



Georg Groß
Martin
Weinschenk

TG 13 / 2001
BSZ Leonberg

Inhaltsverzeichnis

Windkraft

| | |
|---|-----------|
| 1. Geschichte | 2 |
| 2. Technik | 3 |
| 2.1. Savonius Rotor | 3 |
| 2.2. Darrieus Rotor | 4 |
| 2.3. Propeller Rotor (Dänisches Konzept) | 4 |
| 3. Aufbau einer konventionellen WKA | 4 |
| 3.1. Rotor | 4 |
| 3.2. Getriebe | 5 |
| 3.3. Generator | 6 |
| 3.4. Netzanbindung | 6 |
| 3.4.1. Das Netzanbindungssystem der Enercon E-40 | 7 |
| 3.5. Sicherheitssystem | 7 |
| 3.5.1. Schutz vor überhöhter Geschwindigkeit (Bremsystem) | 7 |
| 3.5.1.1. Aerodynamisches Bremsystem | 7 |
| 3.5.1.2. Mechanisches Bremsystem | 8 |
| 3.5.2. Blitzschutz | 8 |
| 3.5.3. Sensoren | 8 |
| 3.6. Steuerung | 9 |
| 3.6.1. Leistungsregulierung durch Pitch Regelung | 9 |
| 3.6.2. Leistungsregelung durch Stall Regelung | 9 |
| 3.6.3. Windnachführung | 9 |
| 3.6.4. Steuerung der Enercon E-40 | 10 |
| 4. Beispiel WKA Grüner Heiner | 10 |
| 5. Wo und in welchem Maße werden WKAs eingesetzt | 12 |
| 5.1. Potentiale | 12 |
| 5.2. Standorte | 12 |
| 6. Kosten | 13 |

1 GESCHICHTE DER WINDENERGIE

Wind ist eine der ältesten Energieformen die wir kennen. Schon seit 4000 Jahren nutzten die Menschen den Wind um Maschinen anzutreiben, z.B. Windmühlen, Segelschiffe, usw..

Im Mittelalter war die Windnutzung, neben den Wassermühlen, die wichtigste Energiequelle. Sie diente vor allem der Müllerei, dem Sägewerk und dem Transport des Wassers. Bis Mitte des letzten Jahrhunderts wuchs die Bedeutung der Windmühlen. Mit der Erfindung und dem Einsatz der Dampfmaschinen begann jedoch das „Aussterben“ der Windmühlen.

Erst in den 70er und 80er Jahren gewann die Windenergie, bedingt durch mehrere Krisen (Ölkrise & Kernenergiekrise) wieder an Attraktivität.

Deshalb wurde 1980 ein Projekt mit dem Namen Growian (Groß Wind Anlage) ins Leben gerufen. Es war eine 3MW Anlage, die in Kaiser-Wilhelm-Koog errichtet wurde. Diese Anlage stand jedoch 99% der Zeit still und mußte schließlich nach zahlreichen technischen Defekten 1988 abgerissen werden.

Growian kostete die Steuerzahler 87,2 Mio. DM und brachte keine wesentlichen Fortschritte in der Windkraftforschung. Die Nachfrage nach Windkraft war damals in Deutschland noch sehr gering.

Ganz anders jedoch in den USA. Als dort 1978 ein Gesetz zur Förderung von Windkraftanlagen in Kraft trat, kam es zu einem Windkraftboom, der auch als „Kalifornischer Windrausch“ bezeichnet wurde. In den folgenden Jahren wurden allein in Kalifornien rund 15.000 Anlagen aufgestellt.



Es war inzwischen möglich, Anlagen mit immer größerer Leistung zu produzieren. Vestas stellte 1990 die erste 500KW Anlage vor, die dann auch in Serie hergestellt wurde. Während in den USA und auch in Dänemark die Windkraft boomte, existierten in Deutschland vor allem 2 Hindernisse für eine privatwirtschaftliche Nutzung der Windenergie.

