campagne de mesures 2MW éolienne à Collonges VS	RhôneEole SA	0	20'000	15'000	15'000	20'000
101'846	152'272	Teststandort für Windturbinen Gütsch - Vorstudie	Privat	0	16'740	0	0	0
101'903	152'350	Nanooberfläche für Windenergie-Rotorblätter - Phase I	ZHW	0	20'000	0	0	0
101'949	152'402	Evaluation Leichtwind-Konzept	FH für Technik und Wirtschaft	0	5'000	5'000	0	0
	152'403	Evaluation Leichtwind-Konzept	Privat	0	3'200	0	0	0
102'117	152'643	Raumplanerische Voraussetzungen für die Nutzung der Winde Hochschule Rapperswil		0	0	33'000	0	0
102'149	152'741	Eoliennes en Suisse et mortalité de chauves-souris	NATURA	0	0	10'000	0	0
45'554	85'614	Teilnahme IEA Wind Task 19 Cold Climate	VTT Technical Research Centre	0	5'425	5'675	0	0
	150'009	Teilnahme IEA Wind Common Fund	NREL - National Renewable Energi	0	7'500	7'506	0	0
	151'700	Teilnahme IEA Wind Task 24 Wind/Hydro-Integration	NREL - National Renewable Energi	6'845	7'200	7'280	0	0
	152'520	Teilnahme IEA Wind Task 11 Base Technology Information Ex	NREL - National Renewable Energi	0	0	5'600	0	0
101'500	151'764	Research Workshop on Public Acceptance of Wind Energy	Institut für Ökonomie und Umwelt	15'000	10'000	0	0	0
101'763	152'169	Betriebsresultate WKA Feldmoos	Privat	0	5'000	10'000	15'000	15'000
101'948	152'401	Evaluation Windenergieanlage Simplan	HEVs	0	0	10'000	0	0
101'903	152'695	Antifreeze Beschichtung für Rotorblätter - Phase II	ZHW			40'000	30'000	
48'078	88'178	Standortabklärung Les Breuleux	Privat	15'000	0	12'000	0	0
100'392	150'490	Alpine Windharvest	Suisse Eole	31'000	0	0	0	0
101'623	151'938	Mandat Windenergie EnergieSchweiz 2006	Suisse Eole	0	100'000	0	0	0
	152'566	Mandat Windenergie EnergieSchweiz 2007	Suisse Eole	0	0	59'000	0	0
Total				214'345	361'565	355'061	102'000	35'000

6.1.2 Mittel 2008 - 2011

Die Forschungsaufwendungen der öffentlichen Hand für Energie haben sich gegenüber der Situation anfangs der 90er Jahre in allen Gebieten verringert. Nach 2000 begannen sie sich zu erholen; die Sparprogramme des Bundes und der Kantone haben aber 2004/05 zu neuen markanten Einbrüchen geführt. CORE und BFE erachten ein Wiederausbau der Energieforschung als dringend notwendig, weshalb für 2011 ein Anstieg der Mittel auf rund 200 Mio Franken angestrebt wird.

Untenstehend ist aufgeführt, wie das Energieforschungskonzept 2008-2011 die Mittelzuteilung für den Bereich Windenergie vorsieht:

Forschungsgebiete und ihre Unterteilung	Mittelzuteilung				Anpassung der Mittel ¹⁾ bei genereller			
	2005 (Mio. Fr.)		2011 (Mio. Fr.)		Budgetreduktion		Budgeterhöhung	
	F+E	P+D	F+E	P+D	F+E	P+D	F+E	P+D
Wind	0,3	0,3	2	1	↘	→	→	→

Ausgehend von obigen Ausführungen wird nachfolgend ein mögliches Szenario für die zur Verfügung stehenden Mittel dargestellt:

Jahr	2008	2009	2010	2011	Total 2008-2011
Budget F+E [KFr.]	361	535	1'105	1'935	3'934
Budget P+D	56	347	835	1'040	2'278
Total Budget	416	882	1'940	2'975	6'212

6.2 PRIVATWIRTSCHAFT

Im Bereich der Privatwirtschaft ist momentan nicht absehbar, dass substantiell eigene Mittel in die Windenergieforschung fliessen, mit Ausnahme der P+D-Projekte, bei welchen es sich ja immer um Teilfinanzierungen seitens des Bundes handelt.

