

LORENZ JARASS

Marktdurchsetzung von Windenergie in Norddeutschland: Standorte und Einspeisepreise

Kurzfassung

Bei den guten Windverhältnissen in Norddeutschland ist die Marktdurchsetzung von Windenergie im wesentlichen von der Verfügbarkeit von Standorten ("technisches Potential") sowie der Höhe der bezahlten Einspeisepreise ("wirtschaftliches Potential") abhängig.

Die vorliegenden Windmessungen zeigen, daß jedenfalls im langjährigen Durchschnitt Hauptwindrichtungen nicht so stark ausgeprägt sind, daß eine Konzentration der Windkraftanlagen senkrecht zur Hauptwindrichtung und damit eine bessere Ausnutzung der Standorte möglich ist. Erste Messungen in norddeutschen Windparks zeigen, daß beim üblichen Anlagenabstand von zehn Rotordurchmessern eine abschattungsbedingte Verminderung der Windstromproduktion von über 10 % zu erwarten ist.

Erste systematische Abschätzungen ergeben ein Standortpotential für 30 000 bis 60 000 Anlagen der derzeit gebauten Standardklasse mit 25 m Rotordurchmesser und 250 kW installierter Leistung. Eine vollständige Ausschöpfung dieses Potentials bedeutet eine Windstromproduktion von 10 bis 20 TWh_e, also 15 % bis 30 % des derzeitigen Stromverbrauchs in Norddeutschland.

An besonders windgünstigen Standorten sind Windkraftanlagen bereits heute einzelwirtschaftlich konkurrenzfähig mit Produktionskosten von rund 0,25 DM/kWh_e. Die derzeit für Windstrom bezahlten Einspeisepreise von 0,10 DM/kWh_e entsprechen nur etwa der Hälfte der Stromkosten in neuen Kern- oder Kohlekraftwerken.

Die Bundesregierung gewährt derzeit im Rahmen des "100-MW-Windprogramms" einen Zuschuß von 0,08 kWh_e Windstrom, der als Vergütung für seine geringeren Umweltkosten aufgefaßt werden kann. Sobald die großen Energieversorgungsmonopole eine marktwirtschaftlich gebotene Einspeisevergütung von rund 0,20 DM/kWh_e bezahlen, kann sich Windenergie am Markt durchsetzen: Eine Abdeckung von 15 % des norddeutschen Stromverbrauchs erfordert rund 30 000 Anlagen mit 25 m Rotordurchmesser bei etwa 15 Mrd. DM Investitionskosten.

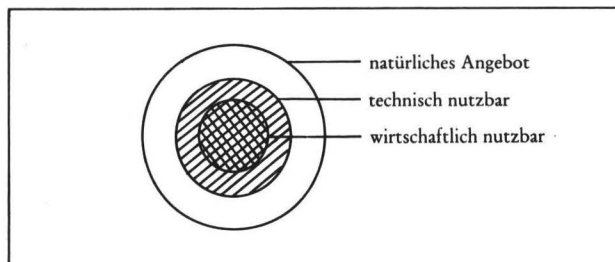
1. Nutzbares Windpotential in Norddeutschland

Das nutzbare Windenergiepotential in Norddeutschland ist durch die Größe der Windgeschwindigkeit und die Zahl der verfügbaren Standorte für Windkraftanlagen bestimmt.

Das (atmosphärische) Windenergiepotential über die Bundesrepublik Deutschland beträgt rund 15 000 TWh (rund 2 % der Sonneneinstrahlung) und damit etwa das Vierfache des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland. Ausgehend von diesem Windenergiepotential läßt sich folgende Aufteilung vornehmen¹ (vgl. Abb. 1):

- Technisch nutzbares Potential: derjenige Teil, der gemäß den Naturgesetzen und entsprechend dem Stand der Technik unter Berücksichtigung der vorhandenen Standorte in nutzbare Energie umgesetzt werden kann.
- Wirtschaftlich nutzbares Potential: derjenige Teil, der mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand in Nutzenergie umgewandelt werden kann.

Abbildung 1:
Potential der Windenergie



Windgeschwindigkeit und Stromproduktion: Steigt die Windgeschwindigkeit auf das Doppelte an, so nimmt das natürliche Angebot (Windleistungsdichte) auf das Achtfache zu. Diese starke Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit macht die Standortwahl und die Höhe über Grund zu entscheidenden Kriterien bei der Nutzung der Windenergie. Moderne Windkraftanlagen wandeln rund 20-25 % der natür-

lichen Strömungsenergie in elektrische Energie um. Übrigens: Eine verlustfrei arbeitende "ideale" Windkraftanlage mit horizontaler Achse kann maximal rund 60 % der im Luftstrom erhaltenen Energie in mechanische Energie umwandeln; die Geschwindigkeit des Luftstroms wird auf ein Drittel abgemindert².

Stromproduktion pro Anlage: Die derzeit installierten modernen Anlagen mit 25 m Rotordurchmesser und 250 kW installierter Leistung produzieren in sehr windgünstigen Küstenlagen (bei Jahresdurchschnitts-Windgeschwindigkeiten von über 7 m/s in 40 m Nabenhöhe) jährlich bis zu 300 000 kWh_e; das sind rund 600 kWh_e pro m² der von den Rotoren überstrichenen Fläche³.

2. Standorte

2.1 Benötigte Standorte

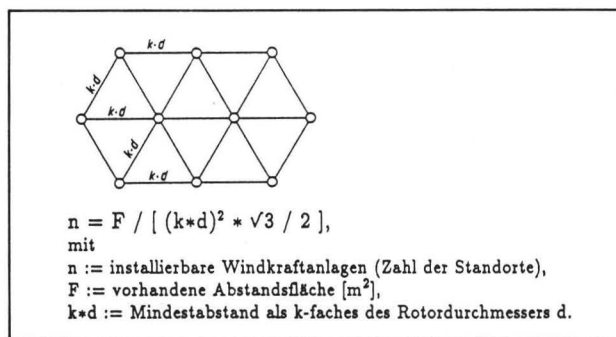
Der Platzbedarf für Windkraftanlagen hängt wesentlich von zwei Faktoren ab:

- Gibt es eine Hauptwindrichtung?
- Wie groß ist der benötigte Mindestabstand zwischen den Anlagen, um die jeweilige Abschattung nicht zu groß werden zu lassen?

Abbildung 2 zeigt die optimale Aufstellung von Windkraftwerken, falls keine Hauptwindrichtung existiert.

