

**Joachim Zielbauer**  
Hochschule Zittau/Görlitz

## **WINDENERGIENUTZUNG IN DEUTSCHLAND – – ERREICHTER STAND UND PERSPEKTIVEN FÜR REGIONEN**

### **1. Energiepolitische Zielstellung**

Die Nutzung erneuerbarer Energie ist ein wesentliches energiepolitisches Instrumentarium der Bundesregierung, um die Verpflichtung zur Reduzierung von Treibhausgasen zu erfüllen. Die Windkraftnutzung hat nach dem Beschluss zum Ausstieg aus der Kernenergie besondere Bedeutung, weil nutzbare Potenziale in großem Umfang erschließbar sind und die Wirtschaftlichkeit der Systeme unter Nutzung des Gesetzes zur Förderung erneuerbarer Energie (EEG) aus Sicht der Betreiber gegeben ist.

Neben Windenergie und konventionellen Wasserkraftanlagen der Energieversorgungsunternehmen hat die Biomassenutzung kurzfristig die höchsten Entwicklungspotenziale.

Photovoltaik erreichte unter den bisherigen Bedingungen des EEG einen beachtlichen Entwicklungssprung. Bezogen auf den Anteil am Gesamtaufkommen ist es mit 12 GWh aber recht bescheiden.

### **2. Nationale und europäische Richtwerte zur Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie**

Im europäischen Vergleich erreichte Deutschland im Anteil regenerativ erzeugter Elektroenergie mit 8% im Jahr 2001 eine recht bescheidene Größenordnung. Im EU-Durchschnitt betrug dieser Wert immerhin 15,1% [2]. Die Ursachen liegen in dem vergleichsweise niedrigen Anteil aus Wasserkraft. Selbst

die absolute Menge ist deutlich unter den Größenordnungen solcher Länder wie Frankreich, Italien, Schweden, Spanien und Österreich.

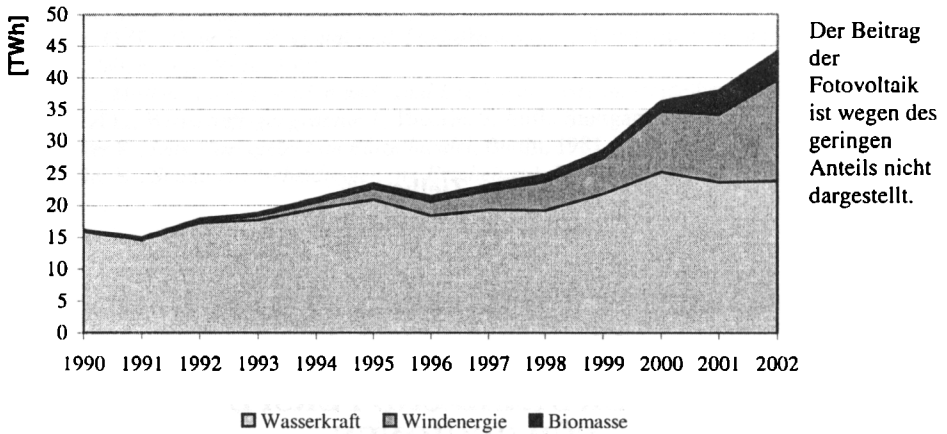
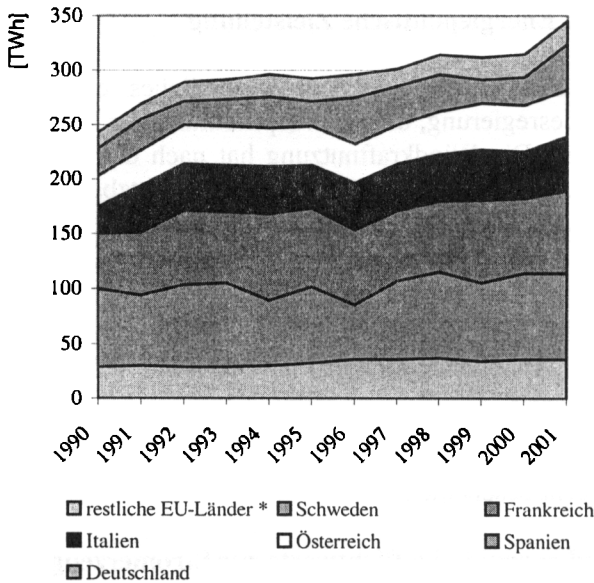