7 Forschungsschwerpunkte in den Jahren 2008 - 2011

7.1 SCHWERPUNKT 1: ENTWICKELN VON ANLAGEKOMPONENTEN

Entwickeln von Anlagekomponenten (Sensorik, Nano-Technologie) für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen durch einheimische Industrie:

- Einsatz der Nano-Technologie gegen Verschmutzung und Vereisung
- Reduktion der Lasten mit neuen Werkstoffen
- Erhöhung Energieertrag bei tiefen Windgeschwindigkeiten und hoher Turbulenz
- Verbesserung Leistungselektronik / Sensorik

Mögliche Projekte

<i>Titel</i>	<i>Ziele</i>	<i>Inhalt/Resultate</i>	<i>Partner</i>	<i>Laufzeit</i>	<i>Finanzierung aus Programm</i>
Nanotechnologie	Beschichtungen von Rotorblättern welche die Vereisungsgefahr reduzieren	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umsetzung der Resultate aus 1. Projekt ▪ Produktentwicklung ▪ Feldversuche 	Fachhochschule Winterthur KTI	2008 - 2011	335 kFr. ab 2011 neues Projekt 200 kFr
Eissensor	Entwickeln eines funktionierenden Eissensors	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auswertung der Resultate von COST 727 ▪ Erstellen Pflichtenheft für Sensor ▪ Entwickeln Prototyp ▪ Feldversuch 	Sensorhersteller Anlagenbetreiber KTI	2008 - 2011	180 kFr.
Anlagendesign für tiefe Windgeschwindigkeiten für WKA > 100kW	Höherer Ertrag an Schwachwindstandorten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Validierung des Schwachwindkonzeptes unter Berücksichtigung neuester Produkte ▪ Auswertungen von Datenerfassungen an Anlagen, z.B. Abschalthäufigkeit ▪ Ermitteln Kenngrössen und Kriterien für Anlagenkonzept ▪ Erstellen Pflichtenheft einer Anlage - mit Herstellern 	Anlagenhersteller Anlagenbetreiber ETHZ Labor für Strömungsmaschinen	2010 - 2011	170 kFr.
Projekte im Bereich Leistungselektronik	Entwickeln von effizienten Wechselrichtern	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auswertung Erfahrungen CH-Installationen ▪ Entwickeln von hocheffizienten Wechselrichtern 	Hersteller	2009 - 2011	370 kFr,

7.2 SCHWERPUNKT 2: ERHÖHUNG VERFÜGBARKEIT UND ENERGIEERTRAG

Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages von Windkraftanlagen an extremen Standorten (Klima, Turbulenzen, Logistik):

- Erarbeiten Planungs-Know how für Standorte mit hoher Turbulenzintensität, tiefen Temperaturen und aufwendiger Logistik (u.a. im Gebirge)
- Optimierung Windmodellierung in komplexem Terrain und/oder hoher Bodenrauigkeit.
- Tests an extremen Standorten
- Auswertung von Betriebserfahrungen, Empfehlungen
- Entwicklung von Risk-Management-Standards für Windenergieprojekte

