

**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:** 84 (1993)

**Heft:** 10

**Artikel:** Windenergie in der Schweiz

**Autor:** Biedermann, Andy

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902694>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 31.01.2025

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

Im Mai 1993 nimmt das erste Windkraftwerk des Kantons Bern auf dem Schaber im Oberaargau/Emmental seinen Betrieb auf. Der Kilowattstundenpreis wird sich voraussichtlich auf 70–80 Rappen belaufen. Dies ist vergleichbar mit anderen Windkraftanlagen in der Schweiz wie der 28-kW-Anlage auf dem Sool oder dem 30-kW-Kraftwerk auf dem Simplon. Die Windenergie ist somit zwar billiger als Strom aus Photovoltaik-Anlagen, aber noch lange nicht konkurrenzfähig mit der konventionell produzierten Elektrizität. Ein Blick über die Grenzen ergibt jedoch ein anderes Bild.

# Windenergie in der Schweiz

■ Andy Biedermann

## Einleitung

Aus Gründen des Umweltschutzes und der Ressourcenknappheit sind wir auf die schnelle Erschliessung der erneuerbaren Energien angewiesen. Die nötigen Technologien sind weitgehend vorhanden. Und auch wirtschaftspolitische Strategien wurden aufgezeigt, die eine langfristige Transition weg von erschöpfbaren Ressourcen (fossil, nuklear) hin zu den erneuerbaren Energien ohne nennenswerte wirtschaftliche Einbrüche möglich machen sollten [1, 2]. Was fehlt ist eine breitere Einsicht in die Dringlichkeit der Lage und der Wille, diese neuen Energien genügend zu fördern. Um so wichtiger sind deshalb Einzel- und Privatinitiativen.

Am 16. Mai 1993 nimmt das erste Windkraftwerk des Kantons Bern auf dem Schaber (Bild 1) im Oberaargau/Emmental seinen definitiven Betrieb auf. Initiiert wurde es vom Büro Meteotest. Besitzerin und Betreiberin ist die genossenschaftlich organisierte Arbeitsgemeinschaft für dezentrale Energieversorgung, ADEV, Bern. Sie betreibt das Kraftwerk im Netzverbund, das heisst der Strom (voraussichtlich etwa 12000 kWh/Jahr) wird ins Netz des EW Wynau eingespeist. Wer sich finanziell an der Anlage beteiligt, kann seine Windenergie aus der normalen Steckdose beziehen. Die Kosten für das 15-kW-Kraftwerk belaufen sich voraussichtlich auf Fr. 128000.-. Finanziert wird die Anlage

durch Einzelpersonen und private Gruppen. Der Kanton Bern übernimmt 27% der Kosten in Form eines Förderbeitrags. Der Kilowattstundenpreis wird sich voraussichtlich auf 70–80 Rappen belaufen (Laufzeit 15 Jahre,

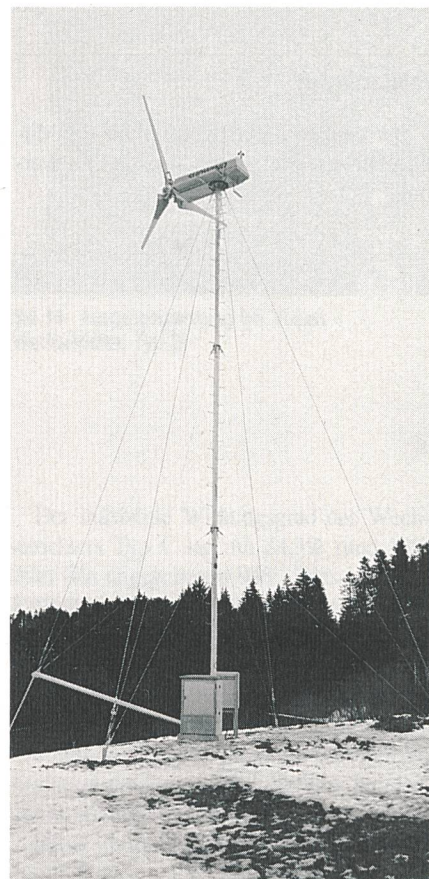


Bild 1 Windkraftwerk «Schaber», ADEV Bern (Foto: M. Möhl)

Adresse des Autors:

Andy Biedermann, ADEV Bern, Postfach, 3000 Bern 7.