Bei einem heute üblichen Mindestabstand von zehn Rotordurchmessern kann man pro Hektar (horizontaler) Abstandsfläche rund 90 m² (vertikale) Rotorfläche installieren⁴. Bei der oben angegebenen Windstromproduktion von 600 kWh_e pro m² (vertikaler) Rotorfläche ergeben sich damit als Faustregel 5 kWh_e Windstromproduktion pro m² (horizontaler) Abstandsfläche.

Abbildung 2:
Optimale Aufstellung von Windkraftwerken,
keine Hauptwindrichtung

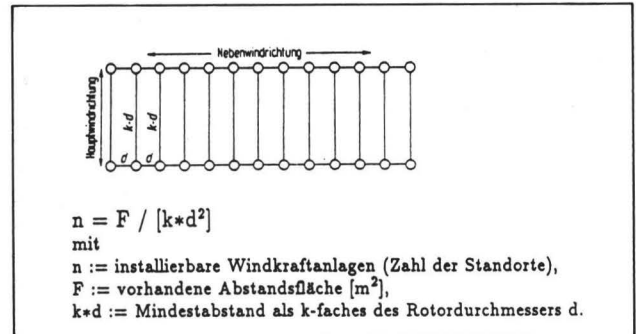


Die örtlichen topographischen, geographischen, energie-wirtschaftlichen und infrastrukturellen Verhältnisse werden eine derartige, die Abstandsfläche minimierende Anordnung allerdings nur selten erlauben. Muß der Mindestabstand auf das Doppelte erhöht werden, sinkt die Zahl der installierbaren Anlagen auf ein Viertel. Die oben als Faustregel angegebenen 5 kWh_e pro m² Abstandsfläche müssen dann entsprechend reduziert werden.

Die Einhaltung des erforderlichen Mindestabstands nach allen Seiten ist nur dann erforderlich, wenn keine dominierende Hauptwindrichtung existiert. Kommt nun z.B. der überwiegende Teil der Winde aus westlichen oder östlichen Richtungen, so braucht der Abschattungseffekt nur bezüglich

der Ost-West-Richtung berücksichtigt zu werden. Entlang der Nebenwindrichtung kann die Aufstellung der Windkraftanlagen wie in Abbildung 3 enger erfolgen. Beim heute üblichen Mindestabstand von 10 Rotordurchmessern könnten dann bis zu 8,7 mal so viele Anlagen aufgestellt und das technische Potential entsprechend vergrößert werden⁵.

Abbildung 3:
Optimale Aufstellung von Windkraftwerken,
mit Hauptwindrichtung



Existiert nun eine dominierende Hauptwindrichtung an der norddeutschen Küste? Für unsere Fragestellung ist weniger die Existenz einer dominierenden Hauptwindrichtung relevant. Vielmehr interessiert, ob die für eine Windenergieerzeugung nutzbaren Windgeschwindigkeiten aus einer dominierenden Hauptwindrichtung (bzw. aus der entsprechenden Gegenwindrichtung) kommen. Deshalb wurden sämtliche Windrichtungen mit der entsprechenden Energieproduktion gewichtet⁶. Durch die Gewichtung mit der Energieproduktion werden die Windrichtungen mit einer Windgeschwindigkeit < 5 m/s vernachlässigt, größere Windgeschwindigkeiten werden mit der Windenergieproduktion gewichtet, wobei die Zunahme der Windrichtung durch die installierte Generatorleistung beschränkt ist. Sehr hohe Windgeschwindigkeiten wiederum werden vernachlässigt, da dann die Windkraftanlage abgeschaltet werden muß.

Abbildung 4 zeigt die Windrichtungsverteilung, gewichtet mit der Windenergieproduktion, für List/Sylt für die Jahre 1969-1974, Abbildung 5 für die Station Norderney.

Zwar existiert in manchen Jahren (z.B. in List 1969) eine ganz stark ausgeprägte Hauptwindrichtung, aber in anderen Jahren (z.B. in List 1970 und 1971, vor allem aber in List 1972) variiert die Hauptwindrichtung. Ganz ähnliche Ergebnisse zeigen sich für Norderney. Man sieht also, daß an der Nordseeküste zwar Hauptwindrichtungen existieren, sie sind jedoch zu wenig ausgeprägt und wechseln ihre Richtung zu stark von Jahr zu Jahr. Eine dicht gepackte Aufstellung von Windkraftwerken, wie in Abbildung 3 dargestellt, ist demzufolge ohne deutliche Verminderung der Jahresenergieproduktion nicht möglich. Deshalb dürfte an der norddeutschen Küste meist die Einhaltung der Mindestabstände nach fast allen Seiten hin (etwa entsprechend Abb. 2) erforderlich sein.

Platzbedarf bei Deckung von 15 % des norddeutschen Stromverbrauchs: 1987 betrug der Stromverbrauch⁷ in den norddeutschen Bundesländern Niedersachsen, Bremen, Hamburg und Schleswig-Holstein rund 70 TWh_e; 15 % hiervon sind 10 TWh_e (dies entspricht knapp 3 % des bundesdeutschen Stromverbrauchs 1988). Hierfür müßten rund 30 000 Anlagen mit 25 m Rotordurchmesser (oder knapp 2 000 mit 100 m, wie etwa GROWIAN) aufgestellt werden.