→ Heftige Auseinandersetzungen mit Behörden zur Erteilung der Baugenehmigung (Windkraftanlagen waren nicht im Baugesetz vorgesehen).

→ Streit mit den EVU über eine entsprechende Vergütung des eingespeisten Stroms.

In den folgenden Jahren wurden diese Probleme jedoch durch entsprechende Verordnungen gelöst.

1994 wurden bereits 4% des schleswig-holsteinischen Strombedarfes über die Windkraft abgedeckt. Damit begann auch in Deutschland der Boom der Windenergie.

1999 wurden in Deutschland 1.496 Windkraftanlagen mit einer Leistung von 1.668 MW neu ans Netz angeschlossen. Dies bedeutete eine Steigerung um rund 100MW gegenüber dem Vorjahr.

In einem normalen Windjahr können die insgesamt 9.375 Maschinen in Deutschland etwa 11.5 Milliarden Kilowattstunden Strom erzeugen. Damit lassen sich ca. 2,5 % des heimischen Strombedarfes decken. Deutschland ist damit der unumstrittene „Windweltmeister“. Danach folgen in großem Abstand die USA mit rund 2500 MW vor Spanien und Dänemark.

Dies bedeutet, daß bei gleichbleibender Dynamik des Windkraftausbaues bis zum Jahr 2005 ca. 20 Mio. Tonnen Kohlendioxid (CO₂) allein durch die Nutzung des Windes eingespart werden könnten.

2 TECHNIK

Mit Hilfe von Windkraftanlagen kann die in den stömenden Luftmassen vorhandene kinetische Energie in elektrische Energie umgewandelt werden. Dabei lassen sich Windkraftanlagen vor allem durch folgende Merkmale klassifizieren.

- Die Stellung der Rotorachse (horizontal, vertikal)
- Die Anzahl der Rotorblätter
- Die Möglichkeit der Leistungsregulierung (Stall oder Pitch)
- Die Art des Generators (Synchron-, Asynchrongenerator)
- Die Art der Netzkoppelung (direkt oder indirekt)

2.1 SAVONIUS Rotor

Einer der einfachsten Windgeneratoren ist der Savonius Rotor. Er wurde im 19. Jahrhundert entwickelt und wird auch heute noch in Asien und Afrika von Bauern genutzt, um Wasser zu pumpen und das Land zu bewässern. Auch bei uns kommt er zum Einsatz und zwar zur Belüftung von Schiffen oder Lieferwagen. Er steht auf einer vertikalen Achse und ist aus zwei halben Schalen gebaut. Es ist eine sehr einfache Konstruktion, die mit einfachsten Mitteln gebaut, unterhalten und repariert werden kann. In Afrika und in Asien werden häufig zwei Hälften eines alten Ölfasses verwendet. Diese WKA's haben den Vorteil, daß man sie nicht nach dem Wind ausrichten muß und sie trotzdem schon bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten anlaufen. Mit einem Wirkungsgrad von nur 23% ist der Savonius Rotor allerdings für die Erzeugung von elektrischer Energie ungeeignet.

2.2 DARRIEUS Rotor



Dieses Rotorprinzip wurde 1931 vom Franzosen Darrieus zu Patent angemeldet. Auch der Darrieus Rotor steht auf einer vertikalen Achse und auch diese WKA muß nicht nach dem Wind ausgerichtet werden. Sie hat jedoch den Nachteil, daß sie erst mittels eines Elektromotors in Gang gebracht werden muß, bevor sie dann vom Wind weiter angetrieben werden kann. Ein Vorteil besteht darin, daß der schwere Generator auf dem Boden stehen kann.

Der Darrieus Rotor ist optimal für Gegenden mit schnell wechselnde Windrichtungen, erreicht aber nur 75% des Wirkungsgrades eines Propellerrotors.