keine Kapitalzinsen, da Finanzierung durch zinslose Darlehen und Beiträge («à fonds perdu»). Dies ist vergleichbar mit anderen Windkraftanlagen in der Schweiz wie zum Beispiel der 28-kW-Anlage des Ökozentrums Langenbruck auf dem Sool oder dem von der Alteno AG für das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) installierten 30-kW-Kraftwerk auf dem Simplon (Bild 2). Die Windenergie ist somit zwar billiger als Strom aus Photovoltaik-Anlagen, aber noch lange nicht konkurrenzfähig mit der konventionell produzierten Elektrizität. Dies gilt für die Schweiz. Ein Blick über die Grenzen ergibt jedoch ein anderes Bild. Aufgrund der Entwicklungen im Ausland müssten wir für die nähere Zukunft eigentlich mit einem – wenngleich kleinen – «Boom» für die Windkraft in der Schweiz rechnen können.

## Die heutigen Windkraftanlagen (WKA)

Windmühlen wurden in China bereits 2000 Jahre, in Ägypten 400 Jahre vor Christi Geburt verwendet. Im 7. Jahrhundert waren sie auf verschiedenen Mittelmeerinseln anzutreffen. Im 15. Jahrhundert entstand die heute bekannte Form der holländischen Windmühle, die bis ins 20. Jahrhundert kaum verändert wurde. Erst ab Mitte der 70er Jahre setzte die heutige rasche Entwicklung ein.

Bei den Windkraftanlagen sind zwei Tendenzen zu beobachten. Kleine und mittlere Anlagen (10–500 kW, Rotordurchmesser 10–35m) wurden in den letzten 20 Jahren mit nur geringen öffentlichen Forschungsmitteln zur Anwendungsreife entwickelt und haben im Ausland einen wachsenden Markt erobert. Weltweit sind 15 000–20 000 dieser Anlagen in Betrieb und werden für die private und lokale Stromversorgung eingesetzt.

Grosse WKA (über 500 kW) wurden bisher nur in kleiner Zahl (rund 70) und dank spezieller Forschungs- und Entwicklungsprogramme gebaut. Da die Luftströmung in den bodennahen Schichten entsprechend der Bodenrauigkeit abgebremst wird und die Leistung eines Rotors in der 3. Potenz der Windgeschwindigkeit steigt, besteht ein starker Anreiz zu grösseren (höheren) Anlagen. Die höheren Verluste dieser WKA im unteren Teillastbereich sind so lange ohne grosse Bedeutung als Standorte mit grossem Windpotential zuerst genutzt werden. Bis heute liefern die WKA dieser Grösse jedoch sehr unterschiedliche Resultate. Eine Serienproduktion ist vorerst nicht zu erwarten.

Unter den WKA werden, je nach Stellung der Propellerachse, zwei Haupttypen unterschieden. Die meisten Anlagen sind mit einer horizontalen Achse versehen. Die ersten, vielblättrigen Windräder wiesen langsame

Umlaufgeschwindigkeiten auf, was sich für den direkten mechanischen Antrieb eignet. Für die Stromproduktion sind jedoch hohe Drehzahlen erwünscht, was zur Entwicklung von Rotoren mit wenigen (gewöhnlich 2–3) aerodynamisch optimierten Propellerblättern führte. Solche Systeme sind heute technisch ausgereift und weisen eine hohe Zuverlässigkeit auf (Bilder 1 und 2).

Der wichtigste Typ der WKA mit vertikaler Rotorachse ist die Darrieus-Anlage (Bild 3). Der aus gekrümmten, profilierten Blättern bestehende Rotor weist gute aerodynamische Eigenschaften auf. Er nützt alle Windrichtungskomponenten (inkl. steigende und fallende Winde) aus. Der konstruktive Aufwand kann verhältnismässig klein gehalten werden, da mit Abspannseilen eine grosse Stabilität erzielt wird. Der Generator befindet sich auf dem Boden. Dieser Typ muss jedoch mit Fremdenergie gestartet werden. Darrieus-Anlagen gibt es in allen Grössen. «Eole», an der kanadischen Ostküste, ist mit 110 m Höhe und 4 MW Leistung die grösste Windenergieanlage der Welt.