Mögliche Projekte

Titel	Ziele	Inhalt/Resultate	Partner	Laufzeit	Finanzierung aus Programm
Windkarte mit Strömungsmodell	Integration dynamischer Aspekte in die Informationen zum CH-Windregime	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dynamische Berechnung des Energieertrags an einem zukünftigen Standort ▪ Integration effektiver Windströmungsdaten ▪ Simulation von Standorten auch in Talwindssystemen ▪ Informationen für Micrositing der Anlagen im Gelände, Abschattungseffekte, etc. 	Klimatologen Planer	2008 - 2009	225 kFr.
Modellierung dynamisches Betriebsverhalten	Unterstützung in Anlagenauswahl	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Validierung bestehender Planungstools ▪ Entwickeln einer Modellierungssoftware ▪ Modellierung Betriebsverhalten und Ertragsprognosen an Standorten im komplexen Terrain ▪ Auswahl optimale Anlagen für spezifischen Standort 	ETH Planer	2010 - 2011	225 kFr.
Windregime in der Schweiz	Qualitativ hochstehende Planungsgrundlagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umfassende Auswertung aller erhobenen Betriebsdaten ▪ Verifizierung heutiger Empfehlungen zu Standortabklärungen ▪ Etablierung Standards zum Umgang mit Fehlern beim Energieertrag ▪ Verifizierung der bestehenden Normen in Bezug auf CH-Standorte ▪ Verifizieren des Keiler/Häuser-Index¹⁹ für die Schweiz ▪ Ausarbeitung Empfehlungen ▪ Erstellen technischer Grundlagen für ein „Gütesiegel“ 	Anlagenbetreiber Planer	2010 - 2011	300 kFr.
Installation von Windkraftanlagen und Logistik	Erschliessung extremer Standorte Kostengünstige Installationen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluation neuester Montagemöglichkeiten <ul style="list-style-type: none"> - mit Hilfskran - Gleitschalung für Masterstellung - Hubschrauber - Blatteilung ▪ Erstellen Leitfaden für Planer 	Anlagenbetreiber Planer	2010 - 2011	150 kFr.
Betriebserfahrungen von Anlagen	Erstellen umfassender Daten Grundlagen für CH-Standorte Höherer Energieertrag	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gezieltes Ausrüsten einer Vielzahl von Anlagen mit Messinstrumenten, wie kalibrierte Anemometer, DMS ▪ Ermitteln Auswirkungen von hoher Wind-Scherung im Gebirge ▪ Auswirkungen auf Lebensdauer, Verfügbarkeit, Volllaststunden, Wirkungsgrad ▪ Stillstandzeiten aufgrund Vereisung ▪ Bewerten der Ertragsprognosen ▪ Ermitteln Regelparameter für Anlagen an spez. Standorten, auch Wechselrichter ▪ Ermitteln von Netzzrückwirkungen 	Anlagenbetreiber Planer	2008 - 2011	Bereits verpflichtet 75 kFr. 700 kFr.
Energieertrags-einbussen aufgrund Vereisung	Ermitteln der Kosten / Nutzen von Enteismassnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergleich von Anlagen am selben Standort, mit und ohne Enteismassnahmen ▪ Durchführen einer Messkampagne ▪ Auswertung ▪ Integration in IEA Task 19 WECO 	Anlagenbetreiber Planer	2009 - 2011	Bereits verpflichtet 27.5, 245 kFr.

7.3 SCHWERPUNKT 3: ERHÖHUNG DES „WERTES“ DER WINDENERGIE IN DER STROM-VERSORUNG

Erhöhung des «Wertes» der Windenergie, Optimierung der Integration von Windkraftanlagen in die Stromversorgung (Fore- and Nowcasting, Regelenergie):

- Fore- und Nowcasting der Energieproduktion aus Wind zur optimalen Netzbewirtschaftung
- Netzregulierung mit hohem Anteil an Windenergie - im Zusammenspiel mit Wasserkraft
- Optimierung der Bedingungen für intermittierende Produzenten im Netz
- Virtuelles Kraftwerk (Zusammenschaltung von kleinen, dezentralen Kraftwerken)

Mögliche Projekte

<i>Titel</i>	<i>Ziele</i>	<i>Inhalt/Resultate</i>	<i>Partner</i>	<i>Laufzeit</i>	<i>Finanzierung aus Programm</i>
For- and Now-Casting	Erarbeitung und Validierung eines Vorhersagemodelles, welches für Windenergieanlagen in der Schweiz eine möglichst hohe Vorhersagegüte aufweist.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prüfung bestehender Vorhersagemodelle / Anforderungen für neues Modell ▪ Erarbeitung eines geeigneten Vorhersagemodelles ▪ Vergleich der Vorhersagegüte an Schweizer Standorten mit bestehenden Modellen 	Meteotest	2008 - 2011	60 kFr.
Windenergie im Netz	Genauere Vorhersagen der Windenergieproduktion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verfeinerung Fore- und Nowcasting-Modell ▪ Integration in Regulierungsregime der Bilanzgruppen ▪ Intelligente Netzbewirtschaftung ▪ Ausarbeitung eines benutzerfreundlichen Produktes ▪ Validierung des Produktes in der Praxis ▪ Auswertung der Daten der Bilanzgruppe „Erneuerbare Energie“ ▪ Weitere Optimierung Vorhersagemodell 	MeteoSchweiz Meteotest Planer KTI	2009 - 2011	425 kFr.
Standards für Netzeinspeisung	Richtlinien der Netzbetreiber für den Anschluss von Windkraftanlagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desk-Research zu internationalen Lösungsansätzen ▪ Auswertung CH-Betriebserfahrungen ▪ Was wird seitens der Netzbetreiber verlangt? ▪ Wie ist die gesetzliche Regelung? ▪ Was kann / muss anlagenseitig vorgesehen werden. 	VSE Netzbetreiber Suisse Eole Anlagebetreiber Elcom	2010 - 2011	150 kFr.
Weitere Projekte Stromwirtschaft und Windenergie		Wird ausgeschrieben		2010 - 2011	175 kFr.
Virtuelles Kraftwerk	Entwickeln von Stromprodukten aus verschiedenen kleineren Kraftwerken		Netzbetreiber Anlagenbetreiber	2009 - 2011	200 kFr.