Abbildung 4:
Polardiagramm der gewichteten Windrichtungsverteilung
für List/Sylt

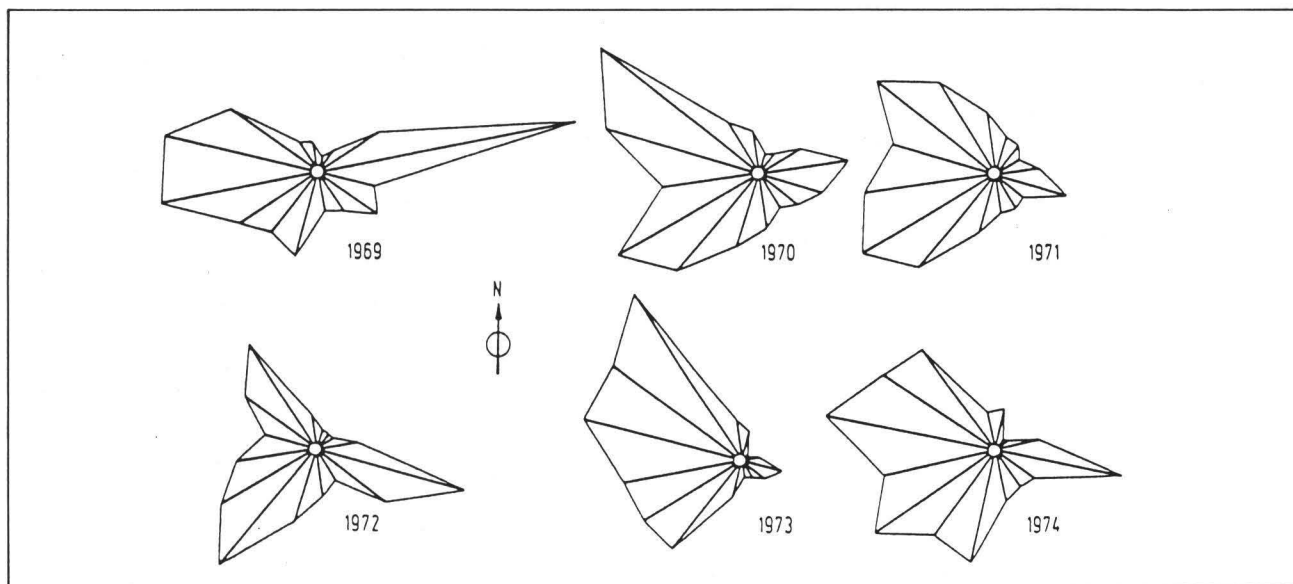
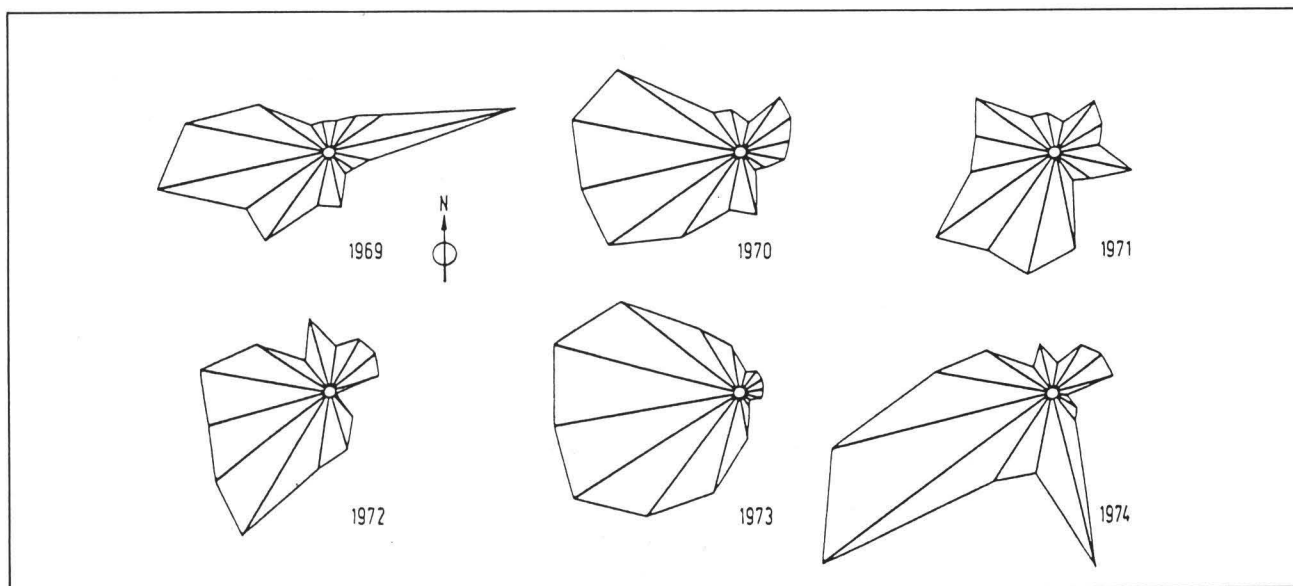


Abbildung 5:
Polardiagramm der gewichteten Windrichtungsverteilung
für Norderney



2.2 Vorhandene Standorte

Die Gesamtfläche von Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen und der nördlichen Hälfte von Niedersachsen beträgt rund 40 000 km². Ein wesentlicher Teil dieser Fläche ist aufgrund ihrer Besiedlung und sonstiger Nutzung nicht für den Bau und Betrieb von Windkraftanlagen geeignet.

Ein erster Durchgang einer vorsorglichen Flächensicherung für Windkraftwerke auf der dünn besiedelten und für Windenergienutzung gut geeigneten Insel Fehmarn ergab 13 % der Inselfläche als mögliche größere Sicherungsgebiete⁸. Im gesamten norddeutschen Küstengebiet dürfte der Prozentsatz

erheblich geringer sein. Andererseits ist es durchaus denkbar, daß auch kleinere verstreut liegende Gebiete nutzbar sind, falls die dazwischen liegenden Gebiete keine größere Bebauung aufweisen.

Eine bereits 1981 im Auftrag der EG durchgeführte Untersuchung⁹ zeigte für Norddeutschland eine für Windnutzung prinzipiell verfügbare Fläche von 1 800 km² und damit etwa 35 000 Standorte für Anlagen mit 25 m Rotordurchmesser. Bei diesen Abschätzungen wurde über das gesamte norddeutsche Küstengebiet ein Raster gezogen und durch wohldefinierte statistische Stichproben geprüft, welcher Anteil der gesamten

Landfläche prinzipiell für Windenergienutzung zur Verfügung steht. Von der Gesamtfläche des norddeutschen Küstengebiets von ca. 40 000 km² sind nach dieser Untersuchung also knapp 5 % als Abstandsfläche geeignet. Insgesamt ergab die Berechnung ein maximales Potential im norddeutschen Küstengebiet¹⁰ von rund 15 TWh_e/a.

Eine andere im Auftrag des BMFT 1985 durchgeführte Auszählung¹¹ ergab 3 600 Standorte für die GROWIAN-Windkraftanlage mit 100 m Rotordurchmesser, umgerechnet also rund 60 000 Standorte für die hier betrachtete Referenzanlage mit 25 m Rotordurchmesser.

Inwieweit all diese Standorte tatsächlich genutzt werden können, ist äußerst fraglich, da viele Gemeinden sicherlich nach dem Bau von einigen hundert Windkraftanlagen einem weiteren Zubau ihrer Landschaft nicht zustimmen werden. Dies spricht für die Nutzung von größeren Anlagen mit Rotordurchmessern von deutlich über 25 m; bei einer Verdoppelung des Durchmessers wird nämlich nur noch ein Viertel der Standorte benötigt.

Die norddeutsche Küste wird jedenfalls nach dem Bau von Zehntausenden von großen Windkraftanlagen völlig verändert sein. Andererseits stehen derzeit im betrachteten Küstengebiet rund 50 000 Hochspannungsleitungsmasten mit Höhen zwischen 25 m und 60 m.