Abbildung 1. Beitrag erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung aus [2]



\*) Erzeugung jeweils < 15 TWh/a

Abbildung 2. Stromerzeugung aus Wasserkraft in der EU 1990 – 2001 (ohne Erzeugung aus Pumpspeichern) aus [2]

Tabelle 1. Nutzung erneuerbarer Energien 2001 in der EU aus [2]

| Nutzung erneuerbarer Energien 2001 in der EU<br>(Energiebereitstellung in TWh) |                        |                           |             |                          |                     | installierte Leistung/<br>Fläche 2001 |                    |
|--|------------------------|---------------------------|-------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------|
|  | Biomasse <sup>1)</sup> | Wasserkraft <sup>2)</sup> | Windenergie | Geothermie <sup>3)</sup> | Summe               | Solarthermie <sup>4)</sup>            | Fotovoltaik        |
| Endenergie [TWh]   |                        |                           |             |                          |                     | [1.000 m <sup>2</sup> ]               | [kW <sub>p</sub> ] |
| Belgien  | 5,4                    | 0,4                       | 0,03        | 0,03                     | 5,9                 | 25,5                                  | k.A.               |
| Dänemark   | 9,3                    | 0,03                      | 4,3         | 0,02                     | 13,7                | 332,0                                 | 1.500              |
| Deutschland  | 61,8                   | 22,9                      | 13,8        | 0,11                     | 98,6                | 3.805,0                               | 194.700            |
| Finnland   | 64,5                   | 13,3                      | 0,1         | k.A.                     | 77,9                | 26,0                                  | 2.758              |
| Frankreich <sup>5)</sup>   | 120,9                  | 72,7                      | 0,2         | 1,38                     | 195,1               | 321,7                                 | 13.856             |
| Griechenland   | 10,9                   | 1,9                       | 0,6         | 0,11                     | 13,5                | 2.995,0                               | k.A.               |
| Großbritannien   | 11,6                   | 3,2                       | 1,1         | 0,01                     | 15,8                | 168,5                                 | 2.746              |
| Irland   | 1,9                    | 0,6                       | 0,3         | 0,002                    | 2,8                 | 2,0                                   | k.A.               |
| Italien  | 66,5                   | 47,7                      | 1,1         | 5,71                     | 121,0               | 306,0                                 | 20.000             |
| Luxemburg  | 0,2                    | 0,1                       | 0,02        | k.A.                     | 0,4                 | k.A.                                  | k.A.               |
| Niederlande <sup>7)</sup>  | 6,0                    | 0,1                       | 1,0         | -                        | 7,1                 | 208,5                                 | 20.509             |
| Österreich   | 29,2                   | 39,5                      | 0,1         | 0,10                     | 68,9                | 1.811,0                               | 6.636              |
| Portugal   | 21,4                   | 13,9                      | 0,2         | 0,13                     | 35,7                | 231,5                                 | 928                |
| Schweden   | 61,5                   | 77,6                      | 0,5         | 0,27                     | 139,9               | 192,0                                 | 3.032              |
| Spanien  | 42,0                   | 40,6                      | 6,4         | k.A.                     | 89,0                | 408,0                                 | 15.600             |
| EU-15  | 513,2                  | 334,6                     | 29,6        | 7,86                     | <sup>6)</sup> 889,8 | 10.822,7                              | 282.265            |

Endenergie [PJ]

|       |         |         |       |      |                      |
|-------|---------|---------|-------|------|----------------------|
| EU-15 | 1.846,1 | 1.203,4 | 106,6 | 28,3 | <sup>6)</sup> 3188,9 |
|-------|---------|---------|-------|------|----------------------|

<sup>1)</sup> Stromerzeugung aus Biomasse, Biomasseinsatz für die Wärmebereitstellung, Biokraftstoff einschließlich Biogas und städtischem Müll, ohne industriellen Müll

<sup>2)</sup> für Pumpspeicherkraftwerke nur Erzeugung aus natürlichem Zufluss

<sup>3)</sup> Wärme und Stromerzeugung; Stromerzeugung nur in Italien mit 4,4 TWh, in Frankreich (0,02 TWh) und Portugal (0,12 TWh)

<sup>4)</sup> nur verglaste Kollektoren

<sup>5)</sup> Fotovoltaik einschließlich Anlagen in Übersee-Departements

<sup>6)</sup> Summe beinhaltet 4,4 TWh (15,7 PJ) aus Solarthermie und 0,14 TWh (0,5PJ) aus Fotovoltaik

<sup>7)</sup> In den Niederlanden gibt es keine Niedertemperatur – Geothermie.

