

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 89 (1998)

Heft: 10

Artikel: Rückenwind für Windenergie

Autor: Horbaty, Robert

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902075>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Das exponentielle Wachstum der Windindustrie hält weltweit ungebremsst an. Expandierende Märkte in Europa (DK, D, E, P, GR, GB, F, IRL), Südamerika, China und Indien sind die Basis dieses noch jungen Wirtschaftszweiges. Die Windenergie stellt bereits heute – als erneuerbare Energiequelle – einen substantiellen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung dar.

Rückenwind für Windenergie

Adresse des Autors

Robert Horbaty
ENCO GmbH/Programmleitung Windenergie
Bärenwil 195
4438 Langenbruck

■ Robert Horbaty

Entwicklung der Technologie

Bis zu Beginn der 80er Jahre wurden mit (Kleinst-)Windkraftanlagen hauptsächlich elektrisch nicht erschlossene Alphütten versorgt. Grossprojekte, wie die 3-MW-Anlage Growian in Norddeutschland, waren eigentliche Forschungsprojekte und haben nie substantiell zur Energieversorgung beigetragen. Dank steuerlichen Vergünstigungen setzte ab 1981 eine rasante Entwicklung des Marktes für Windkraftanlagen in Kalifornien ein – und legte die Basis der Windindustrie, vor allem in den USA selbst und in Dänemark. Eine Entwicklung, die geprägt war durch die ökonomisch sinnvolle Installation von immer grösseren Anlagen.

Waren vor zehn Jahren Windkraftanlagen mit über 100 kW Leistung noch eher die Ausnahme, so werden heute hauptsächlich Anlagen mit mehr als 500 kW Leistung installiert und bereits hat jeder wichtige Hersteller Anlagen mit über 1 MW Leistung im Programm. Dies sind Maschinen mit mehr als 60 m Rotordurchmesser! Die durchschnittlich installierte Leistung aller 5200 Windkraftanlagen in Deutschland betrug im Jahre 1997 rund 400 kW/Anlage¹.

Als Anlagekonzept hat sich die Horizontalachs-Anlage mit 3-Blatt-Rotor und Stahlmasten durchgesetzt – die Leistungsregulierung erfolgt entweder aerodynamisch («stall») oder durch Blattverstellung. Ein Hersteller setzt einen vielpoligen, drehzahlvariablen Generator ein; der Grossteil der installierten Anlagen wird jedoch über Asynchrongeneratoren ans Netz gekoppelt.

Der Boom hält an

Weltweit waren letztes Jahr Windkraftanlagen mit 6500 MW Gesamtlei-

stung in Betrieb. Mit 4100 MW installierten Windkraftanlagen ist Europa hier klar Marktführer. Die Stromgestehungskosten sanken seit 1991 um 30%, es resultieren Installationskosten von Fr. 1600.–/kW und 20 000 neue Arbeitsplätze konnten geschaffen werden (Bild 1)².

Länder wie Indien (825 MW), China (92 MW) und Costa Rica (20 MW) haben ebenfalls zu diesem vielversprechenden Resultat beigetragen³.

Diese Entwicklungsdynamik hat aber auch ihre Schattenseiten:

- Das – aus Sicht der Windkraft-Anlagenbetreiber – sehr erfolgreiche deutsche Stromeinspeisegesetz (rückgelieferte Elektrizität wird mit 90% des mittleren Verkaufspreises entschädigt) hat teilweise zu einer Massierung von Windkraftanlagen an den windgünstigen Küsten geführt, was nun die Landschaftsschützer auf den Plan gerufen hat. Kernpunkt der Debatte: Wieviel Landschaftsbeeinträchtigung («Verspargelung der Landschaft») ist uns eine nachhaltige Energieversorgung wert?
- Vor dem Hintergrund der anstehenden Strommarktliberalisierung stehen zudem die gesicherten Rücknahmetarife zur Disposition, was zusätzlich zu grösserer Verunsicherung und Zurückhaltung bei Investoren und Anlagenbetreibern geführt hat.

Durch die intensive Erschliessung von eigentlichen Windkraftwerken im Meer («near shore» oder «off shore») in den nächsten Jahren, erwartet die Windindustrie jedoch weitere positive Impulse, die zu zusätzlichen Kostenreduktion und zu noch zuverlässigeren Anlagen führen werden. Dänemark plant bis ins Jahr 2003 Windkraftwerke mit rund 400 MW Leistung vor ihrer Küste zu errichten.