3. Einzelwirtschaftliche Kosten (Baukosten)

Die einzelwirtschaftlichen Kosten der Windenergie sind im wesentlichen bestimmt durch:

- Investitionskosten für den Bau von Windkraftanlagen und Einbindung in das Versorgungsnetz sowie ggf. Bau von Versorgungsstraßen.
- Betriebskosten (etwa 1-2 % der Investitionskosten, aber zusätzlich Versicherungskosten zumindest in der Anlaufphase für die Absicherung technisch und Klima-bedingter Produktionsausfälle sowie Pachten für die Grundstücksnutzung).
- Brennstoffkosten fallen im Gegensatz zu thermischen Kraftwerken nicht an.

Die Investitionskosten sind wesentlich vom Rotordurchmesser abhängig und nicht, wie bei thermischen Kraftwerken, von der installierten Leistung. Üblicherweise werden die Investitionskosten deshalb bezogen auf die von den Rotoren überstrichene Kreisfläche. Das Anfang November 1989 in Husum von der Deutschen Gesellschaft für Windenergie durchgeführte Windenergie-Seminar hat ergeben, daß derzeit mit *Investitionskosten von rund 1 000,— DM/m²* (entspricht rund 2 000,— DM/kW installierter Leistung) gerechnet werden muß. Davon sind rund zwei Drittel Kosten für die reine Windkraftanlage, ein Drittel für Straßen- und Netzanbindung. Bei besonders schwierigen Gründungsmaßnahmen oder aber gänzlich fehlender Straßen- und Netzanbindung muß mit Zuschlägen von 30 % und mehr gerechnet werden (dann ist Windenergie auch in besonders windgünstigen Lagen einzelwirtschaftlich nicht konkurrenzfähig!).

Windstromkosten pro kWh_e: 1 000,— DM Investitionskosten pro m² Rotorkreisfläche ergeben jährlich Kosten von rund 150,— DM. Diese Kosten verteilen sich an sehr windgünstigen Standorten¹² an der Nordseeküste auf bis zu 600 kWh_e Stromproduktion pro installierter m² Flügelfläche; damit ergeben sich einzelwirtschaftliche Stromkosten von rund

0,25 DM/kWh_e. An einzelnen ausgezeichneten Windstandorten mögen die Kosten auch noch etwas niedriger liegen.

Ein neues Kraftwerk auf Basis deutscher Kohle oder Kernenergie hat heute einzelwirtschaftliche Kosten (Investitions- und Brennstoffkosten!) von rund 0,2 DM/kWh_e. Die einzelwirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Windstrom ist damit heute bereits an sehr windgünstigen Standorten gegeben. Die erheblich geringeren Umweltbelastungen von Windstromproduktion verbessern ihre gesamtwirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit um rund 0,1 DM/kWh_e und führen auch an weniger windgünstigen Standorten jedenfalls zu ihrer gesamtwirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit.

4. Soziale Kosten (Umweltbelastung)

Wie umweltfreundlich ist Windenergie nun aber wirklich? Offensichtlich entstehen im Gegensatz zur thermischen Energienutzung weder Abgase noch Abwärme noch Entsorgungsprobleme; zwar wird demnächst ein Großteil der Schwefeldioxid-, Stickoxid- und Staubemissionen in modernen fossil befeuerten Kraftwerken durch Filterverfahren zurückgehalten. Doch was geschieht mit den so zurückgehaltenen Schadstoffen? Welche Probleme wirft die langfristige Endlagerung von abgebrannten Kernbrennstoffen auf? Ozonloch und CO₂-Probleme? All diese Probleme entstehen bei Windenergie nicht.

Allerdings hat auch Windenergie Umweltbelastungen. Bedenken könnten bestehen wegen

- Klimabeeinflussung,
- Lärmerzeugung,
- Störung von elektrischen Signalen,
- Vogeltod,
- optische Verschmutzung.

4.1 Klimabeeinflussung

Selbst ein größtmöglicher Ausbau von Windkraftanlagen führt im norddeutschen Küstengebiet maximal zu einer Veränderung der kinetischen Energie des Wettergeschehens im Promillebereich. Nach heutiger Kenntnis sind damit Klimaauswirkungen auszuschließen.

4.2 Lärmerzeugung

Lärmerzeugung wurde bis vor kurzem als relativ unbedeutend eingestuft, da man annahm, daß nur die ersten Prototypen Lärmprobleme haben würden. Die relativ scharfen Lärmschutzbestimmungen bezüglich Gewerbe- und Straßenlärm in der Bundesrepublik Deutschland scheinen nun aber auch die Realisierung der Windenergie zu behindern: Der Windenergiepark Westküste im Kaiser-Wilhelm-Koog kann offensichtlich den nachts geltenden Grenzwert von 45 dB(A) nicht einhalten. Man vermutet zwar, daß Getriebe- und Generatorlärm noch weiter vermindert werden können; dies wird aber mit nicht unerheblich erhöhten Kosten verbunden sein.

Können die Geräusche (zumindest bei niedrigen Eigengeräuschen des Windes) nicht erheblich vermindert werden, so müssen die Abstände zur Wohnbebauung gegenüber den bisherigen Planungen möglicherweise erheblich erhöht werden, was wiederum die Zahl nutzbarer Standorte vermindert. Auch dann wird aber das Problem der Lärmbelastung in ehemals ruhigen Erholungsgebieten nicht gelöst¹³. Ein kleines Trostpflaster zur Lärmerzeugung: Im Weinbaugebiet der Steiermark werden seit Jahrhunderten Windräder zur Lärmerzeugung eingesetzt, um Vögel zu verscheuchen.

4.3 Störung von elektrischen Signalen (z.B. Störung des Fernsehempfangs, von Richtfunkstrecken und von militärischen Anlagen)

Die Stärke der Störung des Fernsehempfangs hängt wesentlich von der Art der verwendeten Flügelmaterialien ab. Eine ggf. erforderliche Verkabelung würde gerade in den relevanten dünn besiedelten Küstengebieten kostenmäßig der Windenergienutzung angelastet werden müssen. Vielleicht sollten die Betroffenen aber einfach weniger fernsehen und statt dessen mehr Aufsätze über Windenergienutzung lesen?

Prinzipiell könnten Richtfunkstrecken der Deutschen Bundespost und Richtstrahlen der Deutschen Bundeswehr gestört werden, was meist durch Verschiebung der einzelnen Windkraftanlagen um wenige Meter behoben werden kann¹⁴.