Wie nachstehende Abbildung 3 zeigt, hat sich die Stromproduktion aus Wasserkraft seit 1990 in Deutschland nicht erhöht, weil die wirtschaftlich und ökologisch erschließbaren Potenziale ausgeschöpft sind.

Betrachtet man die Zielstellung der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union für den Ausbau regenerativ erzeugter Elektroenergie wird deutlich, dass der Zuwachs in Deutschland von 4,5% im Jahr 1997 auf 12,5% im Jahr 2010 sich nahezu verdreifachen soll, die erschließbaren Potenziale aber hauptsächlich im Bereich der Windkraftnutzung liegen werden.

Im Unterschied zur Erzeugung in großen Wasserkraftanlagen liegen die Stromerzeugungskosten bei der Windkraftnutzung trotz Anlagenverbesserung und Erhöhung der Einheitsleistung auf bis zu 3 MW je Windkraftanlage noch deutlich höher.

Neben diesem wirtschaftlichen Nachteil sind für den Ausbau der installierten Windkraftleistung Standorte außerhalb des Binnenlandes im Offshore-Bereich der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der Nord- und Ostsee zu erschließen.

Tabelle 2. aus [5]: Referenzwerte für die nationalen Richtziele der Mitgliedsstaaten für den Anteil von Strom aus erneuerbaren Energiequellen am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2010

|                        | Strom aus erneuerbaren Energien 1997 * | Strom aus erneuerbaren Energien 1997 | Strom aus erneuerbaren Energien 2010 |
|------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                        | in TWh **                              | in Prozent                           | in Prozent                           |
| Belgien                | 0,86                                   | 1,1                                  | 6                                    |
| Dänemark               | 3,21                                   | 8,7                                  | 29                                   |
| Deutschland            | 24,91                                  | 4,5                                  | 12,5                                 |
| Griechenland           | 3,94                                   | 8,6                                  | 20,1                                 |
| Spanien                | 37,15                                  | 19,9                                 | 29,4                                 |
| Frankreich             | 66,00                                  | 15,0                                 | 21                                   |
| Irland                 | 0,84                                   | 3,6                                  | 13,2                                 |
| Italien                | 46,46                                  | 16,0                                 | 25                                   |
| Luxemburg              | 0,14                                   | 2,1                                  | 5,7                                  |
| Niederlande            | 3,45                                   | 3,5                                  | 9                                    |
| Österreich             | 39,05                                  | 70,0                                 | 78,1                                 |
| Portugal               | 14,30                                  | 38,5                                 | 39                                   |
| Finnland               | 19,03                                  | 24,7                                 | 31,5                                 |
| Schweden               | 72,03                                  | 49,1                                 | 60                                   |
| Vereinigtes Königreich | 7,04                                   | 1,7                                  | 10                                   |
|                        |  |                                      |                                      |
| Tschechische Republik  | 2,36                                   | 3,8                                  | 8                                    |
| Estland                | 0,02                                   | 0,2                                  | 5,1                                  |
| Zypern                 | 0,002                                  | 0,05                                 | 6                                    |
| Lettland               | 2,76                                   | 42,4                                 | 49,3                                 |
| Litauen                | 0,33                                   | 3,3                                  | 7                                    |
| Ungarn                 | 0,22                                   | 0,7                                  | 3,6                                  |
| Malta                  | 0                                      | 0                                    | 5                                    |
| Polen                  | 2,35                                   | 1,6                                  | 7,5                                  |
| Slowenien              | 3,66                                   | 29,9                                 | 33,6                                 |
| Slowakei               | 5,09                                   | 17,9                                 | 31                                   |
| Gemeinschaft           | 355,2                                  | 12,9                                 | 21 ***                               |

\* Die Angaben beziehen sich auf die inländische Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 1997, außer bei der Tschechischen Republik, Estland, Zypern, Lettland, Litauen, Ungarn, Malta, Polen, Slowenien und der Slowakei; bei diesen Ländern beziehen sich die Angaben auf das Jahr 1999.