¹ Windenergienutzung in der BR Deutschland, Stand 31.12.1997, DEWI-Magazin, Nr. 12, Februar 1998.

² European Wind Energy Conference, Dublin, 1997.

³ Windpower Monthly 7/97.

Mit der Installation einer 30-kW-Windkraftanlage auf dem Titlis wurde auch im internationalen Massstab Neuland beschritten. Die Erfahrungen mit dem Bau und Betrieb dieser höchstgelegenen Windturbine in Europa können für die weitere Windenergie-Erschliessung der Alpen und der nordischen Länder genutzt werden (Bild K. Odermatt).

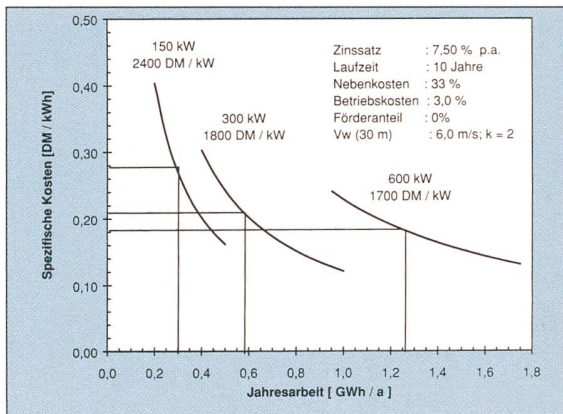


Bild 1 Stromgestehungskosten unterschiedlicher Windkraftanlagen-Leistungsklassen in Deutschland⁴.

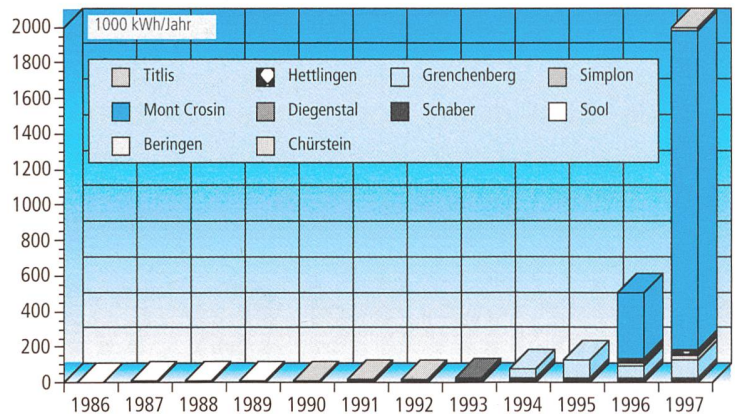


Bild 3 Jahresenergieertrag 1997 aller Windenergieanlagen in der Schweiz – dominiert durch die Mont-Crosin-Anlagen (1,8 Mio. kWh/Jahr).

Mit den zunehmenden Installationen von Anlagen an Binnenlandstandorten – bis hin nach Zentraleuropa – gewinnt die Windenergienutzung im hügeligen oder gar gebirgigen Gelände zunehmend an Bedeutung. Die Herausforderungen, im komplexen Terrain mit turbulenten Winden und vereisendem Klima, Windkraftanlagen zu betreiben, sind um einiges grösser als an den Küstenstandorten. Die Erfahrungen in der Schweiz können hier einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung der Windenergie leisten.

Windenergienutzung in der Schweiz

In der Schweiz hat sich die Windenergie etwas gemächlicher entwickelt (Bild 2 und 3).

Im Rahmen einer Potentialstudie⁵ wurden konkrete Standorte ermittelt, welche unter Berücksichtigung der Anliegen des Landschaftsschutzes für die Windenergienutzung optimal geeignet sind. Laut dieser Studie könnten bei uns rund 1500 MW Windkraftanlagen installiert werden, die rund 1600 GWh (3,4% des heutigen Strombedarfs) produzieren könnten – zu Produktionskosten zwi-

schen 20 und 30 Rp./kWh. Diese Studie und die entsprechenden Landkarten sind bei den Infostellen (in Deutsch und Französisch) erhältlich.

Was braucht der Markt?

Welche Voraussetzungen fördern die Entwicklung der Windenergie in der Schweiz und die – mindestens teilweise – Erschliessung dieses Potentials?