Die diffuse Strahlung der Generatoren kann Radaranlagen ineffektiv machen. Aber sind nicht gerade dicht gepackte und tief gestaffelte Windkraftanlagen selbst ein ausgezeichnetes Bollwerk gegen Tiefflieger? Deshalb ergeben sich derzeit noch Stationierungsprobleme für Windparks in festgelegten Tieffluggebieten.

4.4 Vogeltod

Es gibt derzeit noch keine systematischen Untersuchungen¹⁵ zu den Auswirkungen des Baus von größeren Windkraftanlagenparks im norddeutschen Küstengebiet auf die Vogelwelt. Es ist aber bekannt, daß dieses Gebiet große Vogelschutzgebiete aufweist und insbesondere enorm wichtige Rastplätze für Zugvögel zur Verfügung stellt. Insbesondere ein dichtgepackter¹⁶ Bau von Windkraftanlagen könnte einen erheblichen Einfluß auf Zugvögel haben.

4.5 Optische Verschmutzung

Die Errichtung einer Vielzahl von hohen Türmen wird mit erheblichen optischen Beeinträchtigungen verbunden sein. Zumindest beim derzeitigen Stand der Technik kommt eine unterirdische Bauweise von Windkraftwerken noch nicht in Frage¹⁷. Voruntersuchungen zur Monetarisierung der optischen Belastung der Landschaft auf dem Gebiet der Hochspannungsleitungen¹⁸ haben erhebliche soziale Kosten der optischen Verschmutzung erbracht.

Koch¹⁹ schreibt, daß Dreiflügler auf Vollkörpermasten die höchste, und Einflügler auf Gittermasten die geringste Akzeptanz bei der Bevölkerung aufweisen; gleiches berichtet D. Clausen von der Schleswig AG. Dies würde für die herkömmlichen mittelschnell laufenden Dreiflügler und gegen die jetzt in der Entwicklung befindlichen superschnell laufenden Einflügler sprechen.

Resümee: Je schärfer die Umweltvorschriften und je höher die Umweltabgaben sind, desto größer wird die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Windenergie. Gleichzeitig wird dadurch aber auch die Zahl der möglichen Standorte und damit das technisch nutzbare Potential der Windenergie verringert.

5. Aufgaben des Staates (Rahmenbedingungen)

Die gesamtwirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden vom Staat gesetzt. Einige Vorüberlegungen hierzu: Der Staat sollte sich als aktiv Beteiligter aus der Energiewirtschaft zurückziehen. Unter dem Deckmantel der angeblich erforderlichen Daseinsvorsorge bestimmt der Staat in Energiewirt-

schaft, aber auch in Wohnungswirtschaft, Gesundheitswesen, Luft- und Raumfahrt etc., was der Bürger braucht, und produziert in vielen Fällen diese Güter selber.

Dieser sowohl in Bayern wie auch in Hamburg gezüchtete Staatskapitalismus muß aus grundsätzlichen ordnungspolitischen Gründen zurückgedrängt werden: Der mündige Bürger soll aus einem vielfältigen Marktangebot wählen können. Der direkte Staatseinfluß in Energiewirtschaft und ähnlichen Bereichen wie der Wohnungswirtschaft hat uns eigentlich nur große, zentralisierte, schwer vom einzelnen Bürger beeinflussbare Technologien beschert, die noch dazu, ganz im Gegensatz zu der dahinter stehenden Theorie, wenig Rücksicht auf Schwache, Arme und Umwelt nehmen.

Wenn es schon angeblich, wie vom Bayerischen Umweltministerium vertreten, Aufgabe des Staates ist, die Energieversorgung zu garantieren, warum werden dann eigentlich nicht in Bayern und sonstwo die für die Basisversorgung noch viel wichtigeren Bäckereien und Metzgereien unter Staatsaufsicht gestellt? Warum werden dann nicht Bäcker und Metzger verbeamtet und vom Verfassungsschutz überprüft?

Welche Rahmenbedingungen muß der Staat setzen, um Marktwirtschaft²⁰ auf Dauer sicherzustellen?

- Sicherstellung eines gesamtwirtschaftlich optimalen Wettbewerbs zwischen vielen Anbietern und vielen Nachfragern.
- Einbindung von gesamtwirtschaftlichen Effekten wie Umweltschäden, Arbeitsplatzwirksamkeit etc. in das Marktgeschehen (soziale Kosten müssen ausgabewirksam gemacht werden).

Was heißt das für die Markteinführung der Windenergie:

- Gesamtwirtschaftlich optimaler Wettbewerb sowohl zwischen den Marktakteuren als auch zwischen den Energieträgern.
- Gewährleistung des Verursacherprinzips bei externen Kosten und Erträgen: Z.B. darf der Staat die Kernenergie nicht durch staatliche Garantien von der Risikovorsorge ausnehmen. Jeder Kernkraftbetreiber müßte für sein gesamtes Risiko eine vermutlich weltweit zu garantierende und rückzuversichernde Versicherung vorweisen. Kann er diesen Versicherungsnachweis nicht erbringen, so darf er sein Kernkraftwerk eben nicht betreiben, so wie niemand ein Auto betreiben darf, ohne für alle denkbaren Fälle eine vollständige Versicherung nachzuweisen.
- Allgemeine Umweltbelastungen durch Abwärme, CO₂-Belastung etc. sollten durch Erhebung einer Umweltabgabe/Ökosteuer berücksichtigt werden; alternativ müssen die besonders umweltfreundlichen Energieträger steuerlich begünstigt werden.
- Festlegung einer gesamtwirtschaftlich optimalen Tarifstruktur, vor allem bei den monopolisierten leitungsgebundenen Energieträgern. Die Arbeitspreise müssen hierbei an den langfristigen Grenzkosten orientiert werden. Das bedeutet bei der derzeitigen Kostenstruktur Stromtarife, die keine Grundpreise, sondern nur noch (ggf. zeitabhängige) Arbeitspreise aufweisen. Die neue Bundestarifordnung Elektrizität entspricht tendenziell dieser Forderung; der jahrelange Kampf für marktwirtschaftliche Stromtarife konnte damit erfolgreich beendet werden. Für den Haushalts-, Landwirtschafts- und Gewerbebereich ist das Problem gelöst, für den Industriebereich mit seinen

stark degressiven Stromtarifen muß noch eine Lösung gefunden werden.

- Festlegung von wohl definierten Einspeisebedingungen für neue Energieträger.

6. Marktzugang

6.1 Standorte und Genehmigungsfragen

Windkraftanlagen haben nur dann einen Marktzugang, wenn ausreichend viele Standorte zur Verfügung gestellt werden.

