

## WINDENERGIE: ENTWICKLUNG ONSHORE UND OFFSHORE

Cornelia Viertl

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin

Der übermäßige Verbrauch begrenzter Energieressourcen, die sich bereits abzeichnende globale Klimaveränderung, die Risiken der Kernenergienutzung und das extrem starke Gefälle des Energieverbrauchs zwischen Industrie- und Entwicklungsländern hat in Deutschland zu einem Umdenken in der Energiepolitik geführt. Ergebnisse dieses Prozesses sind z.B. das Leitbild „Nachhaltige Entwicklung“ [1], der Internationale Klimaschutz-Prozess [2] und die Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien.

### 1. Zielsetzungen der Bundesregierung zum Ausbau der Erneuerbaren Energien

Die Bundesregierung hat sich eine Reihe von Zielen zum Ausbau der Erneuerbaren Energien gesetzt. So ist z.B. in der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) [3] vorgesehen, dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung bis 2010 gegenüber 2000 auf 12,5 % verdoppelt und bis 2020 auf 20 % erhöht werden soll (Abb. 1). Deutschland leistet damit einen wichtigen Beitrag zum Ziel der EU, den Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch von 14 % (1997) auf 22 % (2010) zu erhöhen.

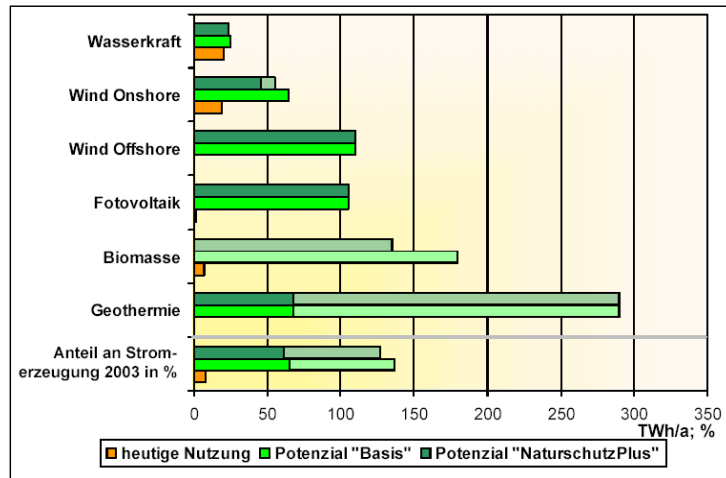


Abb. 1: Potenziale zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Studie Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien, 2004, BMU)

Die Bundesregierung hat sich ferner in der Nachhaltigkeitsstrategie das Langfristziel gesetzt, dass erneuerbare Energien in Deutschland bis Mitte des Jahrhunderts rund die Hälfte des Energieverbrauchs decken sollen. Eine solche Entwicklung setzt voraus, dass zum einen die Nutzung der erneuerbaren Energien kontinuierlich ausgebaut und zum anderen parallel der Energieverbrauch reduziert wird. Versorgungssicherheit im Energiebereich, vor allem durch heimische Energieträger wie z.B. regenerative Energien, gewinnt zunehmend einen hohen Stellenwert.

### 2. Potenziale der Windenergienutzung

Ausgehend von den in verschiedenen Regionen Deutschlands bis heute ausgewiesenen Eignungsflächen und unter Berücksichtigung spezifischer Belange des Naturschutzes wird angenommen, dass zukünftig insgesamt rund ein halbes Prozent der Fläche in Deutschland für die Windenergienutzung zur Verfügung stehen wird, wobei die Anteile in den Küstenregionen größer und im Binnenland deutlich kleiner sind [4]. Je nach Anlagengröße liegt damit das Ausbaupotenzial bei etwa 20.000 bis 25.000 MW. Bei dieser Abschätzung wurde das Repowering von Altanlagen bereits berücksichtigt.

Unter Repowering versteht man das Ersetzen von alten, leistungsschwächeren Windenergieanlagen durch leistungsstärkere Anlagen, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen. Durch Repowering wird die Anzahl der Windenergieanlagen in Deutschland in Zukunft verringert, die Stromerzeugung gesteigert und zugleich werden die Auswirkungen auf Mensch, Natur und Landschaftsbild reduziert. Repowering ist aus den verschiedensten Gründen positiv zu bewerten. Neben der höheren Stromerzeugung und damit einhergehenden wirtschaftlichen Argumenten sprechen insbesondere die positiven Auswirkungen auf das Landschaftsbild und den Menschen für das Repowering. Der Leistungszuwachs durch Repowering zusätzlich zu der bisher installierten Leistung liegt bei rund 6.000 Megawatt [5].