- Hohe Planungssicherheit für den Developer (genaue Kenntnisse der Windressourcen, klare Anforderungen des Natur- und Landschaftsschutzes, festgelegte raumplanerische Voraussetzungen über [Energie-]Richtplan).
- Genaue Kenntnisse der Beeinflussung des Leistungsverhaltens und der Lebensdauer einer Windkraftanlage, zum Beispiel durch turbulente Winde und Vereisung. Die Performance der bisher installierten Anlagen in der Schweiz weisen auf einen gewissen Optimierungsbedarf hin. So liegen alle Anlagen – mit Ausnahme des Mont-Crosin-Projektes – unter 1000 Volllaststunden.
- Wirtschaftliche Rahmenbedingungen, die auf Transparenz und Glaubwürdig-

keit beruhen, mit vertrauenswürdigen Produktions- und Vermarktungsstrukturen sowie Herkunfts- und Liefergarantien (z.B. Aufbau einer Strombörse für «Ökostrom»).

- Substanzielle Förderung (steuerliche Vergünstigungen für Investoren und Windstromkunden).
- Fundierte Informationen für Projektentwickler, Bewilligungsbehörden und Finanzinstitute.
- Erfahrungsaustausch aller Beteiligten.

Förderstrategien

Das Programm Wind des Bundesamtes für Energie erarbeitet und unterstützt Strategien – auch im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit – die zur raschen Entwicklung des Windenergiemarktes in der Schweiz, mit zuverlässigen und an unsere Situation angepasste Windkraftanlagen, führen wird. Mit Stromgestehungskosten unter 30 Rp./kWh verspricht die Nutzung dieser erneuerbaren Energie auch bei uns einiges. Bei der Erschliessung von Standorten soll dabei der Aspekt des Landschaftsschutzes den gleichen Stellenwert wie derjenige der Windverhältnisse haben.

Information aus erster Hand

- Die Infostelle **Wind**⁶ und **Eole Info**⁷ orientieren die Medien und die breite Öffentlichkeit über die Möglichkeiten der Windenergienutzung in der Schweiz, führen Seminare und Work-

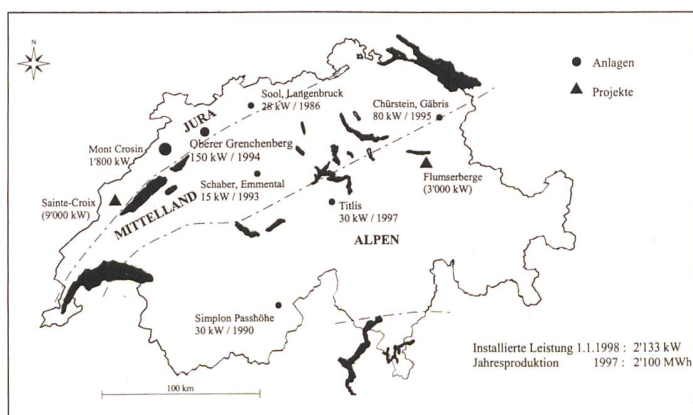


Bild 2 Windenergieanlagen und Projekte in der Schweiz (> 15 kW).

⁴ Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm (WMEP) zum Breitentest «250 MW Wind», ISET, 1996.

⁵ Hans Buser et al.: Windkraft und Landschaftsschutz, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1996.

⁶ Infostelle Wind, c/o NOVA Energie GmbH, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Telefon 062 834 03 00, Fax 062 834 03 23.

⁷ Eole Info, c/o Planair, Crêt 108 A, 2314 La Sagne, Tel. 032 931 88 28, Fax 032 931 18 68.

Windkraftanlage Titlis

Die Windkraftanlage Titlis wurde als Beitrag zum Aktionsprogramm «Energie 2000» gemeinsam von den Bergbahnen Engelberg-Trübsee-Titlis und dem Kantonalen Elektrizitätswerk Nidwalden erbaut und im September 1997 in Betrieb genommen. Die zu erwartende Jahresproduktion beträgt etwa 35 000 kWh. Die produzierte Energie wird in das 400-V-Netz der Bergbahnen auf dem Titlis eingespeist. Mit dem Standort auf 3005 m ü.M. ist diese Windkraftanlage die höchstgelegene, netzgekoppelte Anlage Europas. Die Baukosten betragen rund Fr. 300 000.–. Das Projekt wird vom Bundesamt für Energie mit Fr. 90 000.– und der Standortgemeinde Engelberg mit Fr. 10 000.– Förderungsbeiträgen unterstützt.

Projektiert wurde die Anlage gemeinsam durch die Arbeitsgemeinschaft für dezentrale Energieversorgung ADEV, die Bergbahnen Engelberg-Trübsee-Titlis und das Kantonale Elektrizitätswerk Nidwalden.