2.3 PROPELLER Rotor

Dieser Rotortyp besteht aus zwei bis drei senkrecht umlaufenden Rotorblättern. Nach derzeitigem Stand der Technik und Betrachtung der Konzeptionsmöglichkeiten, hat sich dieser Rotor als die beste Lösung herausgestellt.

Diese Anlage besteht aus folgenden Komponenten: Rotor, ggf. Getriebe, Generator und Turm.

Da diese WKA die am häufigsten verbreitete Anlage ist, wollen wir im Folgenden genauer auf den Aufbau und die Steuerung einer solchen Anlage eingehen.

Dazu haben wir zwei interessante Anlagen ausgewählt. (SÜDWIND S-70 (1.5MW) und ENERCON E-40 (600KW))



3 AUFBAU EINER KONVENTIONELLEN WKA (Propellerrotor WKA)

3.1 ROTOR

Der Rotor besteht aus den Flügeln und der Nabe.

Die Ausmaße des Rotors und die Drehzahl hängt von der Leistung einer WKA ab. Bei der E-40 liegt der Rotordurchmesser bei 40 m, bei der S-70 bei 70 m.

Die größten z.Z. auf dem Markt befindlichen Anlagen (z.B. Nordex N-80) haben sogar Rotordurchmesser bis zu 80 m. Diese sind zugleich mit ihren 2.5MW die stärksten, in Serie gefertigten Anlagen.

Die E-40 und die S-70 haben beide jeweils drei Rotorblätter. Es gibt jedoch auch Anlagen mit nur 2 Blättern (z.B. Nordwind NW 44-750 VD).

Bei fast allen modernen Anlagen werden die Rotorblätter über ein elektronisches Stellsystem (Pitchregelung) in den richtigen Winkel zum Wind gestellt. Hierbei drehen sich die Blätter um ihre eigene Achse. Dadurch wird ein bestmöglicher Energieertrag, bei gleichzeitiger geringer Geräuschemission erzielt.

Die Rotorblätter sind meistens aus GFK (Epoxidharz) gefertigt und für hohe Wechselbelastungen ausgelegt. Beim Herstellen wird in jedes Blatt ein Blitzableitersystem integriert.

Ein Rotorblatt ist, bedingt durch die Windlast und sein Eigengewicht, jeden Tag bis zu 57.000 Lastwechsel ausgesetzt. Für eine durchschnittliche Lebensdauer von etwa 20 Jahren müssen also $2\text{-}5 \times 10^8$ Lastwechsel berücksichtigt werden.

Die Rotornabe bildet die Schnittstelle des Rotors zum Antriebsstrang. An die Rotornabe werden die Blattlager der Rotorblätter angeschraubt, außerdem enthält sie die Blattverstellantriebe und die dazugehörige Steuerung. Die komplette Nabe ist nach dem Prinzip des Faradayschen Käfig rundum geschirmt, wodurch die darin installierten elektronischen Komponenten geschützt sind.

3.2 GETRIEBE

Die Leistung aus der Drehbewegung des Rotors wird über die Antriebswelle an das Getriebe und von dort zum Generator geführt.

Aber warum brauchen man ein Getriebe? Kann man den Generator nicht direkt über die Antriebswelle antreiben?

Bei einem normalen Generator, der direkt an das Netz mit 50 Hz Wechselstrom angeschlossen ist, braucht man eine Drehzahl zwischen 1000 und 3000 Umdrehungen pro Minute. Bei einem Rotordurchmesser von 43m würde das eine Blattspitzengeschwindigkeit von mehrfacher Schallgeschwindigkeit bedeuten...

Um dieses Problem zu lösen, ist ein Getriebe notwendig, damit die niedrigen Drehzahlen des Rotors (10-50 U/min) in die für den Generator erforderlichen Drehzahlen umgewandelt werden können.

Das Getriebe ist mit bis zu 18t eines der schwersten Teile der WKA. Meistens kommt ein kombiniertes Planeten- / Stirnradgetriebe zum Einsatz.