7.4 SCHWERPUNKT 4: AKZEPTANZ

Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie unter Einbezug sozial- und umweltwissenschaftlicher Kompetenz:

- Ermitteln von Erfolgsfaktoren und -strategien
- Lokale Planungsprozesse / soziale Akzeptanz
- Öffentliche Beteiligungsmodelle

Mögliche Projekte

Titel	Ziele	Inhalt/Resultate	Partner	Laufzeit	Finanzierung aus Programm
To Invest or Not to Invest	Ermitteln der kritischen Faktoren der Windenergie für die Akzeptanz bei Investoren	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wieso investieren Unternehmen in Windenergie, wieso nicht? ▪ Welche Faktoren könnten diese Haltung ändern? 	EPFL Prof. Ch.Tucci May Jean Bürer	2008	36 kFr.
„Code of Conduct“	Definieren von Vorgehensweisen und Strategien zur Projektentwicklung unter Wahrung einer hohen Akzeptanz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definition relevanter Aspekte für optimales Planungsverfahren ▪ Integration aller Akteure, Entwickeln von Vertrauen ▪ Integration der Resultate in IEA Task „Social Acceptance“ 	Sozialwissenschaftliches Institut Planer Raumplaner	2008 - 2011	105 kFr.
Task Force „Windenergie“	Sicherstellung der Anwendung der Qualitätskriterien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Systematisierung der internat. Erfahrungen im Kontext mit Social Acceptance ▪ Erstellen Pflichtenheft und Aufgabenbeschrieb ▪ Zusammenstellung der Gruppe 	Suisse Eole Vogelwarte Fledermäuse Naturschutz	2008	192 kFr.
Akzeptanz der Windenergie	Periodische Beobachtung der öffentlichen Meinung zur Windenergie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ermitteln von typischen Bevölkerungsgruppen für das Monitoring der Akzeptanz ▪ Wie entwickelt sich diese über die Zeitachse ▪ Wie entwickelt sich diese im Bezug auf Anzahl- und Dichte der Anlagen 	Meinungsforscher Sozialwissenschaftliches Institut	2008 - 2011	225 kFr.
Vorher / Nachher	Quantifizierung des effektiven Einflusses von Windenergieprojekten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auswertung der Betriebserfahrungen bezüglich Akzeptanz bei <ul style="list-style-type: none"> - Bevölkerung, Behörden, Tourismus - Energieversorger - Regionale Wertschöpfung ▪ Auswirkungen auf Flora / Fauna ▪ Ermitteln kritischer Faktoren und Integration in „Gütesiegel“ 	Anlagenbetreiber Planer	2010 - 2011	250 kFr.
Faunafreundliche Projekte	Evaluierung möglicher Massnahmen zur Reduktion der Beeinträchtigung bei Vögeln und Fledermäusen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desk Research zu möglichen Massnahmen ▪ Evaluierung deren Brauchbarkeit ▪ Verfassen von Handlungsanleitungen 	Vogelwarte Sem-pach Fledermaus-schutz Schweiz Pro Natura	2010 - 2011	200 kFr.
Weitere Projekte im Bereich „Social Acceptance“		Wird ausgeschrieben			250 kFr.
Windenergie und Raumplanung	„Best Practice“ für kantonale Planungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auswertung der Erfahrungen der unterschiedlichen Vorgehensweisen in den einzelnen Kantonen ▪ Auswirkungen auf Planungszeit, Akzeptanz und generelle Erfolgsaussichten 	Kantonale Planerkonferenz Planer	2008 - 2009	100 kFr.
Konzept Windenergie Schweiz 2	Überarbeiten des Windenergiekonzeptes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integration aller Planungs- und Betriebserfahrungen ▪ Partizipatives Definieren von Standortkriterien ▪ Definieren der Anforderungen an kantonale Planungen ▪ Regelung für Einzelanlagen ▪ Sanktionieren des Konzeptes, in Kraftsetzung durch zuständige Behörden 	ARE, BAFU Begleitgruppe aus 1. Konzept Planer	2008 - 2011	210 kFr.