Das hochalpine Klima verursacht im Vergleich zu tiefer gelegenen Standorten eine häufigere Vereisung der Anlage. Die Betriebsdaten der Anlage, Windgeschwindigkeit, Temperatur und Generatorleistung, werden daher im Rahmen des EU-Forschungsprojekts «WECO» erfasst und sollen vertiefte Erkenntnisse über das Betriebsverhalten von Windkraftanlagen bei Vereisung liefern.

Kurt Odermatt, EW Nidwalden

Technische Daten

Lieferant		Husumer Schiffswerft
Typ		HSW 30
Generator	Bauart	asynchron
	Leistung	30 kW
Rotor	Durchmesser	12,5 m
	Blätteranzahl	2
	Nabenhöhe	22,4 m
	Turmanordnung	leeseitig
Regelungsprinzip		Veränderung Blattanstellwinkel

shops durch und unterstützen Bauwille in Standortabklärungen.

- Mit dem Aufbau einer **Besucherinfrastruktur** für das grösste schweizerische Windkraftwerk auf dem Mont-Crosin im Berner Jura wird die Bevölkerung in umfassender Weise vor Ort über die erneuerbaren Energien mit Schwergewicht auf der Wind- und Sonnenenergie informiert.
- Das Projekt **Cyber-Marketing** der Juvent SA, ein nicht standortgebundenes, erlebnisorientiertes Besucherinformationssystem, will die Schweizer Bevölkerung für die Windenergienutzung begeistern und zum Kauf von Windstrom animieren⁸.

Konkrete Projekte

Mit einer Vielzahl von Projekten werden die Rahmenbedingungen zur Windenergienutzung kontinuierlich verbessert:

- Diverse konkrete **Standortabklärungen** (Windmessungen, raumplanerische Voraussetzungen, Erschliessbarkeit usw.) werden mit wesentlichen finanziellen Beiträgen unterstützt. Grössere Vorhaben sind durch die Gemeinde Sainte Croix und im Gebiet der Flumserberge geplant.
- In einem Pilotprojekt werden die in der Potentialstudie ausgewiesenen Standorte im Kanton Neuenburg in den **kantonalen (Energie-)Richtplan** integriert. Die unter aktiven Beteiligung der Umwelt- und Landschaftsschutzorganisationen im Rahmen eines Vernehmlassungsverfahrens ermittelten

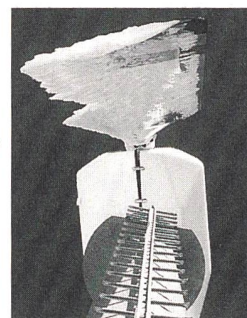
Standorte können so möglichen Investoren angeboten werden.

- Neueste Erkenntnisse und Handlungsstrategien zur Umsetzung des Windenergiepotentials in der Schweiz werden in einem **Handbuch** den Windenergieplanern, den Bewilligungsbehörden und dem interessierten Fachpublikum nähergebracht. In der Begleitgruppe zu dieser Arbeit sind sämtliche betroffenen Kreise (z.B. Raumplanung, Landschaft- und Umweltschutz, Energieversorger usw.) engagiert, wodurch eine breit abgestützte Vorgehensweise entwickelt werden kann⁹.
- Im Rahmen des Projektes **WECO = Wind Energy Production in Cold Climate** – ein Forschungsprojekt im Rahmen des EU-Programmes Joule III – werden die klimatischen Einflüsse auf Windenergieanlagen an kalten Standorten untersucht (Bild 4).

Die im Projekt der EU erarbeiteten Lösungen sind von der Schweiz von emi-

nenter Bedeutung, da die potentiellen Standorte in der Regel über 800 m ü.M. liegen, und somit die Windanlagen dort (wie erste Erfahrungen mit bestehenden Anlagen zeigen) extremen klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind, die zu (bis anhin nicht quantifizierbaren) Produktionseinbussen führen. Mit der Beteiligung am WECO-Projekt leistet die Schweiz einen erheblichen Beitrag zur Entwicklung von Windenergieanlagen für kalte Standorte, zur optimalen Planung von Windparks und zur Förderung der erneuerbaren Energien.

Bild 4 Durch Vereisung und Reifansatz, wie hier am Rotorblatt der Windkraftanlage auf dem Titlis, können erhebliche Produktionseinbussen auftreten (Foto K. Mertens, ADEV).