Die Übersetzung hängt vom Anlagentyp ab, liegt aber im Mittel zwischen 1:50 und 1:100. Um den Wirkungsgrad so hoch wie möglich zu halten, ist die Antriebswelle in den meisten Fällen über ein Zylinder- oder Pendelrollenlager gelagert.



Teilweise sind auch schon getriebelose Anlagen auf dem Markt. Diese besitzen einen speziellen Generator, der auch bei den niedrigen Drehzahlen des Rotors, seine volle Leistung abgibt.

Getriebelose Anlagen haben gegenüber Anlagen mit Getriebe folgende Vorteile:

→ Gewichtsreduzierung

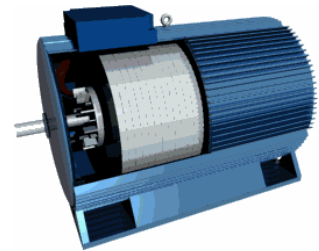
→ Es wird kein Getriebeöl benötigt (bei der S-70 immerhin 300 Liter).

Bisher stellt nur der Hersteller Enercon Anlagen ohne Getriebe her.

3.3 GENERATOR

Der Generator wandelt die kinetische Energie des Rotors in elektrische Energie um.

Es gibt ihn entweder in asynchroner oder synchroner Bauweise. Beide bestehen aus einem Stator sowie aus einem Läufer (Anker), der sich auf einer drehbaren Welle befindet. Der Aufbau des Magnetfeldes (die Erregung) erfolgt beim Synchrongenerator durch eine Gleichstromzuführung auf die Schleifringe des Läufers und bei asynchron Generator über eine im Läufer befindliche Wicklung, die kurzgeschlossen wird. Beim Anschluß an ein Drehstromnetz wird nun wie bei einem Transformator eine Spannung induziert.



Die Windkraftanlage E-40 von Enercon besitzt einen synchronen Ringgenerator. Der Generatorläufer ist hier direkt mit der Rotornabe verbunden.

Der E-40 Generator liefert bereits bei einer Drehzahl von 38 U/min seine Nennleistung von 500 bzw. 600 KW/h. Er hat einen Wirkungsgrad von 94%.

Die S-70 von Südwind hat einen asynchronen Generator. Dieser wird über das Getriebe angetrieben und besitzt eine Nennleistung von 1.5 KW/h und einen Wirkungsgrad von 95%.

Die momentane Leistungsgrenze bei WKAs liegt bei 2.5MW

3.4 NETZANBINDUNG

Das Netzanbindungssystem wandelt den vom Generator erzeugten Strom in einspeisefähigen Wechselstrom um und liefert ihn über einen Transformator an das angeschlossene Netz.

Die Netzanbindung erfolgt durch direkte oder indirekte Netzkopplung. Im ersten Fall ist der Generator direkt mit dem Stromnetz verbunden, somit ist eine nahezu konstante Drehzahl entsprechend der Netzfrequenz erforderlich. Dadurch entstehen hohe dynamische Belastungen in der Antriebswelle der Anlage.

Bei indirekter Netzkopplung hingegen erfolgt die Anbindung über einen zwischengeschalteten Gleichstromkreis. Der durch die Anlage erzeugte Wechselstrom, mit wechselnder Frequenz, wird so zunächst in Gleichstrom und anschließend wieder in Wechselstrom, mit der notwendigen Frequenz und Spannung, umgewandelt. Dadurch ist ein drehzahlvariabler Betrieb der WKA möglich und die dynamischen Belastungen werden minimiert.

3.4.1 Das Netzanbindungssystem der Enercon E-40

Die Form des eingespeisten Stromes ist sinusförmig. Der gewünschte Strom wird nach einem Sollwert künstlich von einer Mikro- und Leistungselektronik generiert. Dieser Sollwert wird mit dem tatsächlich gerade fließenden Strom (Istwert) alle 100µs verglichen und bei einer Abweichung korrigiert.