Für die Windenergienutzung auf See sind von der Bundesregierung erste konfliktarme Flächen identifiziert worden, die als besondere Eignungsgebiete für Offshore Windparks in Betracht kommen [6]. Da es sich bei der Windenergienutzung auf See um einen großflächigen und langfristigen Eingriff in die Meeresumwelt handelt und die anlagenbezogenen Auswirkungen von Offshore-Windparks mangels praktischer Erfahrung nur mit Unsicherheit prognostiziert werden können, soll zur Wahrung des Vorsorgeprinzips ein stufenweiser Ausbau realisiert werden. Dabei setzt die Realisierung der jeweils nächsten Stufe ein positives und belastbares Ergebnis hinsichtlich der Umwelt- und Naturverträglichkeit voraus. Es wird davon ausgegangen, dass auf diese Weise bis 2030 eine Kapazität von 20.000 bis 25.000 MW erschlossen werden kann.

Es wird weiter davon ausgegangen, dass bis 2010 erst rund 3.000 MW Offshore-Windenergie installiert sein wird. Dies entspricht den derzeit jährlichen Aufstellungszahlen an Land. Es wird daher deutlich, dass die Offshore-Windenergie sich erst langsam entwickeln wird. Dabei ist in der Diskussion um die Offshore-Windenergienutzung zu berücksichtigen, dass die Projekte gegenwärtig noch mit großen technischen, wirtschaftlichen und auch rechtlichen Unsicherheiten verbunden sind. Aufgrund des geringeren Raumangebots als beispielsweise in Dänemark oder Schweden und der gesellschaftspolitischen Anliegen kommen in Deutschland besondere Standorte mit großen Wassertiefen und weiten Entfernungen zur Küste in Frage. Für diese liegen jedoch weltweit noch keine Erfahrungen vor.

### 3. Stand der Windenergienutzung in Deutschland

Ende 2003 waren in Deutschland 15.387 Windenergieanlagen mit einer Leistung von ca. 14.600 MW installiert (Abb. 2). Diese Anlagen produzieren in einem durchschnittlichen Windjahr rund 26 Mrd. Kilowattstunden (kWh) Strom (s. Abb. 1). Dies bedeutet Strom für rund 7,5 Millionen deutsche Haushalte (durchschnittlicher Stromverbrauch von 3.500 kWh pro Jahr). Der Beitrag, den die Windenergie zur Nettostromerzeugung in Deutschland leisten kann, liegt damit bei über 4 %.

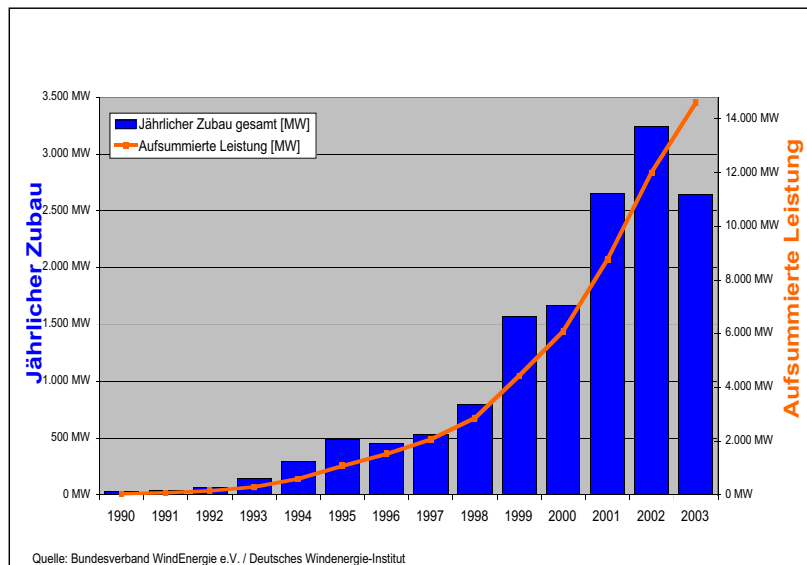


Abb. 2: Entwicklung der Windenergienutzung in Deutschland, Stand Ende 2003

2003 wurden 1.703 neue Windenergieanlagen mit einer Leistung von 2.645 MW installiert (Abb. 2). Damit ist es zu einem Rückgang bei der neuinstallierten Leistung in Bezug auf das Rekordjahr 2002 gekommen. In erster Linie ist diese Entwicklung auf eine Verknappung der Standorte an Land und auf noch nicht in größerem Umfang einsetzendes Repowering zurückzuführen.