In unserer Gesellschaftsordnung mit Privatbesitz an Grund und Boden ist es üblich, daß der jeweilige Grundbesitzer darüber entscheidet, ob er seinen Grund für Windenergienutzung zur Verfügung stellen will. Hierfür wird er eine marktübliche Entschädigung verlangen, die jedenfalls mindestens dem bisherigen Verkehrswert entsprechen wird. Dies mag bei den ersten Demonstrationsanlagen noch keine Rolle spielen, solange die Gemeinden diese Anlagen auf gemeindeeigenem Grund installieren und auch die erforderliche Infrastruktur aus gemeindeeigenen Mitteln finanzieren. Seit Auflage des 100-MW-Windprogramms der deutschen Bundesregierung und verschiedener parallel laufender Programme der norddeutschen Landesregierungen sind nun aber allein in Schleswig-Holstein bis Ende 1989 mehr als 500 Anlagen zur Förderung angemeldet worden. Hier müssen im erheblichen Umfang fremde Grundstücke in Anspruch genommen werden.

Es wird interessant sein, zu sehen, welche Grundstücksentwärtigungen für die Nutzung durch Windkraftanlagen bezahlt werden müssen. Darüber hinaus ist noch völlig ungeklärt, ob den zwischen den einzelnen Anlagen liegenden Grundstücken eine Entschädigung zusteht, da dort Windenergienutzung nur noch in erheblich verringertem Maße möglich ist.

Für die Gemeinden könnte evtl. die zusätzliche Gewerbesteuer von Interesse sein; pro Hektar durch Windkraftanlagen genutzte Abstandsfläche könnten rund 1 000,— DM Gewerbesteuer pro Jahr herauspringen²¹.

6.2 Einspeisepreise

Bei der heutigen Stromversorgungsstruktur ist der Marktzugang nur bei kleinen Anlagen über Eigenverbrauch, bei größeren Windkraftwerken jedoch nur über eine Einspeisung in das Hochspannungsnetz möglich. Damit hängt der Marktzugang wesentlich von den Einspeisebedingungen und den bezahlten Einspeisepreisen ab. Typische Eigenzeuger bekommen heute für eingespeisten Strom im Durchschnitt²² 0,05–0,10 DM/kWh_e; das entspricht in etwa den eingesparten variablen Kosten bei den Strommonopolisten.

Ein Park von vielen kleinen Windkraftanlagen im norddeutschen Küstengebiet könnte kostenrechnerisch als ein großes Kraftwerk aufgefaßt werden, das bei Ausfall genauso durch andere Kraftwerke ersetzt werden kann wie der Ausfall eines herkömmlichen Kraftwerks. Ein Windkraftwerk erzeugt gerade im nachfragestarken Winter deutlich mehr Strom als im nachfrageschwachen Sommer. Es spricht also alles dafür, für eingespeisten Windstrom (zumindest bis zu einer installierten Leistung von etwa 1 200 MW, wie es z.B. das Kernkraftwerk Emsland aufweist) Einspeisepreise zu bezahlen, die alternativ durch Bau und Betrieb von konventionellen Kraftwerken anfallen würden: Einspeisepreis also entsprechend den eingesparten Gesamtkosten von rund 0,20 DM/kWh_e und nicht nur

(wie derzeit) entsprechend den eingesparten Brennstoffkosten von 0,05 bis 0,10 DM/kWh_e.

Mehrere europäische Länder wie Dänemark und Portugal sehen einen Einspeisepreis von 85 % des Lieferpreises vor, in der Bundesrepublik Deutschland wären das 85 % von ca. 0,3 DM/kWh_e, also 0,25 DM/kWh_e; das wäre mehr als das Doppelte des heutigen Einspeisepreises²³.

Die geringeren Umweltbelastungen (sozialen Kosten) der Windenergie²⁴ müssen durch staatliche Subventionen ausgabenwirksam gemacht werden, solange die Einführung von angemessenen Ökosteuern oder Umweltabgaben politisch nicht durchgesetzt werden kann. Ein erster Ansatz ist der derzeitige staatliche Zuschuß von 0,08 DM/kWh_e im Rahmen des "100-MW-Windenergieprogramms"²⁵.

7. Realisiertes Marktpotential

Für die kommerzielle Marktdurchsetzung der Windenergie Norddeutschland sind vier Voraussetzungen erforderlich:

- ausreichend Wind (6–7 m/s im Jahresmittel in Nabenhöhe),
- ausreichend Standorte,
- angemessener Preis für den eingespeisten Windstrom,
- staatliches Wohlwollen bei Raumplanung, Baugenehmigung, Investitionszuschüssen und sonstiger Einflußnahme.

An der norddeutschen Küste sind die Windverhältnisse genauso gut wie in den beiden Windenergieländern Kalifornien und Dänemark.

Standorte stehen jedenfalls für die ersten Tausend MW Windkraftleistung ausreichend zur Verfügung²⁶.

Achtet die Bundesregierung bei den Einspeisepreisen für Windstrom auf marktwirtschaftliche Rahmenbedingungen, so muß der Einspeisepreis entsprechend den alternativ anfallenden Kosten für Bau und Betrieb von neuen Kraftwerken angesetzt werden, also bei etwa 0,20 DM/kWh_e. Hier besteht nachhaltiger Handlungsbedarf, da die derzeitigen Einspeisepreise nur die Hälfte betragen. Die Energiewirtschaft steht derzeit einer dezentralen Windenergienutzung mit Netzeinspeisung noch skeptisch gegenüber, da dadurch die einzelwirtschaftliche Kostengünstigkeit der neuen, schwer regelbaren Großkraftwerke auf Kohle- und Kernenergiebasis an der norddeutschen Küste in Frage gestellt werden könnte.

Soll Windenergie in Norddeutschland nachhaltig genutzt werden, so müßten die Rahmenbedingungen in Richtung Marktwirtschaft verändert werden:

- Ausgabenwirksamkeit der geringen Umweltbelastung von Windkraftwerken, also entweder Ökosteuern/Umweltabgaben auf herkömmliche Stromproduktion oder entsprechende Subventionierung der Windenergie (nicht nur im Rahmen eines limitierten 100-MW-Windenergieprogramms).
- Rechtlich abgesicherte Einspeisemöglichkeiten in die Netze der Strommonopole, und zwar zu genau festgelegten Einspeisebedingungen und zu Einspeisepreisen entsprechend den langfristig eingesparten Vollkosten von rund 0,20 DM/kWh_e (zumindest bis zu Wind-Leistungsanteilen von 5–10 % an der norddeutschen Stromversorgung).
- Setzung von staatlichen Rahmenbedingungen, insbesondere bei Rechts- und Versicherungsfragen.