Der erlaubte Arbeitsbereich für den Netzbetrieb ist durch die minimale und maximale Netzspannung vom jeweiligen EVU begrenzt. Die E-40 schaltet sich sofort vom Netz, wenn diese Grenzwerte nicht eingehalten werden können.

Die Netzspannung wird kontinuierlich gemessen und überwacht. Wenn die Spannung z.B. durch fehlende Verbraucher in der Nacht ansteigt, wird die von der E-40 eingespeiste Leistung sofort reduziert, d.h. die eingespeiste Leistung wird in Abhängigkeit der Aufnahmefähigkeit des jeweiligen Netzes geregelt.

Der Phasenwinkel zwischen Netzspannung und Strom bleibt über den gesamten Leistungsbereich von 0 kW bis Nennleistung konstant. Es wird nur Wirkleistung ins Netz eingespeist.

3.5 SICHERHEITSSYSTEM

Die Komponenten einer Windkraftanlage sind für eine Lebensdauer von 20 Jahren ausgelegt. Das bedeutet, dass sie mehr als 120.000 Betriebsstunden im Einsatz sind, oft unter stürmischen Bedingungen. Im Vergleich dazu läuft ein Automotor im Laufe seines Lebens nur rund 5000 Stunden. Große Windkraftanlagen sind mit zahlreichen Sicherheitsvorkehrungen ausgestattet, um einen sicheren Betrieb während der gesamten Lebensdauer zu gewährleisten.

3.5.1 Schutz vor überhöhter Geschwindigkeit (Bremsystem)

3.5.1.1 Aerodynamisches Bremsystem

Es ist wichtig, daß Windkraftanlagen im Falle einer Störung kritischer Komponenten automatisch angehalten werden können. Wenn beispielsweise der Generator überhitzt oder vom elektrischen Netz abgetrennt ist, wird der Rotor in seiner Drehbewegung nicht mehr gebremst und daher innerhalb von Sekunden stark beschleunigt. In einem solchen Fall ist es notwendig, einen Drehzahl-Überschreitungsschutz zu haben.

Nach dem Gesetz müssen alle Anlagen mit zwei unabhängigen, ausfallsicheren Bremsmechanismen ausgestattet sein.

Das Hauptbremssystem ist bei den meisten modernen Windkraftanlagen ein aerodynamisches Bremssystem. Es beruht darauf, daß die Rotorblätter um 90° um ihre Längsachse gedreht werden. Diese Art Bremssystem bremst die Anlage sanft ab, ohne große Belastungen oder Verschleiß an Turm und Maschinen hervorzurufen.

Die Erfahrung hat gezeigt das aerodynamische Bremssysteme extrem sicher sind. Sie stoppen den Rotor innerhalb weniger Umdrehungen.

Bei der E-40 hat jedes Rotorblatt einen eigenen, unabhängigen Blattverstellantrieb, der es innerhalb von wenigen Sekunden in Fahnenstellung bringt. Jedes Blatt verfügt zusätzlich über eine eigene Notstromversorgung, die das Rotorblatt selbst bei einem totalen Netzausfall sicher aus dem Wind dreht.

3.5.1.2 Mechanisches Bremssystem

Die mechanische Bremse ist in den meisten Fällen als Scheibenbremse ausgeführt und dient als Notfallsystem für das aerodynamische Bremssystem und als Feststellbremse, wenn die Anlage bereits gestoppt ist oder bei Wartungsarbeiten.



Der Rotor kann, wenn er „aerodynamisch“ gebremst ist (Blätter sind aus dem Wind gedreht), immer noch ein wenig hin und her taumeln. Wenn der Rotor völlig still stehen muß z.B. bei Wartungsarbeiten, werden die mechanischen Feststellbremsen aktiviert.