WKA bis zu einer Grösse von 400 bis 500 kW können heute als technisch ausgereift bezeichnet werden und sind tausendfach erprobt (sowohl horizontal- als auch vertikalachsige Modelle). Die Verfügbarkeit der Anlagen stieg in Kalifornien von 0 bis 70% in den frühen 80er Jahren auf 95 bis 98% für die besten Systeme heute. Der mittlere Ausnutzungsfaktor (= mittlere Leistung/installierte Leistung) stieg von 0,03 in 1982 auf heute über 0,3 an den besten Standorten [3].

Neben den WKA mit einer (oder zwei) fixen Drehzahl(en) werden heute vermehrt auch Anlagen angeboten, die mit variablen Drehzahlen operieren. Die bessere Windnutzung ist jedoch mit höheren Kosten verbunden (Umformer für einen Strom mit 50 Hz Netzqualität). Neuere Modelle verfügen zum Teil auch über Rotorenblätter mit variablen Anstellwinkeln, was ebenfalls eine bessere Windausnutzung ermöglicht.

Die heute gängigen Modelle liefern an guten Standorten in weniger als einem Jahr so viel Energie, wie für ihren Bau benötigt wurde. Anders ausgedrückt: ihre Energierückzahldauer ist kleiner als ein Jahr [4, 5].

In der Schweiz sind bisher einzig kleine bis mittelgrosse Anlagen zum Einsatz gelangt. Es handelt sich dabei sowohl um horizontal- als auch vertikalachsige Formen.

## Das Windenergiepotential

Das Windenergiepotential ist in verschiedenen Regionen der Welt sehr gross. Beispielsweise in den US-Staaten des mittleren Westens und in Grossbritannien ist der limitierende Faktor bei der Erschliessung nicht die Ressource an sich, sondern es sind netz-

seitige Restriktionen (Lastverteilung, Speicherkapazität). Die Schätzungen über den möglichen Beitrag von fluktuierenden Stromerzeugungsanlagen (Wind, Photovoltaik) an der gesamten Netzleistung variieren zwischen 10% und 40% [4]. Werden entsprechende Speicherkapazitäten bereitgestellt oder wird in einem grösseren Netzverbund operiert, sind regional auch höhere Anteile möglich. Weitere vielversprechende Windregionen sind Nordafrika, das südliche Südamerika und die den Passatwinden ausgesetzten Gebiete.

Das Windenergiepotential der Schweiz wurde im Rahmen der EGES-Untersuchungen bestimmt. Die potentiellen Einzelbeiträge aller relevanten schweizerischen Standorte wurden aufaddiert bzw. hochgerechnet, unter Annahme einer maximal möglichen installierten Leistung. Das so bestimmte technisch nutzbare Potential beträgt im Jahr 2025 im Referenzszenario rund 600 TJ/Jahr, im Ausstiegsszenario 2400 TJ/Jahr (bzw. 0,4 und 1,6% des schweizerischen Stromverbrauchs im Jahre 1985) [6].

Das Referenzszenario geht von einer Zahl von sinnvoll zu installierenden Anlagen von knapp 750, das Ausstiegsszenario von rund 1750 aus. Aus Landschaftsschutzgründen wird mit Anlagegrössen von höchstens 400 kW gerechnet. Die maximale Zubaurate beträgt im Referenzszenario 22, im Ausstiegsszenario 66 Anlagen pro Jahr. Von den 2400 TJ/Jahr entfallen rund die Hälfte auf den Jura. Ein Drittel stammt aus den Voralpen, 15% von Alpentälern und Alpenpässen [6].

Nahezu alle technisch nutzbaren Potentiale weisen laut EGES-Untersuchung Stromgestehungskosten von 50 Rp./kWh und weniger auf. An besonders windgünstigen Standorten mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten von mehr als 7 m/s (z.B. Chasseral, einige Alpenpässe) lassen sich Stromgestehungskosten von weniger als

Ort	Mittlere (ANETZ-Station) Windgeschwindigkeit (m/s)
Basel-Binningen	2.35
Bern-Liebefeld	1.71
Chasseral	8.13
Genève-Cointrin	2.15
Grand-St-Bernard	6.06
Jungfrau-Joch	7.57
Locarno-Monti	1.33
Säntis	6.26
Zürich SMA	2.05
Quelle: [10]	

Tabelle 1 Mittlere Windgeschwindigkeiten an ausgewählten Standorten der Schweiz

5 Rp./kWh berechnen (Stand 1987) [6]. In der Tabelle 1 sind die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten einer Auswahl von Orten in der Schweiz aufgeführt.