\*\* 1 Terawattstunde (TWh) = 1 Tausend Gigawattstunden (GWh) = 1 Millionen Megawattstunden (MWh) = 1 Milliarden Kilowattstunden (KWh).

\*\*\* Aus den obigen Referenzwerten resultierende gerundete Zahl.

Nach Vorgabe der Bundesregierung liegt die gewollte Ausbauleistung im Offshore-Bereich bei 30 GW. Unter Einbeziehung der Landanlagen erreicht die

Gesamtleistung aus Windkraft dann mehr als 50 GW. Die Höchstlast [8] der gegenwärtigen Nachfrage beträgt vergleichsweise 85 GW.

Karte 6 Szenario A - 2030: Die deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone in der Nordsee

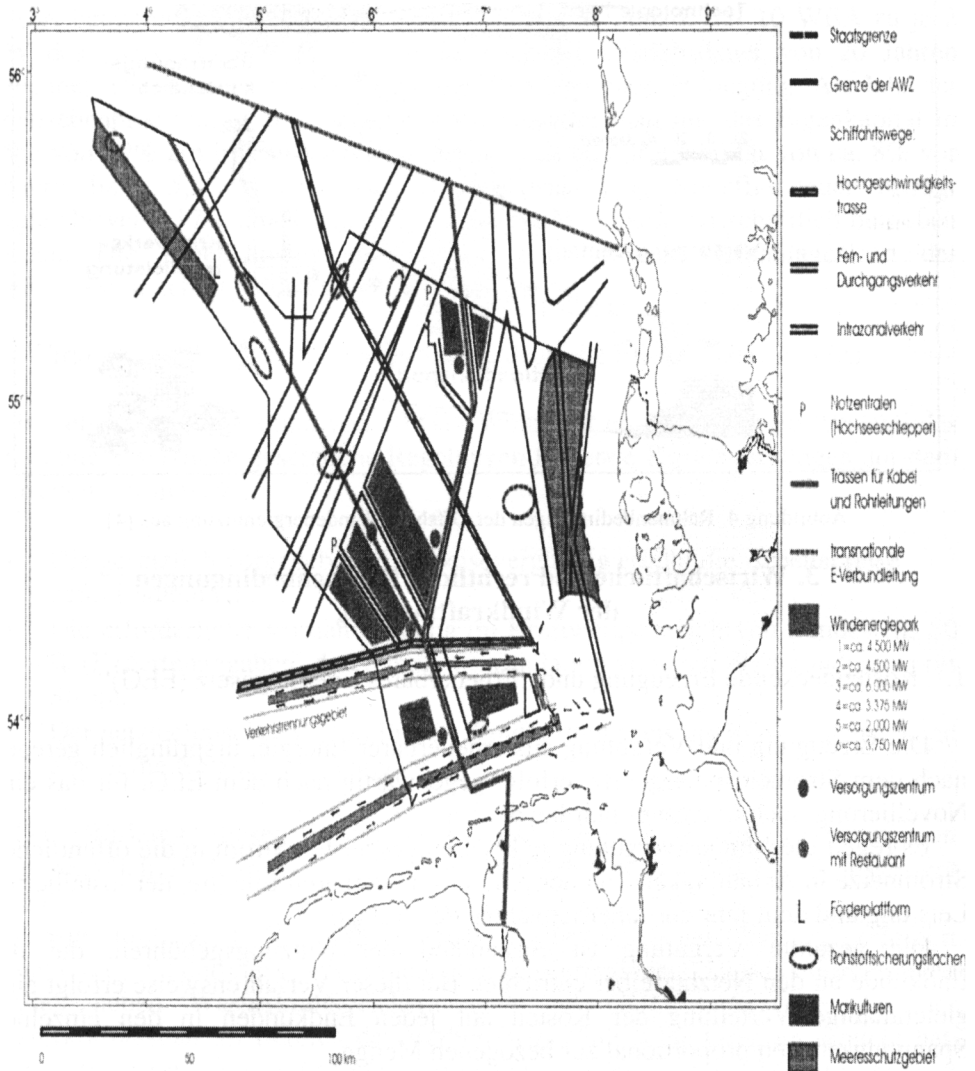


Abbildung 3. Die deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone in der Nordsee aus [1]