3.5.2 Blitzschutz

Da eine Windkraftanlage meistens den höchsten Punkt in der Landschaft darstellt, ist ein sicheres Blitzschutzsystem zwingend notwendig.

Da die Rotorblätter aus GFK bestehen und somit elektrisch isolierend wirken, ist an jeder Blattspitze ein Metall-Formteil (meistens Aluminium) angebracht. Über einen Blitzableiter wird dann der Blitz über die Gondel ins Fundament abgeleitet.

Die Elektronik ist in Metallgehäusen untergebracht und somit gegen elektrische Felder und Blitzeinschläge geschützt.

3.5.3 Sensoren

Alle sicherheitsbezogene Funktionen werden sowohl von elektronischen als auch von mechanischen Sensoren überwacht (z.B. Temperatur, Öldruck, Drehzahl, Spannung Strom, Leistung, Hydraulikdruck, Windgeschwindigkeit, usw.). Sollte einer der Sensoren einen schwerwiegenden Fehler feststellen, schaltet sich die Anlage sofort ab.

3.6 STEUERUNG

Das Steuerungssystem besteht bei den modernen Anlagen aus einem Mikroprozessorsystem, das sowohl die Sensoren der Anlagenkomponenten, als auch Daten der Windrichtung und -geschwindigkeit abfragt und die Betriebsweise entsprechend den Windverhältnissen anpaßt.

Dies geschieht über die Optimierung der Drehzahl des Rotors, des Blattwinkels, der Windnachführung der Gondel und der Leistungsabgabe des Generators.



Die Anlagen verfügen in der Regel auch über ein Modem und eine DFÜ (Daten Fern Übertragung) Software. Dadurch ist es möglich, alle Betriebsdaten über Telefonanschluß am heimischen PC abzufragen.

Damit die Anlage immer die optimale Leistung abgeben kann, ist es wichtig, die Anlage den aktuellen Windbedingungen „anzupassen“. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten.

3.6.1 Leistungsregulierung durch Pitchregelung

Hier werden die Rotorblätter um ihre eigene Achse gedreht. Damit wird erreicht, daß die anströmende Luft in einem optimalen Winkel auf die Rotorblätter trifft. Somit lässt sich die Drehzahl der Anlage und die Leistungsabgabe regeln.

3.6.2 Leistungsregulierung durch Stallregelung

Bei der Stallregelung sind die Rotorblätter starr an der Rotornabe montiert. Das Rotorblattprofil ist jedoch so ausgelegt, das es ab einer gewissen Windgeschwindigkeit einen Strömungsabriss und somit eine Verwirbelung der Luft gibt. Dies führt dazu, daß die Rotordrehzahl sinkt. Der Nachteil der Stallregelung ist, dass sie nicht dynamisch ist und deshalb die Rotorblätter der Anlage nur bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit optimal arbeiten.

3.6.3 Windnachführung

Die Windnachführung bewirkt, daß die Gondel immer im optimalen Winkel zum Wind steht. Hierbei wird mit Hilfe eines Windsensors die aktuelle Windrichtung gemessen und bei Bedarf die Anlage neu ausgerichtet. Über Elektromotoren wird die Gondel exakt in die Windrichtung ausgerichtet.

Wie eine solche Steuerung in der Praxis aussieht, wollen wir anhand der Windkraftanlage E-40 von Enercon erläutern.

3.6.4 Steuerung der Enercon E-40

An der Windfahne in Nabenhöhe wird kontinuierlich die Windrichtung gemessen. Ist die mittlere Abweichung der Rotorachsenrichtung zur gemessenen Windrichtung im 1-Minuten-Mittel größer als 10° , so wird die Gondel über zwei Stellantriebe neu ausgerichtet.