Ein wesentlicher Anteil des technisch nutzbaren Potentials kann längerfristig zu Stromgestehungskosten von 20 Rp./kWh und weniger realisiert werden. Im Referenzszenario handelt es sich hierbei um knapp 400 TJ/Jahr, im Ausstiegsszenario um rund 2000 TJ/Jahr. Wegen der überwiegenden Nutzung des Stroms am Ort der Produktion fallen wenige Transformations-, Übertragungs- und Verteilverluste an, was sich günstig auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt [6].

Eine Potentialabschätzung für den Kanton Bern kommt zu vergleichbaren Resultaten. Hier beträgt das langfristige Potential 1,8% des heutigen Stromkonsums oder so viel wie die Stadt Biel heute verbraucht. Bei der Installation von grösseren Anlagen bis 400 kW würde sich der Beitrag auf 2,5% erhöhen. Der mittlere Stromgestehungspreis liegt bei 50 Rp./kWh, 15% könnten mit weniger als 20 Rp./kWh produziert werden. Fast die Hälfte der Windenergieproduktion entfällt jedoch auf Natur- und Landschaftsschutzgebiete [7].

Von Bedeutung ist, dass aufgrund von Windmessungen und ersten Resultaten bei bestehenden WKA in der Schweiz mit einem Verhältnis Winter- zu Sommerproduktion von etwa 6 : 4 gerechnet werden kann.

### Wirtschaftlichkeit

Im Ausland ist die Windenergie in gewissen Ländern bereits billiger als Elektrizität aus konventionellen Kraftwerken. Ausgehend von dänischen Zahlen für bestehende Windfarmen im 100–300-kW-Bereich wird für Neuanlagen in der EG mit Fixkosten von 700 bis 1100 Fr./m<sup>2</sup> gerechnet. Je nach Modell entspricht dies 1500–3200 Fr./kW. Rund die Hälfte bis zwei Drittel sind für das eigentliche Kraftwerk aufzuwenden. Landkauf, Infrastrukturbauten (Strassen, Kontrollraum, elektrische Einrichtungen) und Fundament verschlingen den Rest. (An schlecht erschlossenen Standorten können Infrastrukturkosten jedoch auch viel höher liegen!) Für Betrieb und Unterhalt werden 2,5% der Fixkosten veranschlagt. Je nach Standortqualität (durchschnittliche Windgeschwindigkeit) und Verzinsung ist mit Stromgestehungskosten

von 0,074 bis 0,13 Fr./kWh zu rechnen [5]. Tabelle 2 zeigt einen Kostenvergleich verschiedener Stromproduktions-Systeme.

Angesichts der sehr kurzen Entwicklungsgeschichte und der knappen Forschungs- und Entwicklungsgelder sind die tiefen Energieproduktionskosten als grosser Erfolg zu werten. Sobald die Serienproduktion in grösserem Stil gestartet werden kann und in Erwartung absehbarer technischer Verbesserungen darf mit einer weiteren Kostenreduktion in der Grössenordnung von 20 bis 25% gerechnet werden [5]. Heute liegt die maximale Kosteneffizienz bei Windkraftanlagen im Leistungsbereich von 100 bis 400 kW. Sollten Anlagen im Megawattbereich je zur Serienreife gelangen, dürften die Stromgestehungskosten weiter sinken.

In diesen Kostenrechnungen sind die externen Kosten (Folgekosten der Energienutzung, die von der Allgemeinheit getragen werden) nicht berücksichtigt. Sie wurden von Hohmeyer im Auftrag der EG sowohl für fossil-thermische als auch für nukleare Kraftwerke bestimmt. Aus den Resultaten lässt sich eine «soziale Gutschrift» für die Windenergie in der Höhe von gut 7 Rp./kWh ableiten [8]. Mit ganz anderem Ansatz gelangt van Wijk für Holland zu ähnlichen Resultaten. Er berechnet die dank der Windenergienutzung vermiedenen Kosten. Neben den vermiedenen Brennstoff- und Anlagekosten für konventionelle Kraftwerke werden auch die Schadstoffvermeidungskosten mitberechnet (z.B. Kohle-Entschwefelung von 99% statt 95%). Seine Resultate liegen bei 8–10 Rp./kWh [9].