«Suisse Eole»

Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz in Gründung

Das Ziel dieser Vereinigung besteht in der Verbreitung der Windenergienutzung, die ökologisch und (volks)wirtschaftlich sinnvolle Erschliessung dieser Energiequelle bewusst zu machen und somit nachhaltig zu fördern. Insbesondere durch:

- Koordination und Verstärkung der Aktivitäten aller an der Windenergienutzung interessierten Kreise und Organisationen.
- Verbesserung der Rahmenbedingungen für den Einsatz der Windenergie.
- Organisation des Erfahrungsaustausches aller Windenergie-Interessierten
- Vertretung der Windenergieinteressen in politischen und techn. Gremien

Gründungsversammlung: 28.5.1998, 17 Uhr im Hotel Elite, Bahnhofstr. 14, in Biel

⁸ CD-ROM Windborne 1, erhältlich bei Infostellen Wind/Eole Info.

⁹ Diese Publikation wird im Herbst 98 bei den Infostellen Wind erhältlich sein.

Photovoltaik: Technologisch ausgereift.



Eine besondere photovoltaische Anlage bezüglich Perfektion realisierte die Zürcher Freilager AG auf ihrem Lagerhaus Block 4. Sie wurde im Rahmen der EWZ Solarstrombörse gebaut und verfügt über eine Leistung von 70 kWp. Mit dem erzeugten Strom von ca. 60'000 kWh pro Jahr können 20 Haushalte mit Strom ganzjährig versorgt werden.

Der Bau von Solaranlagen verbindet handwerkliches Geschick einerseits mit High-Tech-Produkten andererseits. Die Systeme werden ständig professioneller und die Ingenieure sind gefordert, interdisziplinär optimale Lösungen zu finden. Fragen bezüglich Beschattungsverläufen, Anstellwinkel, Verkabelungskonzepten, Blitzschutz und mechanischer Konstruktion stellen immer wieder neue Herausforderungen dar. So auch im Rahmen des Freilager-Projektes, wo eine der perfektesten photovoltaischen Anlagen der Schweiz entstanden ist. Das Ingenieurbüro TNC Consulting AG war mit dem Engineering und der Projektleitung betraut.

Als Module kamen Siemens-Generatoren vom Typ SM110 mit einer Nominalleistung von 110 W zum Einsatz. Dank optimaler Sortierung in verschiedene Klassen wird eine maximale Ertragsbilanz erreicht. SM110 sind ISPR A IEC1215, UL, JPL, TÜV und CE geprüft und entsprechen der Schutzklasse II. Die vollkommene Prozessbeherrschung in der Zellen- und der Modulfertigung erlaubt Siemens Solar, eine Leistungsgarantie von 25 Jahren abzugeben. Die Anlage weist einen perfekten Blitzschutz und dank massiven Modulrahmen auch einen optimalen Hagelschutz auf. Die Unterkonstruktion übernimmt gleichzeitig verschiedene Funktionen wie Halterung der Module, Blitzschutz, Windversteifung und geschützte Kabelführung. Drei Schweizer Sputnik-Wechselrichter speisen den Strom ins Netz des EWZ.

Die Anlage wurde durch FABRISOLAR, die schweizerische Exklusivvertretung von Siemens Solar, in nur 12 Tagen installiert. Als spezialisierte Firma für die Erstellung mittlerer bis grosser Photovoltaik-Anlagen ist sie als einziges CH-Unternehmen der Branche ISO9001 zertifiziert. Mit der Tochterfirma Creaglas GmbH können kundenspezifische Grosslamine bis 1.5 x 2.5 m realisiert werden, wie sie in Fassaden- und Dachintegrationen verwendet werden. Die Verfahrenstechnik von Creaglas ist IEC1215 zertifiziert. FABRISOLAR AG verfügt über viele neue Technologien, die z.B. zur Realisierung hochabsorbierender Schallschutzwände oder photovoltaischer Isoliergläser geführt haben. Die aktive Mitarbeit an internationalen EU-Projekten erlaubt, an vordester Front neue Materialien und Technologien in neue Produkte einfließen zu lassen.



Solaranlage Freilager Zürich.
Werkbilder FabriSolar AG



Hochabsorbierende Schallschutzwand
mit Grosslaminaten von Creaglas und
Zellen von Siemens Solar. Werkbild
FabriSolar AG



FABRISOLAR AG und SIEMENS SOLAR
die verlässlichen Partner für Ihre Photovoltaik-Projekte

FABRISOLAR
FABRIKATION TECHNIK INTEGRATION

FabriSolar AG
Untere Heslibachstrasse 39
CH-8700 Küsnacht
Tel. 01 - 914 28 80, Fax 01 - 914 28 88

Siemens Solar GmbH
Postfach 46 07 05 • D-80915 München