Wird in einem 3-minütigen Intervall eine für den Betrieb der Anlage ausreichende Windgeschwindigkeit gemessen, wird der automatische Anlaufvorgang gestartet. Dazu wird die Gondel quer zur Windrichtung ausgerichtet und eine 1-minütige Kontrollmessung der Sensoren durchgeführt. Anschließend wird die Gondel in Windrichtung ausgerichtet und die Rotorblätter in Betriebsposition gestellt. Dazu werden kurzzeitig ca. 3 kW Leistung aufgenommen.

4 BEISPIEL WKA "GRÜNER HEINER"

Wir möchten nun auf ein konkretes Beispiel der Windkraftnutzung eingehen. Dazu haben wir die Windkraftanlage auf dem „Grünen Heiner“, einem 395 Meter hohen künstlich angelegten Berg am Stadtrand von Stuttgart ausgewählt.

Bereits von 1982 bis 1984 führte das Amt für Umweltschutz am Grünen Heiner Windmessungen durch. Wegen mangelndem öffentlichen Interesse ist es damals nicht gelungen, auf diesem Platz eine WKA zu errichten.

Erst 1994 machte der Verein Umweltfreundliche Energien Mittlerer Neckar e.V. (UMEN) einen erneuten Vorstoß. Daraufhin wurde im September 1994 eine Bauanfrage an die Stadt Stuttgart gestellt. Nach Einwänden der Stadt Korntal-Münchingen wurde jedoch erst zwei-einhalb Jahre später grünes Licht für das Bauvorhaben gegeben (Februar 1997).

Mit der Aufstellung der Anlage wurde dann schließlich Ende Februar 2000 begonnen.

Bei der Anlage auf dem Grünen Heiner handelt es sich um den Anlagentyp E-40 der Firma Enercon. Die Windkraftanlage mit Dreiblattrotor, aktiver Blattverstellung (Pitchregelung) und direkt-angetriebenen Generator hat eine Nennleistung von 500 kW.



Die wichtigsten Daten:



| | |
|------------------------------|----------|
| Nennleistung: | 500kW |
| Rotordurchmesser | 40m |
| Nabenhöhe | 43m |
| Blattzahl | 3 |
| Einschaltwindgeschwindigkeit | 2,5 m/s |
| Nenngeschwindigkeit: | 13,0 m/s |
| Überlebensgeschwindigkeit | 56,0 m/s |

Die Anlage bringt eine Jahresleistung von 880.000 kW und kann damit bis zu 300 sparsame Haushalte versorgen.

Dadurch werden pro Jahr
950 kg Stickoxide und
690 kg Schwefeldioxid eingespart.

Seit nunmehr elf Monaten speist sie Strom in das Netz der Neckarwerke Stuttgart ein und hat sich bereits „energetisch amortisiert“.

Das bedeutet, daß das Windrad in seinen elf Betriebsmonaten soviel Energie erzeugt hat, wie zu seiner Herstellung, zum Transport und zur Aufstellung aufgewendet werden mußten. Das waren etwa 380.000 kW/h.

Bis Weihnachten 2000 hatte die Anlage ca. 400.000 kW „grüne Energie“ produziert.



WKA „Grüner Heiner“

5 WO UND IN WELCHEM MAßE WERDEN WKAs EINGESETZT?

5.1 Welche Potentiale kann man noch ausschöpfen

Wind gibt es in Hülle und Fülle, er wird uns niemals ausgehen.

Schätzungen über das Ertragspotential von Windkraftanlagen gehen jedoch weit auseinander. Die RWE-Tochter Lahmeyer International geht von maximal 59 Milliarden Kilowattstunden pro Jahr aus, das Bundeswirtschaftsministerium hingegen von 283 Milliarden kW/h.

Das Ertragspotential hängt aber nicht nur von der maximal möglichen Anzahl an freien „Windkraftanlagen-Bauplätzen“ ab, sondern man muss auch berücksichtigen, dass die Entwicklung im Bereich Windenergie weitergeht.