Beschäftigungspolitisch wirkt sich die Förderung der Windenergienutzung unter anderem für wirtschaftspolitische Randregionen positiv aus. Laut EGES-Referenzszenario kann für die Herstellung der nötigen WKA bis ins Jahr 2025 von knapp 30 Arbeitsplätzen in der Windindustrie ausgegangen werden, beim Ausstiegsszenario sind es 60. Für die Installation sowie für Betrieb und Unterhalt ist mit weiteren rund 70 (Referenzszenario) bis knapp 120 Arbeitsplätzen (Ausstiegsszenario) im lokalen Bau- und Elektrogewerbe zu rechnen (6). Bei einem stärkeren schweizerischen Engagement in der expandierenden Windenergiebranche könnten im Exportbereich weitere Arbeitsplätze geschaffen werden. Das schweizerische Know-how im Generatoren-, Wechselrichter- und Turbinenbau sowie in der Regelungstechnik und im Engineering sind gute Voraussetzungen dafür [10]. Die europäische Windenergieassoziation rechnet für die Serienproduktion mit zehn Arbeitsplätzen pro Megawatt. Einen weiteren Arbeitsplatz pro Megawatt wird für Betrieb und Unterhalt benötigt [5]. Tabelle 3 zeigt die Arbeitsplatzintensität verschiedener Stromproduktionsformen.



Bild 2 30-kW-Windkraftanlage auf dem Simplon (Foto: Alteno AG)

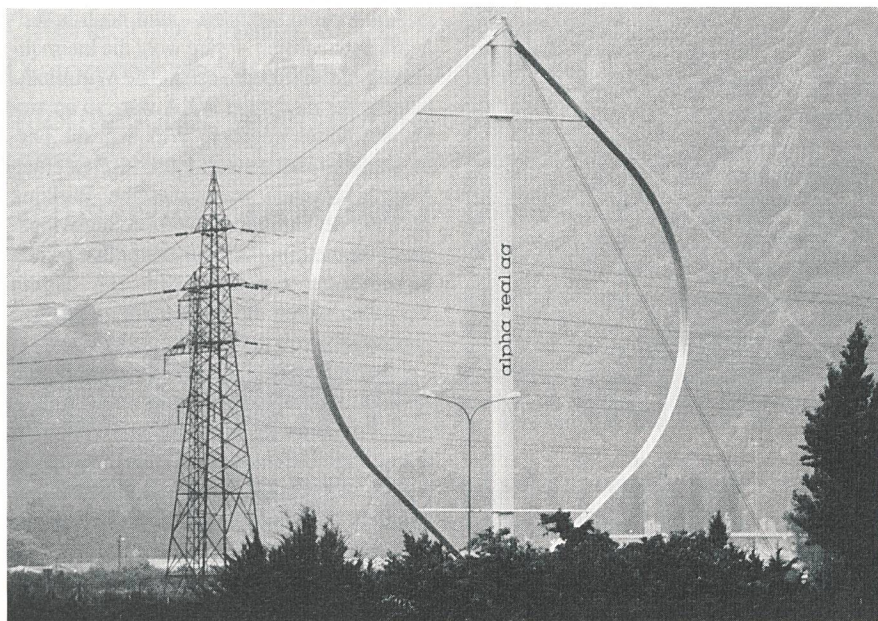


Bild 3 160-kW-Vertikalachsen-Windturbine in Martigny (heute nicht mehr in Betrieb)  
(Foto: Alpha Real AG)

### Akzeptanz

Paradoxaerweise ist gerade bei der umweltfreundlichen Windenergie mit Akzeptanzproblemen von naturschützerischer Seite zu rechnen. In der Schweiz liegen die meisten in Frage kommenden Standorte in nichtüberbauten Zonen, oft auch in Natur- und Landschaftsschutz- und -schongebieten. Optische und akustische Einwirkungen sind zu gewärtigen. Eine gewisse Beeinträchtigung von Fauna und Flora wird geltend gemacht. Bauentscheide sollten deshalb, unter Einbezug aller beteiligten und betroffenen Personen und Gruppen, aufgrund einer Interessensabwägung gefällt werden. Selbstverständlich spielt bei einem solchen Vorgehen eine gute Informationspolitik eine zentrale Rolle. Wenn ein direkter Bezug zum Verbraucher hergestellt werden kann, ist dies sicher hilfreich. Bestimmt ist das Auftreten im Stil

Kraftwerktyp	ECU*/kWh
AKW	0.085-0.10
CCGT**	0.028-0.042
Hydro	0.020-0.040
Kohle	0.042-0.056
Wind	0.041-0.074

\* 1 ECU entspricht rund Fr. 1.80  
\*\* Combined Cycle Gas Turbine  
Quelle: «Forth Report – The Cost of Nuclear Power», UK Government Energy Select Committee 1990, zitiert in [5]

Tabelle 2 Stromgestehungskosten nach Kraftwerktyp

eines «Big Brother» hochgradig kontraproduktiv.