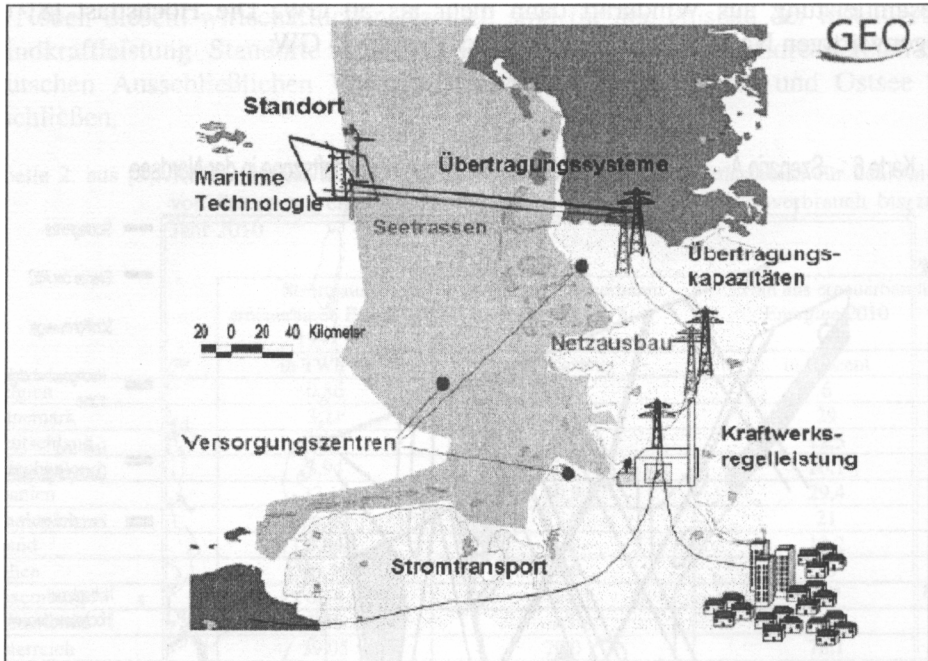


Abbildung 4. Rahmenbedingungen der Offshore Windenergienutzung aus [4]

### 3. Wirtschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen der Windkraftnutzung

#### 1. Kostendeckende Erzeugung und „Erneuerbares Energiegesetz (EEG)“

Die Erzeugung und Vergütung aus erneuerbarer Energie, ursprünglich geregelt nach dem Stromeinspeisegesetz, erfolgt gegenwärtig nach dem EEG, für das eine Novellierung noch in diesem Jahr bevorsteht.

Es regelt die Mindestvergütung je kWh eingespeisten Strom in die öffentlichen Stromnetze in Abhängigkeit von der Art der erneuerbaren Energie, der installierten Leistung und dem Jahr der Inbetriebnahme der Anlage.

Die gezahlte Vergütung ist Bestandteil der Nutzungsgebühren, die der Endkunde an den Netzbetreiber entrichtet. Bei dieser Verfahrensweise erfolgt eine gleichmäßige Verteilung der Kosten auf jeden Endkunden in den einzelnen Spannungsebenen proportional zur bezogenen Menge.

Die Kostenbelastung für den Endkunden liegt dabei für Strom aus erneuerbarer Energie deutlich höher als die durch konventionell erzeugten Strom ab Kraftwerk (zwei- bis dreifach).

Aus der Sicht der Betreiber von Windkraftanlagen ermöglichen die Vergütungssätze einen kostendeckenden Betrieb einschließlich Kapitalverzinsung.

Im Ergebnis einer Studie [7], die wir im Auftrag des Verbundunternehmens VEAG (heute Vattenfall Europe) im Jahre 2002 durchführten, erreichen moderne Windparks als Landanlage gegenwärtig Kapitalrentabilitäten von durchschnittlich 4,2% vor Steuer.