Eine typische Windkraftanlage von 1980 hatte einen Generator mit 26 kW und einen Rotordurchmesser von 10,5 m. Eine moderne Anlage hat einen Rotordurchmesser von 54 m und einen 1000 kW-Generator. Die neuste Anlage hat einen Rotordurchmesser von 80 m und eine Leistung von 2,5 MW.

Doch selbst bis heute sind noch lange nicht alle technischen Möglichkeiten der Windkraftnutzung ausgereizt, so dass in Zukunft eine noch höhere Energieausbeute möglich ist.

Aufgrund neuer Erkenntnisse in den Bereichen Aerodynamik, Strukturmechanik und Mikrometeorologie konnte bisher eine Steigerung des Energieträgers pro Quadratmeter Rotorfläche von jährlich 5% erzielt werden.

Prof. Dr. Ing. Heinz Gerhäuser, Leiter des Fraunhofer-Instituts für integrierte Schaltungen, sagte dazu: „Wäre die Entwicklung der Mittelklasse-Automobile seit 1980 mit einer ähnlichen Dynamik verlaufen, würde ein Auto heute nur noch 5 kg wiegen, DM 5 kosten, eine Spitzengeschwindigkeit von 5000 km/h erreichen und auf 5000 km einen Liter Benzin verbrauchen.“

Weltweit wurden bisher 18.000 MW installiert. Die gleiche Leistung war im Jahr 1970 in Form von Atomenergie verfügbar.

Nach Schätzungen von Experten könnten bis zum Jahr 2010 in der EU bereits 60.000 MW Strom mit Hilfe von Windenergie erzeugt werden.

5.2 Standorte

Die wichtigsten Kriterien für den Standort einer WKA sind, wie sollte es anders sein, die Windbedingungen. Deshalb werden Gebiete mit einer möglichst geringen Oberflächenrauigkeit bevorzugt. Hierbei bieten sich vor allem die Küstenregionen an, da es hier nur wenig „Hindernisse“ gibt, die den Wind abbremsen könnten.

Inzwischen werden WKAs sogar im offenen Meer gebaut, da hier fast immer optimale Bedingungen herrschen. Solche Anlagen nennt man „Offshore-WKAs“

Aber auch im Binnenland gibt es Standorte für WKAs. Hierbei bieten sich vor allem freiliegende Höhenlagen und Hügel an.

Außerdem ist es wichtig, dass die WKA in der Nähe einer 10-30 kV-Leitung bzw. eines Umspannwerkes ist, da sonst noch erhebliche Kosten für die Anbindung an das öffentliche Netz anfallen.

6 Kosten

Die Kosten von Windkraftanlagen setzen sich aus vielen Komponenten zusammen. Zum einen gibt es reinen Anlagenkosten, die jedoch nicht proportional zur Anlagengröße steigen. Eine 2,5 MW Anlage kostet nicht doppelt soviel wie eine 1,3 MW Anlage. Der Grund hierfür ist, daß die Zahl der notwendigen Arbeitsstunden bei der Produktion einer 1,3 MW Anlage nicht viel geringer sind, als bei einer 2,5 MW Anlage. Die eingebaute Elektronik ist bei beiden ungefähr gleich.

Zu den reinen Anlagenkosten kommen noch die Installations- und Netzanbindungskosten. Wobei sich diese Kosten von Standort zu Standort ändern. Deswegen ist es günstig, die WKA direkt neben einem Umspannwerk bzw. einer Hochspannungsleitung zu bauen.

Zusätzlich zu den „Grundkosten“ kommen noch jährliche Wartungskosten, die sich je nach Anlagentyp unterscheiden.

Beispiele:

Nordex N-62 (1,3 MW)

Anlagen- und Installationskosten: 2.170.000 DM
Jährliche Wartungskosten: 13.000 DM

Nordex N-80 (2,5 MW)

Anlagen- und Installationskosten: 3.750.000 DM
Jährliche Wartungskosten: 20.000 DM