Die Einschätzung optischer Auswirkungen ist sehr subjektiv und variiert vom «Ärgernis» zur «Touristenattraktion». Insbesondere die Höhe der Anlagen und deren örtliche Konzentration können zur Diskussion führen. Auch Reflexionen können als störend empfunden werden. In den EGES-Szenarien wurde denn auch in besonders sensitiven Zonen mit einem nur sehr zurückhaltenden Ausbau der Windenergie gerechnet, mit Tendenz zu Einzelanlagen. Lärmeffekte sind in Relation zu anderen Quellen zu setzen. Eine 300-kW-Anlage weist im Abstand von 200 m einen Schalldruckpegel von 45 dB(A) auf, was einer leise geführten Unterhaltung entspricht. (Eine Liste der Lärmpegel bekannter Geräusche ist in Tabelle 4 aufgeführt.) Bei den Tieren stellen die WKA unter anderem für Vögel eine Gefahr dar. Aus diesem Grund wurden in Holland, nach Absprache mit dem ornithologischen Verein, gewisse Gebiete für die Erschliessung mit WKA ausgeklammert. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass beispielsweise der Verkehr für Vögel eine ungleich grössere Gefahr darstellt. Die Auswirkungen für die Pflanzenwelt sind minimal. Positiv fällt in der Landwirtschaftszone ins Gewicht, dass nur rund 1% des Bodens einer Windfarm überbaut wird. Der grösste Teil davon geht zu Lasten des Baus von Zufahrtsstrassen. Diese sowie das restliche nichtüberbaute Land können (weiterhin) landwirtschaftlich genutzt werden.

Den Negativkriterien sind die positiven Seiten der Windkraftnutzung gegenüberzustellen. Dazu gehört, dass es sich beim Wind um eine Energieform handelt, die weder die negativen Auswirkungen der fossilen Brenn-

stoffe (Treibhauseffekt, Luftverschmutzung, saurer Regen, Ölkatastrophen usw.) noch jene der Atomenergienutzung (Risiko eines Grösstunfalls, Proliferation, Abfallentsorgung) aufweist. Zudem handelt es sich um einen erneuerbaren Energieträger. Seine Nutzung führt zu keiner «Kapitalverminderung» wie bei den fossilen Brennstoffen. Eine vermehrte Abstützung auf heimische Ressourcen und eine Diversifizierung vergrössern auch die Versorgungssicherheit. Das Geld bleibt (zu einem grösseren Teil) im Inland. Die technisch vergleichsweise einfachen und dezentral anwendbaren WKA dürften zudem in der «3. Welt» eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Eine Förderung und Weiterentwicklung dieser Technologien in den Industriestaaten kommt somit auch den ärmeren Ländern zugute.

### Ausblick und Handlungsbedarf

Weltweit ist mit einer raschen Zunahme der Windenergienutzung zu rechnen. In Kalifornien erreichte der Beitrag der Windenergie am Gesamtstromverbrauch innerhalb von zehn Jahren einen Anteil von 1%. Dieser Staat, der nicht zu den windreichsten der

Technologie	Arbeitsplätze (pro 1000 GWh/Jahr)
AKW	100
Geothermie	112
Kohle*	116
Solarthermisch	248
Wind	542

\* inkl. Kohlebergbau  
Quelle: Worldwatch Institute [11]

Tabelle 3 Arbeitsplatzintensität verschiedener Stromproduktions-Systeme

USA zählt, wird die Kapazität noch weiter erhöhen. Neuer Handlungsschwerpunkt werden jedoch die Staaten im mittleren Westen mit ihrem enormen Windpotential werden. In einem ersten Schritt sind dort 250 MW geplant («International Herald Tribune», 15.11.1991).