7.5 LEITUNGSAUFGABEN UND INTERNATIONALE VERNETZUNG

<i>Titel</i>	<i>Ziele</i>	<i>Inhalt/Resultate</i>	<i>Partner</i>	<i>Laufzeit</i>	<i>Finanzierung aus Programm</i>
Programmleitung und Internationales	Führen des Forschungsprogramms „Wind“ Beteiligung an Internationalen Forschungsprojekten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umsetzung der im Konzept der Energieforschung und im Vierjahresprogrammen definierten Ziele und Aktivitäten ▪ Aktive Initiierung, Begleitung, Unterstützung und Förderung von Windkraftanlagen-Projekten ▪ Internationale Vernetzung durch Partizipation am IEA-Projekt „IEA Wind Co-operative Agreement“ ▪ Entwicklung und Begleitung von CH-Forschungsvorhaben. ▪ Koordination mit weiteren CH-Forschungsstellen (ETH / EPFL, Meteo Schweiz, Fachhochschulen) ▪ Aufbau von Partnerschaften mit CH-Firmen ▪ Intensivierte Umsetzung über Suisse Eole und weitere Akteur der Windenergienutzung 	ARE, BAFU Begleitgruppe aus 1. Konzept Planer	2008 - 2011	210 kFr.

7.6 ÜBERSICHT ÜBER DIE FINAZIELLEN MITTEL 2008-2011

Projekte	2008	2009	2010	2011	Total
8.1 ENTWICKELN VON ANLAGEKOMPONENTEN					in kFr.
Nano-Technologie	55	30	50	200	335
<i>Anteil F + E</i>	55	30	50	200	335
Eissensor		20	100	60	180
Anlagendesign für tiefe Windgeschwindigkeiten		10	80	80	170
Projekte im Bereich Leistungselektronik		20	100	250	370
<i>Anteil P + D</i>	0	50	280	390	720
Total Anlagekomponenten	55	80	330	590	1055
8.2 ERHÖHUNG VERFÜGBARKEIT UND ENERGIEERTRAG					in kFr.
Windkarte mit Strömungsmodell	50	100	75		225
Modellierung dynamisches Betriebsverhalten		25	75	125	225
Windregime in der Schweiz			100	200	300
Installation von Windkraftanlagen und Logistik			50	100	150
<i>Anteil F + E</i>	50	125	300	425	900
Bereits verpflichtet (Collonges, Feldmoos, Simplon)	35	40			75
Icing on Structures (bereits verpflichtet)	13	7			20
Handbuch Vereisung (bereits verpflichtet)	7.5				7.5
Betriebserfahrungen von Anlagen		100	250	350	700
Energieertragseinbussen aufgrund Vereisung,		50	75	120	245
<i>Anteil P + D</i>	55.5	197	325	470	1047.5
Total Verfügbarkeit und Energieertrag	105.5	322	625	895	1947.5
8.3 ERHÖHUNG DES "WERTES" DER WINDENERGIE IN DER STROMVERSORGUNG					in kFr.
Fore and Now-Casting	40	20			60
Windenergie im Netz		50	150	225	425
Standards für Netzeinspeisung			25	125	150
Weitere Projekte Stromwirtschaft und Windenergie			25	150	175
<i>Anteil F + E</i>	40	70	200	500	810
Virtuelles Kraftwerk			80	120	200
<i>Anteil P + D</i>	0	0	80	120	200
Total Energiewirtschaft	40	70	280	620	1010
8.4 ERHÖHUNG DER AKZEPTANZ					in kFr.
To Invest or Not to Invest (bereits verpflichtet)	16	20			36
„Code of Conduct“	55	50			105
Task Force „Windenergie“. Auswirkungen	42	50	50	50	192
Akzeptanz der Windenergie, Auswirkungen		50	75	100	225
Vorher / Nachher			100	150	250
Faunafreundliche Projekte			50	150	200
Weitere Projekte im Bereich "Social Acceptance"			100	150	250
<i>Anteil F + E</i>	113	170	375	600	1258
Windenergie und Raumplanung		50	50		100
Konzept Windenergie Schweiz 2		50	100	60	210
<i>Anteil P + D</i>	0	100	150	60	310
Total Akzeptanz	113	270	525	660	1568
IEA Mitgliedbeitrag	7.4	7.5	7.5	7.5	29.9
IEA Annexes	19.2	20	20	20	79.2
Teilnahme an Annexes (WECO, Social Acceptance, etc.)	16	32	32	32	112
Programmleitung	60	80	120	150	410
<i>Anteil F + E</i>	102.6	139.5	179.5	209.5	631.1
Total Leitungsaufgaben	102.6	139.5	179.5	209.5	631.1
<i>Anteil F + E</i>	360.6	534.5	1104.5	1934.5	3934.1
<i>Anteil P + D</i>	55.5	347	835	1040	2277.5
Gesamttotal	416.1	881.5	1939.5	2974.5	6211.6
<i>Budget</i>	420	900	2000	3000	6211.6