— Nachhaltige Arbeiten im Bereich der notwendigen Standortvorsorge, also insbesondere im Bereich von Raumplanung, Raumordnung und Flächensicherung.

Im Jahre 1988 haben nach Angaben der VDEW 81 Windkraftanlagen der großen Stromversorgungsunternehmen insgesamt knapp 0,006 TWh_e an das öffentliche Netz geliefert; weitere 0,0024 TWh_e wurden als Überschuss aus privaten Anlagen in das Netz übernommen. Das waren rund 0,1 % des norddeutschen Stromverbrauchs. Eine Erhöhung auf einen Anteil von 15 % erfordert rund 30 000 Anlagen mit 25 m Rotordurchmesser bei etwa 15 Mrd. DM Investitionskosten. Bei marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und steuerlicher Berücksichtigung der niedrigeren Umweltkosten der Windenergie sind hierfür keine staatlichen Zuschüsse erforderlich.

Anmerkungen

1 Vgl. hierzu Jarass, L.: Strom aus Wind. — Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1981. Zu einer sehr profunden Darstellung der Technik von Windkraftanlagen siehe Molly, Jens P.: Windenergie. — Karlsruhe: C.F. Müller Verlag, 2. Aufl. 1989 und Hau, Erich: Windkraftanlagen — Grundlagen, Technik, Einsatz und Wirtschaftlichkeit. — Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1988

2 Betz bewies bereits 1926 dieses für die Windkraftnutzung zentrale Theorem; vgl. Betz, A.: Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen. In: Aus Naturwissenschaft und Technik, Heft 2. — Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1926

3 Vgl. etwa die europaweite (v.a. für dänische und niederländische Anlagen) des Fraunhofer Instituts für solare Energiesysteme; dargestellt etwa in Windkraft-Journal 4/88, S. 178 ff. Vgl. auch die im Windkraft-Journal seit 1/89 enthaltene Leistungsstatistik für deutsche Anlagen.

4 Rotorfläche = $(d/2)^2 \cdot \pi$; Abstandsfläche pro Anlage (vgl. Abb. 2) = $(k \cdot d)^2 \cdot \sqrt{3}/2$; damit ist das Verhältnis Rotorfläche/Abstandsfläche gegeben durch $0,91/k^2$.

5 Mit dominierender Hauptwindrichtung können ohne zusätzliche Abschattung bis zu $0,87 \cdot k$ so viele Windkraftanlagen installiert werden ($k \cdot d$ gibt den benötigten Mindestabstand als k -faches des Rotordurchmessers d an). Vgl. das Verhältnis der beiden Formeln in den Abbildungen 2 und 3.

6 Vgl. Jarass, L. et al.: Windenergie. Eine systemanalytische Bewertung des technischen und wirtschaftlichen Potentials für die Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland, durchgeführt im Auftrag der Internationalen Energie-Agentur. — Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, berichteter Nachdruck 1981, S. 65/66 (auch in englischer und russischer Ausgabe verfügbar)

7 Vgl. etwa Statistik der Energiewirtschaft 1987/88, Vereinigung Industrielle Kraftwirtschaft, Essen

8 Nur 4 %-Punkte lagen in der Nähe von Hochspannungsleitungen. Bei der vorsorglichen Flächensicherung für Windenergiefarmen in Regionalplänen des Ministers für Natur, Umwelt und Landesentwicklung des Landes Schleswig-Holstein werden derzeit z.B. folgende Mindestabstände diskutiert: zu Siedlungen und Einzelhäusern 500 m; zu Städten 1 000 m; zu Straßen, Bahnlinien und Hochspannungsleitungen 200 m; eine Nichtnutzung der Marsch-Geest-Grenze von insgesamt 1 500 m. Vgl. etwa Koch, Til: Landesplanerische Probleme von Windenergieanlagen und Windenergieparks. In: Seminarbericht Sonnen- und Windenergienutzung in der räumlichen Planung. Hrsg.: Institut für Städtebau und Landesplanung an der Universität Karlsruhe, 1988

9 Davon ca. 1 800 km² mit Jahresdurchschnittswindgeschwindigkeiten in 10 m Höhe von 5–6 m/s und nur 20 km² mit 6–7 m/s. Vgl. Jarass, A. et al.: Potential of Wind Energy in the Federal Republic of Germany. In: Wind Energy, Series G, Vol. 1 D. — Dordrecht, Boston, Lancaster: Reidel Publishing Company 1983, S. 32 ff.

10 Im Offshore-Gebiet kommt ein weiteres Potential von über 50 TWh/a hinzu, das aber derzeit wegen der hohen Baukosten aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht in die Betrachtung miteinbezogen wird.

11 Darstellung realistischer Regionen für die Errichtung insbesondere großer Windenergieanlagen in der Bundesrepublik Deutschland. Lahmeyer International, Frankfurt. BMFT, Forschungsbericht T85-053, Mai 1985

12 Mit Jahresdurchschnittsgeschwindigkeiten in Nabenhöhe (ca. 40 m) von über 7 m/s

13 Hinweis 1: Der Autor, vom ruhigen Regensburg in die angeblich ruhige Kurstadt Wiesbaden vor einigen Jahren umgezogen, weiß, wovon er spricht: Zwar fliegen normalerweise die Flugzeuge vom Frankfurter Flughafen nicht direkt über die Stadt Wiesbaden, aber sie überfliegen pausenlos die umliegenden Erholungsgebiete der Taunushänge. Damit wird sichergestellt, daß der Lärmpegel in den grundsätzlich relativ ruhigen Erholungsgebieten rund um Wiesbaden nicht wesentlich niedriger liegt als in der Innenstadt und so der erholungssuchende Wiesbadener keinen abrupten Lärmschwankungen unterworfen wird.

Hinweis 2: Der Autor hatte Anfang der 80er Jahre eine elektrisch betriebene Wärmepumpe in einem ruhigen Wohngebiet installiert. Ein Betrieb im Freien war nachts wegen des Lärms den Nachbarn und der Ehefrau nicht zuzumuten. Daraufhin wurde die Wärmepumpe in die Garage verlegt. Nun wurde zwar das Auto im Sommer immer gut gekühlt, von wenigen heißen Sommerwochen abgesehen, neigte der Kondensator der Wärmepumpe nun aber zur Vereisung. Der Energiekoeffizient der Anlage war im Durchschnitt etwa genauso hoch wie der einer elektrischen Direktheizung. Nach zwei Jahren waren 10 000,— DM und viel guter Wille zum Fenster hinausgeschmissen: Mann und Frau kehrten reumütig zur Gasheizung zurück.