In Dänemark beträgt der Anteil der Windenergie an der Elektrizitätsproduktion heute bereits 3% [1]). Regierungsseitig sind 10% oder 1350 MW bis zur Jahrtausendwende geplant [5]. In Holland bestehen Ausbaupläne der Regierung von 1000 MW bis ins Jahr 2000 [5]. In der BRD ist im Rahmen des Programms zur Förderung der Alternativenenergie bis 1995 eine Gesamtkapazität von 250 MW vorgesehen («Tages-Anzeiger», 4.11.1991). Und nach jüngsten Zeitungsmeldungen soll jetzt auch in der GUS die

Erschliessung des Windenergiepotentials vorangetrieben werden. Eine amerikanische Firma soll in einem Joint-venture mit einem lokalen Unternehmen einen Vorvertrag über die Errichtung eines WKA-Parkes auf der Krim von 500 MW abgeschlossen haben.

In der Schweiz liegt die breite kommerzielle Einführung noch in unbestimmter Ferne. Kraftwerke wie jene auf dem Schaber oder dem Sool sind relativ kleine Einzelanlagen, die zudem nicht an den besten Standorten stehen. Sie wurden von «Idealisten» initiiert und finanziert, die bereit waren, Stromgestehungskosten weit ausserhalb der Wirtschaftlichkeit in Kauf zu nehmen. Anderen (Versuchs-)Anlagen war zum Teil nur eine kurze Lebensdauer beschieden. Das einzige grössere Projekt wird gegenwärtig von der NOK auf dem Fläscherberg im sanktgallischen Rheintal geplant. Drei verschiedene Typen von Windturbinen mit einer Gesamtleistung von gut 540 kW sollen hier als Versuchsanlage aufgestellt werden. Aufgrund der Grösse der Anlage und der lokalen Windverhältnisse sollte mit tieferen Stromgestehungskosten gerechnet werden können. Hier macht der zukünftigen Betreiberin unter anderem das langwierige Bewilligungsverfahren zu schaffen («NZZ», 29.4.1992). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass einerseits in der Schweiz die windgünstigen Standorte aus der Sicht des Strassen- und Stromnetzes häufig schlecht erschlossen sind. Andererseits lässt sich die Lage mit «fehlender Initiative», «fehlender Wirtschaftlichkeit» und «kompliziertes Bewilligungsverfahren» umschreiben. Wie diese drei Hemmnisse im Ausland überwunden wurden, sollen folgende Beispiele zeigen.

Nachdem Kalifornien anfangs der 80er Jahre Steuervergünstigungen für Investitionen in WKA einführte, wurden innerhalb von sechs Jahren 1800 MW zugebaut [5]. Diese Entwicklung wurde durch den «Public Utilities Regulatory Policy Act» (PURPA) erleichtert. Er schrieb den Elektrizitätswerken vor, ihre Stromnetze den privaten Produzenten zu öffnen und den erneuerbaren Strom zu sehr vorteilhaften Tarifen abzukaufen.

In Dänemark konnten direkte Förderbeiträge dank der wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit der Windenergie 1990 gestoppt werden. Heute wird nur noch die allgemeine Energieabgabe von rund 0,07 Fr./kWh den privaten Produzenten mit gut 0,05 Fr./kWh teilweise wieder rückerstattet. Die Höhe dieser Rückerstattung entspricht in etwa den vermiedenen externen Kosten, welche durch ein fossil-thermisches Kraftwerk entstanden wären. In Dänemark übernimmt der Staat zudem 30% der Kosten für den Netzanschluss. Deutsche Produzenten erhalten wahlweise einen Investitionsförderbeitrag oder einen Beitrag von knapp 6 Rappen für jede Kilowattstunde, die ins Netz eingespeist wird.

Lärmquelle	Lärmpegel dB(A)
fallendes Blatt	10
Flüstern	20
Windkraftanlage	45
Bürogeräusche	60
Geräusche im Auto	80
Stereoanlage	90
Industrielärm	100
startendes Flugzeug	140
Quelle: [5, 10]	

Tabelle 4 Lärmpegel einer Auswahl von Geräuschen

In Europa geht die Tendenz in Richtung Beitragszahlungen für die ins Netz eingespeiste Energie. Diese finanzielle Unterstützung kann gut als Anrechnung für vermiedene gesellschaftliche Kosten begründet werden. Im Gegensatz zu Investitionsförderbeiträgen und Steuerermässigungen werden damit Missbräuche und Fehlinvestitionen auf der Produzentenseite – wie sie in den frühen Jahren in Kalifornien beklagt wurden – vermieden. Hingegen wird der Einstieg in die Windenergie unter anderem für weniger finanzkräftige private Produzenten erschwert.