8 Referenzen

- ¹ Wind Energy: The Facts, an analysis of wind energy in the EU-25, EWEA 2004
- ² Global Wind Energy Outlook 2006, Global Wind Energy Council, September 2006
- ³ Bruce Douglas Chief Operating Officer of EWEA (European Wind Energy Association) anlässlich der Global Wind Energy Conference in Adelaide, Australien Sept. 2006
- ⁴ Joachim KUTSCHER, Forschungszentrum Jülich GmbH, City Jülich, GERMANY
Postal Code 52425, Phone: +49 2461 61 2676, Fax: +49 2461 61 2676, j.kutscher@fz-juelich.de
- ⁵ International Wind Energy Development, 2005 Update, BTM Consult ApS, März 2006
- ⁶ Für 2025: Bundesamt für Energie (Verfasser PSI): „Erneuerbare Energien und Nuklearanlagen“, Kapitel 5 „Windenergie“. Die Zahlen für heute und 2010 wurden aufgrund der eingetretenen Kostensteigerungen (siehe kap. 2.4.1) korrigiert.
- ⁷ Leichtwindanlage der Fa. Aventa
- ⁸ Neue Energie 09 /2005, Anlage: MM82 Repower System AG, 40 m Rotordurchmesser und 100m Stahlturm
- ⁹ Bundesamtes für Energie (Verfasser PSI): „Erneuerbare Energien und Nuklearanlagen“, Kapitel 5 „Windenergie“, Zahlen 2010 nach oben angepasst.
- ¹⁰ Aufgrund Auswertungen von Projekten in der Schweiz, Einzelanlage 1.75 MW
- ¹¹ DENA (Deutsche Energieagentur): <http://www.renewables-made-in-germany.com/de/windenergie>
- ¹² Bundesamtes für Energie (Verfasser PSI): „Erneuerbare Energien und Nuklearanlagen“, Kapitel 5 „Windenergie“
- ¹³ Dieser Wert liegt über den Angaben des PSI. Es hat in seinen Berechnungen kurzfristig sehr hohe Kostenreduktionen unterstellt (-15% in 5 Jahren!), eine Entwicklung, welcher aufgrund aktueller Informationen (siehe Kap. 2.4.1) wohl zu optimistisch ist
- ¹⁴ European Wind Energy Association EWEA und Greenpeace, Wind Force 12, A blueprint to achieve 12% of the world's electricity from wind power by 2020, May 2003
- ¹⁵ International Wind Energy Development, 2005 Update, BTM Consult ApS, März 2006
- ¹⁶ UVEK = Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
- ¹⁷ Bundesamt für Energie, „Konzept Windenergie Schweiz“, 2004, Meteotest, et.al.
- ¹⁸ Nur direkte Arbeitsplätze in den entsprechenden Branchen
- ¹⁹ http://www.enertrag.com/print_cmadmin_1_226_0.html