Das betrachtete Fallbeispiel basiert auf einem Windpark mit 10 WEA zu je 2 MW des Typs Vestas V80. Es wurde mit einer Betriebsdauer von 20 Jahren gerechnet. Die Kosten enthalten auch den Rückbau nach Stilllegung. Als Jahr der Inbetriebnahme wurde 2002 angenommen. Bewertet man nur das Eigenkapital in Höhe von 29% am Investitionsbetrag, ergibt sich eine Rentabilität von ca. 8% vor Steuern bzw. 5,5% nach Steuern. Die dynamische Rückflussdauer beträgt vergleichsweise 17 Jahre. Demzufolge kann der Windpark wirtschaftlich betrieben werden. Die Eigenkapitalrentabilität ist gemessen an Geldanlagen in der Kraftwerkswirtschaft jedoch vergleichsweise niedrig.

## 2. Wirkung des Windkraftausbaues auf die deutsche Elektrizitätswirtschaft

Bei einer Ausbauleistung von 50 GW Windkraft entstehen bei Fortbestand des EEG ohne zusätzliche gesetzliche Regelungen folgende Kostenwirkungen auf dem deutschen Strommarkt:

- Die gesetzlich vorgegebene Einspeisevergütung erhöht die Arbeitspreise beim Endkunden.
- Die erforderliche Vorhalteleistung im Kraftwerksbereich von mindestens 80 % (Expertenangaben) der Windkraftinstallation verteuert die Grundpreise für Strom.
- Der netztechnische Ausbau für die Windkrafteinspeisung in Norddeutschland erhöht die Netznutzungsentgelte.

Die Wirkung dieser Faktoren vollzieht sich in einem Zeitraum von voraussichtlich 20 Jahren. In dieser Zeit wird sich der Kraftwerkspark insgesamt verändern.

Einspeisung durch Windkraftsysteme im beschriebenen Umfang erfordert schnellere Laständerungsgeschwindigkeiten im Verbundnetz. Diese Anforderungen erfüllen neben Wasserkraftspeicheranlagen nur GUD - Systeme. Da der Wasserkraftausbau im Bereich der Verbundwirtschaft seine Grenzen erreicht hat, müssen Erdgassysteme zunehmend ausgebaut werden und im Mittellastbereich vornehmlich Steinkohlenkraftwerke ablösen.

Die komplexen Kostenwirkungen dieser Entwicklung wurden in einer Studie der TU München [6] eingehend untersucht. Nach diesem Modell ergibt sich bereits bei einem Anteil von 15% Windenergieeinspeisung trotz rückläufiger

Vergütungssätze bis zum Jahr 2020 eine Verteuerung der Stromerzeugungskosten um 45%, dass heißt, der Durchschnittswert steigt von gegenwärtig 3,15 Ct/kWh ab Kraftwerk auf voraussichtlich 4,55 Ct/kWh.

Im nachstehenden Bild wird die zeitabhängige Entwicklung dargestellt.

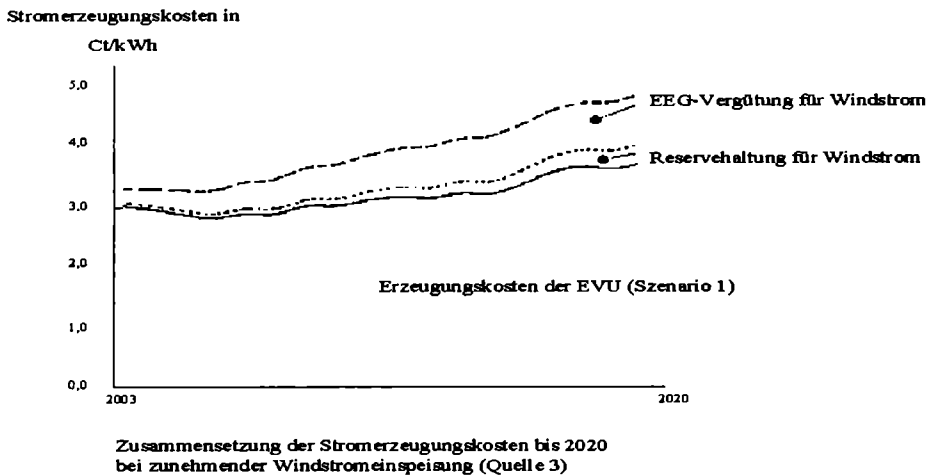


Abbildung 5. Zusammensetzung Stromkosten bis 2020 aus [6]