### 4. Internationaler Vergleich

Im Hinblick auf die installierte Windleistung liegt Deutschland im internationalen Vergleich mit großem Abstand vor Spanien und den USA an der Spitze (Abb. 3). Etwa ein Drittel der weltweit installierten Leistung und etwa die Hälfte der in der EU installierten Leistung entfällt auf Deutschland. Innerhalb Europas erlebt die Windenergie einen deutlichen Aufschwung. Eine Reihe europäischer Staaten (z.B. Frankreich, Österreich, Portugal, Spanien, Tschechien) hat nach dem Vorbild des deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) inzwischen ähnliche Einspeise- und Vergütungsregelungen eingeführt oder arbeitet an der Implementierung solcher Regelungen. Die Entwicklung der Windenergiebranchen in den einzelnen Staaten zeigt deutlich, dass das deutsche Vergütungssystem sich als ein sehr effektives marktwirtschaftliches Instrument zum Ausbau der Windenergie erwiesen hat und sehr geeignete Rahmenbedingungen für alle beteiligten Akteure schafft.

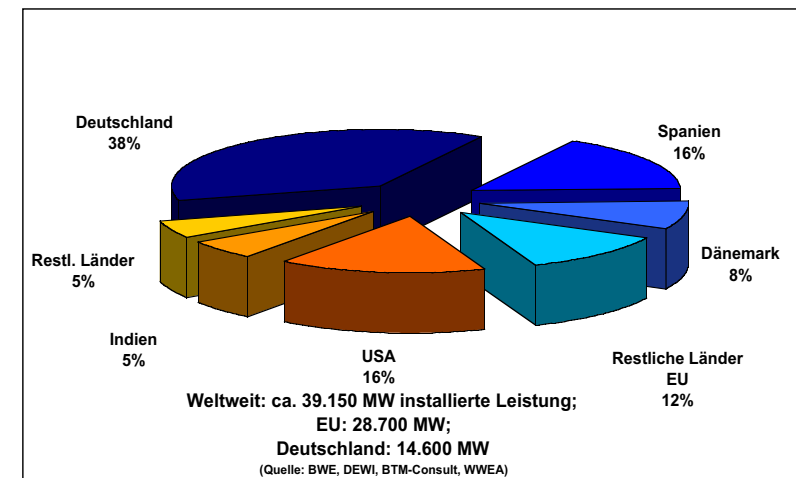


Abb. 3: Stand der Windenergienutzung weltweit, Ende 2003

## 5. Rechtliche Rahmenbedingungen der Windenergienutzung

Der Ausbau der Windenergie wird in erster Linie durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, seit 1. 4. 2000 in Kraft) gesteuert, das die Netzbetreiber zur Abnahme des Stroms aus erneuerbaren Energien verpflichtet sowie Mindestvergütungssätze für Strom aus erneuerbaren Energien, so auch aus Windenergie, vorsieht. Bei den Mindestvergütungen, die die Netzbetreiber zu zahlen haben, wird die Vergütungshöhe nach Sparten der erneuerbaren Energien, nach Größe der Anlagen und bei Windenergie nach dem Windstandort differenziert. Planungs- und Investitionssicherheit werden durch feste Vergütungssätze pro eingespeister Kilowattstunde über eine garantierte Laufzeit von 20 Jahren gewährleistet.

Der Bundestag hat am 2.4.2004, fast genau vier Jahre nach dem Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), eine umfassende Novelle zur Förderung der erneuerbaren Energien verabschiedet. Die EEG-Novelle wird nun ein zweites Mal vom Bundesrat behandelt. Noch vor der Sommerpause soll das Gesetz in Kraft treten.