14 Siehe Koch, Til, a.a.O., S. 88.

15 Derzeit führt die Norddeutsche Naturschutzakademie im Verbund mit dem Verein Jordsand im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie eine entsprechende Studie durch; man kann auf die Ergebnisse gespannt sein.

16 Z.B. mit alternierend niedrigen und hohen Türmen, um so die wechselseitige Abschattung zu vermindern und die Windstromproduktion zu erhöhen.

17 Möglicherweise könnte langfristig der Fahrtwind von ICE-Zügen in Tunnelstrecken zur Windstromerzeugung genutzt werden?

18 Vgl. hierzu auch Jarass, L. et al.: Von der Sozialkostentheorie zum umweltpolitischen Steuerungsinstrument. — Baden-Baden: Nomos Verlag 1989 (v.a. Kapitel 4). Hier wurde der Einfluß von dichtgepackten Hochspannungsleitungen bei unterschiedlichen Masthöhen auf die Vogelwelt untersucht. Es zeigte sich, daß eine erhebliche Auswirkung auf Vogelflug und Wahl der Nistplätze nachzuweisen ist und insbesondere ein nicht unwesentlicher Teil insbesondere der Großvögel durch dichtgepackte Hochspannungsleitungen verletzt und letztendlich getötet wird. Inwieweit diese Überlegungen auf Windkraftanlagen mit Drehbewegungen übertragen werden kann, ist unklar. Es wäre einmal interessant, diese Verfahren auf Windenergie anzuwenden. Zu Erfahrungen bei den Nibe-Anlagen in Jütland vgl. "Dichtung und Wahrheit über Windkraftanlagen". In: Windkraft-Journal 2/89, S. 8/9

19 Siehe Koch, Til, a.a.O.

20 Es sei an dieser Stelle erlaubt, festzustellen, daß marktwirtschaftliche Rahmenbedingungen nicht notwendigerweise Privatbesitz an Produktionsmitteln bedeutet, sondern die Konkurrenz einer Vielzahl von unabhängigen Anbietern und Nachfragern. Aufgabe des Staates ist es, Rahmenbedingungen für einen nachhaltigen Wettbewerb zu schaffen. Übrigens: Eine Bundesregierung, die die Konzentration von Eigentum und insbesondere Verfügungsgewalt über Produktionsmittel in den Händen von einigen Wenigen vorantreibt, zerstört die marktwirtschaftlichen Grundvoraussetzungen und realisiert genau diejenigen sozialistischen Ideen, die sie rhetorisch so nachhaltig bekämpft.

21 Siehe Koch, Til, a.a.O. Siehe dort auch zu erforderlichen raumordnungs-, raumplanungs- und sonstigen landesplanerischen Genehmigungsverfahren. Zur Typenprüfung von neuen Windkraftanlagen und zur baurechtlichen Behandlung von Windkraftanlagen im Außenbereich siehe Rupp, J.-J.: Genehmigungsrechtliche Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Windenergieanlagen. In: Recht, Jg. 49 (1988), Nr. 11, S. 230–235 sowie Köhl, W.: Baurechtliche Behandlung von Windkraftanlagen im Außenbereich. In: Windkraft-Journal 2/88, S. 79–82

22 Zu den Einspeisepreisen siehe Windkraft-Journal 1/88, S. 19 ff. Dort wird auch die Berechnung des Verfügbarkeitszuschlags nach VDEW-Regelung erläutert; entsprechend dieser Regelung wird Windenergie keinerlei Kapazitätseffekt zugesprochen, obwohl Windstrom bei geringeren (< 5 %) Anteilen im Durchschnitt genauso versorgungssicher ist wie konventionell erzeugter Strom; vgl. hierzu Jarass, L.: Strom aus Wind. — Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1981, Kap. 5

23 Leider wurde in der neuen Bundestarifordnung Elektrizität ein Mindestpreis für die Stromeinsparung aus erneuerbaren Energieträgern nicht festgelegt. Dies verwundert nicht, ist doch das Bundeswirtschaftsministerium der Auffassung, daß beim derzeitigen Windstrom-Einspeisepreis von 0,10 DM/kWh „der Rahmen einer kostenorientierten Vergütung ausgeschöpft ist“. Vgl. hierzu Windkraft-Journal 2/89, S. 35-37

Vgl. hierzu andererseits Cronenberg, M.: Die neue Bundestarifordnung Elektrizität. Städte- und Gemeindebund 11/1989, S. 467-470: "Vergütungen bis zur Höhe der langfristig eingesparten sozialen Kosten" werden anerkannt (S. 470, 2. Spalte). "Das Bundeswirtschaftsministerium prüft derzeit, inwieweit insbesondere im Hinblick auf die Klimaproblematik über die umfassenden F&E-Programme hinaus zusätzliche gezielte Hilfen zugunsten der erneuerbaren Energien außerhalb der BTO möglich sind" (S. 470, 3. Spalte).

24 Zur Quantifizierung der Umweltbelastungen s. Hohmeyer, O.: Social Costs of Energy Consumption. — Berlin, Heidelberg, New

York: Springer Verlag 1988; dort werden für die geringeren Umweltkosten der Windstromproduktion 0,08 DM/kWh angegeben. Gipe, P. gab bei seinem Vortrag vor der Versammlung der amerikanischen Elektrizitätsgesellschaften im November 1988 ähnliche Abschätzungen an; vgl. hierzu Windkraft-Journal 2/89, S. 4/5.

25 Dieses Programm ist als Forschungsprogramm beschränkt auf einige Dutzend Anlagen je Anlagentyp, auf deutsche Anlagen und auf eine Gesamtinstallation von 100 MW; vgl. Windkraft-Journal 1/89, S. 27. Eine systematische Kenntlichmachung der niedrigeren Umweltbelastung steht noch aus, weil das Bundeswirtschaftsministerium sich aus völlig falsch verstandenen ordnungspolitischen Gründen sowohl gegen Umweltsteuern als auch gegen Umweltsubventionen stellt. Dieses Nichts-Tun bedeutet eine Diskriminierung von Sonnen- und Windenergie und eine Subventionierung von Kohle- und Kernkraftwerken.

26 Übrigens ist in Jarass, L.: Strom aus Wind, a.a.O. bereits 1981 eine anzustrebende Weiterentwicklung der Windenergienutzung nachzulesen, die mit etwa fünfjähriger Verspätung nun in der Bundesrepublik Deutschland realisiert wird.

Prof. Dr. Lorenz Jarass
Gustav-Adolf-Straße 5
6200 Wiesbaden