Die im Detail nachgewiesenen Zubauleistungen im Kraftwerkspark bis 2020 verkörpert das als Szenario 1 bezeichnete Kostenentwicklungsmodell. Die Kostenfunktion „Reservehaltung für Windstrom“ berücksichtigt allerdings nur 5% substituierbare Kraftwerksleistung bezogen auf die installierte Konverterleistung. Für Offshore Anlagen erscheint dieser Ansatz zu vorsichtig. Experten rechnen mit bis zu 20% wegen der größeren Windhäufigkeit im Seegebiet. Der Kostenzuwachs könnte deshalb in diesem Bereich etwas geringer ausfallen. Die Auswirkung auf die tariflichen Strompreise beim Endkunden bleibt davon eher unberührt, weil das erhöhte Netznutzungsentgelt noch zu berücksichtigen ist. In [6] wird eine Anhebung der Strompreise im Tarifbereich von über 10% bis 2020 angegeben, das entspricht einer volkswirtschaftlichen Mehrbelastung von etwa 6 Mrd. € /a.

Wesentlichen Einfluss auf diese Entwicklung der Belastung der Stromkunden hat die Einführung der Stromsteuer im Rahmen der ökologischen Steuerreform. Durch die Stromsteuer, die mit Ausnahmen auch auf Strom aus erneuerbaren Energien erhoben wird, wurden die Stromkunden 2003 mit 7,44 Mrd. Euro zusätzlich belastet. Der Preis je kWh Strom erhöht sich durch die Stromsteuer um 2 Cent.

Die schon bis zum Jahr 2003 aufgetretene Belastung der Stromkunden zeigt folgende Übersicht:



Tabelle 3. Durch den Staat verursachte Belastung aller Stromkunden in Milliarden Euro ohne Mehrwertsteuer aus [3]

|  | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003  |
|--|------|------|------|------|------|-------|
| Konzessionsabgabe  | 2,00 | 2,00 | 2,10 | 2,04 | 2,07 | 2,19  |
| Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz                              | -    | -    | 0,61 | 0,99 | 0,67 | 0,69  |
| Stromeinspeisungsgesetz bzw. Erneuerbare-Energien-Gesetz | 0,28 | 0,26 | 0,86 | 1,18 | 1,65 | 1,94  |
| Stromsteuer  | -    | 2,09 | 3,40 | 4,06 | 4,80 | 7,44  |
| Gesamt   | 2,28 | 4,35 | 6,97 | 8,27 | 9,19 | 12,26 |
| Steigerung zu 1998 in Prozent                            |      | 91   | 327  | 363  | 403  | 538   |

Quelle: VDEW

Durch die Förderung der erneuerbaren Energien wurden die Stromkunden 2003 mit ca. 2 Mrd. € zusätzlich belastet. Der Preis je kWh Strom erhöht sich durch die Förderung der erneuerbaren Energien 2003 um ca. 0,42 Cent.

Tabelle 4. Durchschnittliche Stromrechnung eines Drei-Personen-Musterhaushalts mit einem mittleren Stromverbrauch von 3500 kWh/a im Monat in € (aus [3])

|  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mehrwertsteuer   | 6,90  | 6,65  | 5,60  | 5,76  | 6,48  | 6,92  |
| Konzessionsabgabe  | 5,22  | 5,22  | 5,22  | 5,22  | 5,22  | 5,22  |
| Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz                              | 0     | 0     | 0,38  | 0,59  | 0,76  | 0,90  |
| Stromeinspeisungsgesetz bzw. Erneuerbare-Energien-Gesetz | 0,23  | 0,28  | 0,53  | 0,63  | 1,02  | 1,23  |
| Stromsteuer  | 0     | 2,25  | 3,73  | 4,47  | 5,22  | 5,97  |
| Stromerzeugung, -transport und -vertrieb                 | 37,60 | 33,80 | 25,15 | 25,05 | 28,29 | 29,90 |
| Stromrechnung gesamt                                     | 49,95 | 48,20 | 40,61 | 41,72 | 46,99 | 50,14 |