Die vom Bundestag beschlossene Fassung sieht folgenden Änderungen für die Windenergie vor: Der Basis-Vergütungssatz im Jahr 2004 wird um 0,5 Cent pro kWh im Vergleich zum Jahr 2003 gesenkt. Die Senkung des niedrigen Vergütungssatzes wirkt sich vor allem an sehr guten Küstenstandorten aus und soll eine potenzielle Überförderung vermeiden. Der Anfangs-Vergütungssatz wird um 0,1 Cent pro kWh gesenkt. Insbesondere für die Küstenstandorte sind Anreize für das Repowering vorgesehen. Die Degression für neue Anlagen wird von bisher 1,5% auf 2% erhöht, um Kostensenkungspotenziale optimal auszuschöpfen. Aufgrund der technologischen Entwicklung der Windenergienutzung der letzten Jahre ist davon auszugehen, dass der Ausbau der Windenergie trotz dieser reduzierten Vergütung weiter voranschreiten kann. Die Vergütungssätze für die Windenergienutzung auf See werden verbessert, die Degression bis 2007 ausgesetzt und abhängig von der Entfernung der Windparks von der Küste sowie von der Wassertiefe angepasst.

Mit Blick auf eine gesteuerte Erschließung der Windenergienutzung an dafür geeigneten Standorten wurde mit der Änderung des § 35 BauGB 1997 ein Planungsvorbehalt für die Ausweisung geeigneter Flächen in das Baugesetzbuch aufgenommen. Damit wurde bewirkt, dass nach Ausweisung von Windvorranggebieten in der Bauleit- oder Raumplanung Windenergieanlagen nicht mehr im Außenbereich errichtet werden können.

Der Ausbau der Offshore-Windenergienutzung soll umwelt- und natur- sowie volkswirtschaftlich verträglich gestaltet werden und stufenweise erfolgen. In der beschlossenen Novelle des Bundesnaturschutzgesetzes sind wichtige Neuregelungen für den Meeresnaturschutz in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) enthalten. Dies betrifft die Ausweisung von Schutzgebieten in der AWZ sowie Regelungen zu den besonderen Eignungsgebieten für Windkraftanlagen und zum

Genehmigungsverfahren nach der Seeanlagenverordnung. Technische sowie umwelt- und naturschutzbezogene Forschung soll den Ausbau der Offshore-Windkraftnutzung über die Startphase hinaus für einen längeren Zeitraum begleiten. Zur Wahrung des Vorsorgeprinzips soll ein stufenweiser Ausbau realisiert werden. Die Ausweisung der Eignungsgebiete in der AWZ und die Weiterentwicklung der Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See befindet sich in der Umsetzungsphase.

## 6. Nutzen für das Klima

Die in Deutschland installierten Windenergieanlagen haben im Jahr 2003 rund 18,5 TWh Strom produziert. Bedingt durch die Vorrangregelung für Einspeisung von Windenergie im EEG wird konventionelle Kraftwerksleistung durch den Windenergiestrom ersetzt. Die vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen können auf rund 15 Mio. Tonnen geschätzt werden. Dies entspricht rund 2% Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands.

## 7. Wirtschaftlicher Nutzen

Der Umsatz der Windenergiebranche im Jahr 2003 betrug rund 3,5 Mrd. Euro. Es sind derzeit rund 120.000 Arbeitskräfte im Bereich der Erneuerbaren Energien beschäftigt.

Bei der Windenergienutzung an Land entstehen außerdem folgende Vorteile:

- Das lokale Gewerbe profitiert von Aufträgen beim Fundamentbau, der Errichtung der Netzanbindung, Wegeerschließungsmaßnahmen sowie von den dauerhaft notwendig werdenden Servicedienstleistungen (Wartungs- und Reparaturaufträge). Hier ergeben sich regionale Beschäftigungseffekte.
- Nach der Abschreibungsphase zahlen die Betreibergesellschaften an ihrem Firmensitz Gewerbesteuer.
- Die Standorte der Windenergieanlagen befinden sich i.d.R. auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Eigentümer erzielen durch Verpachtung der Flächen oder Verkauf Einkünfte.
- Durch die o.g. Einnahmen und besonders bei Bürgerwindparks oder Windparks, bei denen eine Beteiligung der Bürger vor Ort vorgesehen ist, wird die Wirtschaftskraft des ländlichen Raumes gestärkt.

Die Offshore-Windenergie ist eine große Chance für die norddeutschen Küstenregionen. Viele Wirtschaftsbereiche werden von einem Einstieg in die Offshore-Windenergienutzung profitieren:

- Dienstleistungsunternehmen und Handel, aber auch Werften, Stahlbauunternehmen und der Schiffbau.
- Es wird geschätzt, dass rund 10.000 Arbeitsplätze beim Bau und Betrieb der Offshore-Windparks entstehen können. Denn die Anlagen müssen gewartet, instand gehalten und repariert werden. Das sind anspruchsvolle Tätigkeiten.
- In den Küstenregionen entsteht eine Offshore-Industrie- und Dienstleistungsstruktur, z.B. sogenannte Offshore-Kompetenzzentren.