Für die Schweiz wäre neben der finanziellen Förderung der Windenergie auch eine dem PURPA vergleichbare Legislation hilfreich. Das aus dem PURPA entstandene «Least Cost Planning» bzw. «Integrated Resource Planning» würde – bei Berücksichtigung der externen Kosten – der Erschliessung des schweizerischen Windkraftpotentials sicherlich Vorschub leisten.

Nicht zu unterschätzen ist die Wirkung von hochgesteckten energiepolitischen Zielen der Regierung. Dies gilt unter anderem dann, wenn sie mit entsprechenden Begleitmassnahmen einhergehen, wie dies in Holland und Dänemark der Fall ist. Summarische Zielsetzungen wie in «Energie 2000» des Bundes genügen nicht. Hemmnisse müssen gezielter angegangen werden und dazu gehört eine Überarbeitung der Bewilligungspraxis. Wo angebracht, müsste diese vereinfacht werden.

Am wirkungsvollsten – und noch in keinem Land realisiert – wäre wohl die Internalisierung der externen Kosten. Die Wirtschaftlichkeit der modernen WKA wäre so an vielen Standorten gegeben. Will man die Diskussion um die genaue Höhe der externen Kosten umgehen, kann dieselbe Wirkung auch mit der Einführung von Lenkungsabgaben, eventuell im Rahmen einer allgemeinen Steuerreform, erzielt werden. Bei diesem Vorgehen wären die erneuerbaren Energien (anfänglich) von der Abgabe zu befreien.

Niemand braucht jedoch zu warten, bis die äusseren Rahmenbedingungen endlich stimmen. Wie eingangs erwähnt, ist Privatinitiative gefragt. Bereits heute können interessierte Personen mit dem Zeichnen eines Energiewindscheins bei der ADEV einen Beitrag zur Erschliessung des schweizerischen Windenergiepotentials leisten und so gleichzeitig den eigenen Windstrom produzieren.

## Literatur

- [1] Von Weizsäcker u.a.: «Ökologische Steuerreform». Verlag Rüegger, 1992.
- [2] Meier und Walter: «Umweltabgaben für die Schweiz», Verlag Rüegger, 1990.
- [3] Fisher u.a.: «Options for reducing greenhouse gas emissions». The Stockholm Environment Institute, 1990 (Entwurf).
- [4] «Erneuerbare Energien», Band 3 der Studienreihe Energie und Klima, Enquetekommission «Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre» des Deutschen Bundestages, Economica Verlag, 1990.
- [5] «Wind Energy in Europe». European Wind Energy Association (EWEA), Rom 1991.
- [6] Hepp u.a.: «Windenergie». EGES-Schriftenreihe, Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), 1987.
- [7] «Windenergienutzung im Kanton Bern». Schlussbericht, Meteotest, Herausgeber: Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern, 1990.
- [8] O. Hohmeyer: «Social Costs of Energy Consumption». Springer Verlag, Berlin 1988, zitiert in «Wind Energy in Europe», European Wind Energy Association (EWEA), Rom 1991.
- [9] A. J. M. van Wijk: «Wind Energy and Electricity Production». Doktorarbeit Universität Utrecht, 1990, zitiert in «Wind Energy in Europe», European Wind Energy Association (EWEA), Rom 1991.
- [10] «Meteonorm-Wind», Meteotest, Herausgeber: Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), Bezug: Infosolar Brugg, 1990.
- [11] «Beyond the petroleum age: designing a solar economy». Worldwatch paper 100, Worldwatch Institute, Washington, USA 1990.
- [12] N. Martins: «Im Aufwind», Geo Nr. 3, März 1993.

## L'énergie éolienne en Suisse

Située sur le Schaber, la première installation éolienne du canton de Berne entrera en exploitation en mai 1993. Le prix du kilowattheure devrait varier entre 70 et 80 centimes. Il est comparable à ceux d'autres installations éoliennes de Suisse telles que celle d'une puissance de 28 kW située sur le Sool ou celle d'une puissance de 30 kW qui se trouve sur le Simplon. L'énergie éolienne est certes moins coûteuse que l'électricité d'origine solaire, néanmoins elle ne peut pas concurrencer, et ceci à long terme, l'électricité produite de manière conventionnelle. Il n'en est toutefois pas de même dans tous les pays.