Quelle: VDEW

In diesem Zusammenhang sind natürlich auch die positiven Aspekte der Errichtung neuer Windkraftanlagen zu berücksichtigen. Laut Bundesverband „WindEnergie“ arbeiten gegenwärtig in dieser Branche 40 000 Beschäftigte. Bis auf 70 000 Stellen soll die Zahl der Arbeitsplätze noch anwachsen. Der volkswirtschaftliche Einkommenszuwachs von etwa 3 Mrd. € /a deckt die Mehrbelastung im Strommarkt allerdings nur zur Hälfte. Deshalb sollte der klimapolitisch gewollte Ausbau der Windenergienutzung im europäischen Verbund geregelt werden. Die Errichtung von Offshore Anlagen in der AWZ ist ein geeigneter Anlass, Einspeisevergütungen in der Europäischen Union auch im Kontext mit der geplanten Öffnung der Energiemärkte zu verhandeln. So wäre es denkbar, dass im Sinne der Verbändevereinbarung zur Berechnung des Netznutzungsentgeltes eine EU-weite Regelung getroffen wird.

Regenerativ erzeugte Elektroenergie im Sinne des „EEG“ würde wie in Deutschland durch die jeweiligen Netzbetreiber vergütet und dem vorgelagerten Netzbetreiber weiterberechnet. Die Eigentümer der Höchstspannungsnetze

verteilen die gezahlte Vergütung entsprechend ihres Absatzvolumens untereinander auf und kalkulieren sie als Kostenbestandteil der Netznutzung. Nach dem bekannten Prinzip der Kostenwälzung über die einzelnen Netzebenen erreicht die Einspeisevergütung anteilig jeden Endkunden innerhalb der europäischen Union. Damit wäre eine gleichmäßige Verteilung der Kostenumlage aus erneuerbarer Energie erreicht, ganz gleich wo die Anlage errichtet und betrieben wird.

## Literatur

- [1] Buchholz Hanns J., *Auszug aus dem Forschungsprojekt „Strategien und Szenarien zur Raumnutzung in den deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszonen in Nordsee und Ostsee“* - Vortrag anlässlich des Workshops „Raumordnung auf dem Meer?“, Hannover, 28, Oktober 2002.
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; *Umweltpolitik – Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung*, November, 2003.
- [3] Paziorek P., *Umweltpolitischer Sprecher der CDU/CSU-Fraktion im Deutschen Bundestag, Informationspapier zur Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)*, Berlin, 10, Februar 2004.
- [4] Richert F., *Stand und Möglichkeiten der Wasserstofftechnologie“* – Vortrag anlässlich des Workshops „Raumordnung auf dem Meer?“, Hannover, 28, Oktober 2002.
- [5] Richtlinie 2001/77/EG, Anhang, Amtsblatt der Europäischen Union vom 23.09.2003.
- [6] Wagner U., Brückl O., *Lehrstuhl Energiewirtschaft und Anwendungstechnik im Institut für Energietechnik, TU München*, „Kostengünstige Energieerzeugung – wie lange noch?“, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Heft 11/2002, Seiten 744 – 750
- [7] Zielbauer J., Bathe J., *Studie zur Wirtschaftlichkeit der Windenergienutzung*, Zittau, Februar 2002.
- [8] Zielbauer J., *Thesen zu weiterführenden Untersuchungen der Windkraftnutzung* – Vortrag anlässlich des Workshops „Raumordnung auf dem Meer?“, Hannover, 28, Oktober 2002.

## WYKORZYSTYWANIE SIŁY WIATRU W WYTWARZANIU ENERGII W NIEMCZECH. OSIĄGNIĘTY STAN I PERSPEKTYWY DLA REGIONU

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano krajowe i europejskie wskaźniki dotyczące analizowanej problematyki oraz wskaźniki referencyjne wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w poszczególnych krajach UE. Ponadto przedstawiono gospodarcze i prawne uwarunkowania wykorzystywania siły wiatru w wytwarzaniu energii. W końcowej części autor ukazał perspektywy dla tego źródła energii w regionie.