Nach Schätzungen des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) ist bis 2030 mit Gesamtinvestitionen von mehr als 40 Mrd. Euro im Offshore-Bereich zu rechnen.

## 8. Kosten

Nach der Studie „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland“ (DLR et al, BMU 2004) zeigt sich, dass die meisten Technologien der Erneuerbaren Energien bei Beibehaltung hoher Wachstumsraten bis zum Jahr 2020 ihre Kosten auf ein Niveau zwischen 30 und 60% der heutigen Kosten und im weitgehend ausgereiften Zustand (nach 2040) auf 20 bis unter 50% zu senken im Stande sind (s. auch Abb. 4).

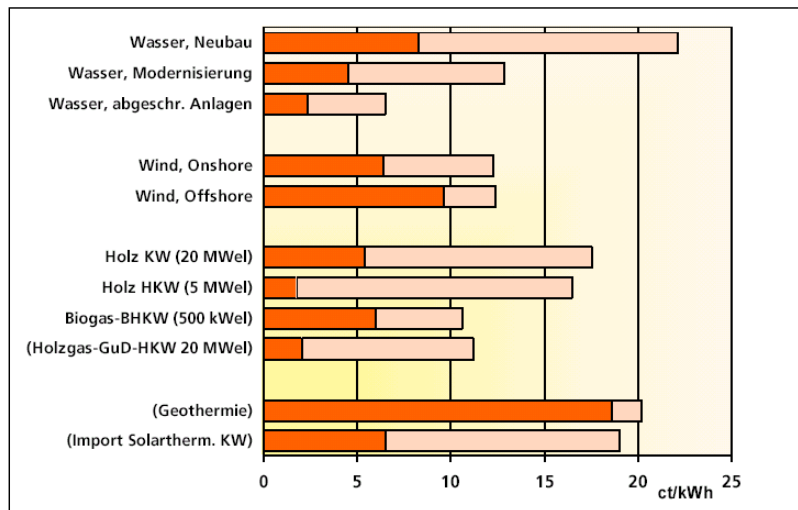


Abb. 4: Bandbreite der derzeitigen Stromerzeugungskosten aus erneuerbaren Energien (ohne Fotovoltaik mit 50 bis 80 cts/kWh). Quelle wie Abb. 1.

Ein direkter Vergleich der Kosten Erneuerbarer Energien mit denen der konventionellen Stromerzeugung sollte außerdem berücksichtigen, dass die externen Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erheblich niedriger als die der konventionellen Stromerzeugung sind. Werden externe Kosten der verschiedenen Energieträger und -systeme berücksichtigt, so ergibt sich aus dem EEG, und daraus insbesondere durch die Windenergienutzung, heute schon ein volkswirtschaftlicher Nutzen. Unter den externen Kosten versteht man hier in erster Linie die Kosten der durch Luftschadstoffe verursachten Umweltschäden sowie der Klimafolgeschäden. Nach einer Studie von Hohmeyer im Auftrag des Umweltbundesamtes liegen die netto vermeidbaren Kosten heute zwischen 2,4 und 19,9 Cent/kWh. Der Mittelwert für die eingesparten gesamtwirtschaftlichen Kosten beträgt danach rund 14 Cent/kWh. Damit liegt dieser Wert deutlich über den Einspeisevergütungen z.B. der Windenergie.

## 9. Netzintegration

Mit der verstärkten Nutzung der erneuerbaren Energien, und damit auch der Windkraft, wird es in Deutschland zu einer veränderten Kraftwerks- und Stromversorgungsstruktur kommen. Die anfallenden Schwankungen bei der Strombereitstellung aus Windkraft, bedingt durch zeitliche (saisonal, tageszeitlich) Luftdruckunterschiede (höchstes Potenzial in Deutschland im Winter) können durch den Aufbau großräumiger Verbundsysteme mit reaktionsschnellen, kleinräumigen Energiesystemen (virtuelle Kraftwerke) ausgeglichen werden.

Ein weiterer Schwerpunkt für die effiziente Nutzung der Windenergie sind Informationssysteme, die verlässliche Prognosen für den zu erwartenden Stromverbrauch und die Einspeisung durch Windkraft liefern. Durch solche Verfahren wird die notwendige Regelleistung reduziert.

Bei sehr großen Anteilen erneuerbarer Energien an der Energieversorgung tritt allmählich die Bereitstellung regenerativen Wasserstoffs als gut speicherbarer Energieträger in den Vordergrund. Er kann genutzt werden, um die Fluktuation der Strombereitstellung auszugleichen und um erneuerbare Energien für den Verkehrsbereich über den möglichen Beitrag biogener Kraftstoffe hinaus zu erschließen.

Für die Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten der Fragestellungen zur Integration von Windenergie in das Stromnetz wird die gemeinsam von Netzbetreibern und Erneuerbare-Energien-Branche in Auftrag gegebene Studie „Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020“ erstellt. Ziele der Studie sind die Entwicklung von Szenarien über den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, eine optimierte Umstrukturierung des konventionellen Kraftwerksparks und die Erarbeitung einer

energiewirtschaftlichen Planung für eine stufenweise Entwicklung des Stromnetzes in Deutschland zur Anbindung und Integration von Windenergieanlagen bis zum Jahr 2020.

## 10. Ausblick

Nach einem Szenario [7] des Bundesumweltministeriums, das als Hintergrundpapier für die Novellierung des EEG erarbeitet wurde, kann die Wettbewerbsfähigkeit des Strommixes aus erneuerbaren Energien je nach Preisentwicklung am Strommarkt bereits in der nächsten Dekade erreicht werden. Diesem Szenario liegt auch ein Anstieg der Kosten der konventionellen Energien zugrunde. Dass diese Kosten steigen werden, ist an der derzeitigen Entwicklung des Ölpreises abzulesen, der wegen der anhaltenden hohen Nachfrage der USA, des stark wachsenden Bedarfs in Asien und der begrenzten Förderkapazitäten mittel- und langfristig erheblich über dem heutigen Niveau liegen dürfte [8]. Um die notwendige Entwicklung der erneuerbaren Energien auch langfristig voran zu bringen, sind umfassende flankierende und langfristig angelegte Politikmaßnahmen notwendig (s. auch Tabelle 1).

- Bis 2010: Energiepolitisch gestützter „Einstieg“ durch Zielvorgaben und wirksame, auf erneuerbare Energien zugeschnittene Instrumentenbündel;
- 2010 – 2020: „Stabilisierung“ des Wachstums bei allmählicher Einbeziehung der Unterstützung erneuerbarer Energien in Instrumente des generellen Klimaschutzes;
- 2020 – 2030: Vollwertige „Etablierung“ aller neuen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien mit optimierten Beiträgen in den einzelnen Verbrauchssektoren und beginnende Nutzung kostengünstiger Potenziale in ganz Europa und dem Mittelmeerraum mittels einer Verbundversorgung für Strom;
- 2030 – 2050: Beginnende „Dominanz“ erneuerbarer Energien in allen Bereichen der Energieversorgung und beginnende Verwendung von regenerativem Wasserstoff;
- Nach 2050: Fortschreitende „Ablösung“ der fossilen Energieträger und Etablierung einer vollständig auf erneuerbaren Energien beruhenden Energiewirtschaft u. a. durch den sukzessiven Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft.

**Tabelle 1: Fünfphasiges Programm des Ausbaus erneuerbarer Energien [4]**

## Literatur

- [1] Perspektiven für Deutschland – Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002), BMU
- [2] Klimaschutz – global und lokal (Broschüre, Februar 2002), BMU
- [3] Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – Text (Download über <http://bundesrecht.juris.de>); zum Stand der Novellierung: [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de)
- [4] Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland (2004), BMU
- [5] Weiterer Ausbau der Windenergienutzung im Hinblick auf den Klimaschutz, Teil 1 (Studie, 2001), BMU und Seminar „Repowering in Deutschland – Praxiserfahrungen, Potenziale, Rahmenbedingungen“ am 17.3.2004, wab (windenergie agentur bremerhaven bremen e.v.), Bremerhaven
- [6] Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See (Bericht, 2002), BMU (Download über [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de), 985 KB, auch Karten zu Nord- und Ostsee verfügbar)
- [7] Abschätzung der Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und finanzielle Auswirkungen (2004), BMU
- [8] „Erdöl wird nie wieder billig sein“, Interview der Berliner Zeitung mit Prof. Klepper, Institut für Weltwirtschaft, 21.5.2004